



## **ANALISIS GERAK FPSO (FLOATING PRODUCTION STORAGE AND OFFLOADING) DENGAN MENGGUNAKAN VARIASI RADIUS MOORING BERBASIS SIMULASI TIME DOMAIN**

Muhammad Mustafa Algifari

Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Indonesia

[mustafaalgi14@gmail.com](mailto:mustafaalgi14@gmail.com)

### **Abstrak**

Seiring dengan berkembangnya teknologi, eksplorasi minyak dan gas mulai dilakukan dilaut dalam. Salah satu teknologi yang biasa dipakai yaitu FPSO (*Floating Production Storage and Offloading*). Agar FPSO gerakannya teredam akibat beban lingkungan saat proses produksi, maka diperlukan system mooring yang memenuhi standar sesuai kebutuhan dan karakteristik lingkungan pada ladang minyak tersebut. Sistem tambat yang digunakan yaitu *spread mooring system* yang dibatasi menjadi 12 *mooring line*. Penelitian menggunakan variasi pada radius mooring line sehingga Panjang mooring line dan posisi anchor berbeda. Penelitian ini dimaksudkan untuk menganalisa pengaruh radius mooring line terhadap gerakan FPSO dan tegangan dari mooring line itu sendiri menggunakan pendekatan numerik dengan menggunakan simulasi *time domain*. Dari hasil penelitian, dapat diketahui bahwa makin panjang mooring linanya mengakibatkan berkurangnya tegangan maksimum pada mooring line, namun sebaliknya terjadi penambahan gerakan kapal. Namun karena posisi anchor yang makin jauh disetiap radius, nilai tension pada mooring line tidak terlalu signifikan perbedaan nilainya

**Kata Kunci:** FPSO, Tension, Mooring line

### **Abstract**

*Along with the development of technology, oil and gas exploration has begun to be carried out in the deep sea. One technology that can be used is FPSO (Floating Production Storage and Offloading). In order for the FPSO to be damped due to environmental loads during the production process, a mooring system is needed that meets standards according to the needs and environmental characteristics of the oil field. The mooring system used is a spread mooring system which is limited to 12 mooring lines. The research uses variations in the mooring line radius so that the length of the mooring line and the anchor position are different. This research is intended to analyze the effect of the mooring line radius on FPSO movement and the tension of the mooring line itself using a numerical approach with ANSYS AQWA software. From this study it can be seen that by increasing the length of the mooring line there will be a reduction in maximum tension on the mooring line, but the opposite is true there is an additional offset to the ship's movement. However, because the anchor position is further away in each radius, the tension value on the mooring line does not have a significant difference*

**Keyword:** FPSO, Tension, Mooring line

## **1. PENDAHULUAN**

Melihat beberapa tahun terakhir ini, harga minyak bumi selalu naik tiap tahun. Hal ini berbanding lurus dengan tingginya angka kelahiran yang menyebabkan bertambahnya populasi manusia. Maka, dari hal tersebut dibutuhkan pasokan minyak bumi dalam jumlah yang besar. Seiring dengan berkembangnya teknologi, eksplorasi migas mulai dilakukan di laut dalam. Oleh sebab itu diperlukan teknologi penunjang berupa konstruksi bangunan lepas Pantai yang dapat melakukan eksplorasi migas pada keadaan tersebut. Dari sekian



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

banyak teknologi yang ada yaitu FPSO. FPSO ialah konstruksi yang berfungsi melakukan proses pengeboran lalu menghasilkan minyak dan gas yang ditempatkan didaerah ladang minyak dan gas bumi di lepas Pantai. FPSO merupakan salah satu jenis bangunan apung yang memiliki ukuran besar, karena ukurannya itu beban lingkungan (arus, angin dan gelombang) di sekitar FPSO dapat memberi pengaruh terhadap gerakan FPSO disaat menjalankan proses produksi. Untuk menjaga posisi FPSO tetap stabil dan dapat meredam gaya dinamis, maka diperlukan sistem penahan yaitu sistem tambat. Gaya-gaya yang timbul pada sistem pemasangan sangat bergantung pada karakteristik gerak FPSO dan sebaliknya.

Dalam menganalisa *mooring* untuk FPSO (*Floating Production Storage and Offloading*), banyak faktor yang perlu dipertimbangkan agar sistem tambatan dapat memenuhi standar peraturan dan keselamatan. Pada penelitian ini, akan dibahas mengenai panjang ideal untuk mooring system tipe spread dan jumlah mooring line dibatasi menjadi 12 spread mooring line. Dalam analisa ini variasi yang digunakan adalah variasi di radius mooring line yang berbeda-beda sehingga panjang mooring line dan letak anchor juga berbeda untuk melihat bagaimana pengaruh panjang mooring line dan letaknya anchor terhadap ketegangan masing-masing mooring line dan dampaknya terhadap gerak FPSO ketika ditambatkan di tempat dan menerima beban lingkungan laut (gelombang, angin, arus) dengan analisis dinamik komprehensif menggunakan metode domain waktu

## 2. METODE

Penelitian ini dilakukan dengan mengambil referensi dari literatur, text book serta pengalaman penelitian yang telah dipublikasikan sebelumnya.

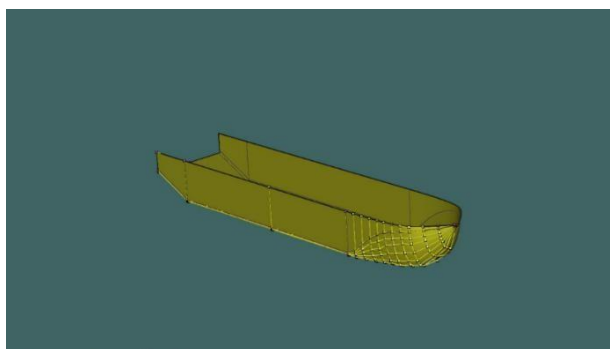
### 2.1. Data Kapal

Penelitian dilakukan dengan tinjauan literatur dan data pendukung FPSO Dari acuan tersebut, perancangan FPSO dibuat dengan melakukan validasi terhadap ukuran sebenarnya. Ini adalah data pengukuran desain FPSO yang akan digunakan dalam analisis.

**Tabel 1.** Data Geometri FPSO ALVHEIM

Item	Satuan	Nilai
LoA	m	285
LBP	m	274,09
Displacement	ton	210048
Breadth	m	63
Depth	m	16,93
Draught	m	13
Coefficient Block		0.884

Untuk lebih jelasnya model tiga dimensi yang telah penulis buat dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini



Gambar 1. Model FPSO tampak 3D pada maxsurf

## 2.2. Data Mooring Line

Menganalisis respon gerak FPSO menggunakan Ansys AQWA diperoleh rentang tegangan masing-masing tali tambat. Rentang tegangan masing-masing tali tambat diperoleh dari analisa domain waktu terhadap sistem tambat berdasarkan respon gerak FPU pada arah 0 sampai 180 derajat sehingga diakibatkan oleh ketegangan akibat radius tali yang berbeda yaitu, 3000, 3250, 3500 . Berikut merupakan gambar dan data ukuran dari rancangan mooring line yang akan digunakan untuk analisis.

**Tabel 2.** Data Mooring Line tiap radius

### ➤ Radius 3000

Mooring Properties	
Mass / Unit Length	264,5 kg/m
Outer Diameter	0,115 m
Section Length	3000 m
Stiffness, EA	1060000000 N
Maximum Tension	10300000 N

### ➤ Radius 3250

Mooring Properties	
Mass / Unit Length	264,5 kg/m
Outer Diameter	0,115 m
Section Length	3250 m
Stiffness, EA	1060000000 N
Maximum Tension	10300000 N

### ➤ Radius 3500

Mooring Properties	
Mass / Unit Length	264,5 kg/m
Outer Diameter	0,115 m
Section Length	3500 m
Stiffness, EA	1060000000 N
Maximum Tension	10300000 N

## 2.3. Kriteria Pengoprasian

Analisis tegangan ini dilakukan selama 100 detik. Dalam simulasi tersebut akan menghasilkan besarnya tegangan yang muncul pada tali tambat (mooring line) sebagai fungsi waktu. Terdapat juga Kriteria Pengoprasian yang harus dilalui struktur bangunan apung agar tambat yang digunakan bisa dikatakan aman adalah sebagai berikut :

**Tabel 3.** Batas aman kriteria pengoprasian

Kriteria	Well Production
Lateral Acceleration	1,962 m/s <sup>2</sup>
Mean Hell Angel	2 Derajat
Max Pitch Angel	6 Derajat
Riser Stroke	4.572
	-3.048



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melalui tahap perancangan dan pengolahan data maka akan diperoleh hasil serta pembahasannya. Berikut adalah hasil dan pembahasan dari penelitian ini:

#### 3.1. Analisis Respon Amplitudo Operator

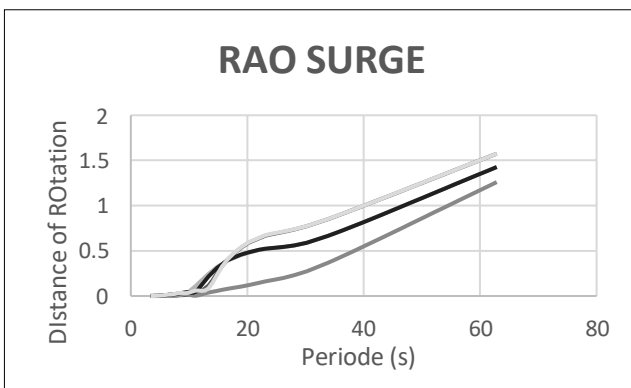
Operator amplitudo respons (RAO) juga dikenal sebagai fungsi transfer. Menurut Chakrabarti (1987), RAO biasanya didefinisikan sebagai respon dari amplitudo per unit tinggi gelombang. Dalam menghitung RAO, gelombang dianggap sebagai gelombang reguler. Lalu kemudian dijelaskan pada Gerakan *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* dan *yaw*. Sudut yang dinilai yaitu  $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $135^{\circ}$  dan  $180^{\circ}$ . Berikut adalah grafiknya.

$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_k(\omega)}{\zeta_w(\omega)}$$

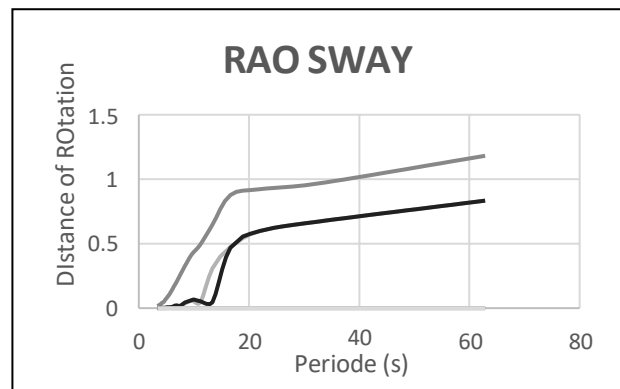
Dimana :

$\zeta_k$  = Amplitudo struktur

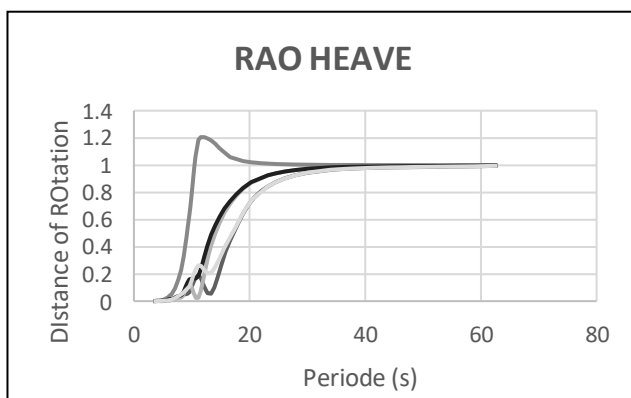
$\zeta_w$  = Amplitudo gelombang



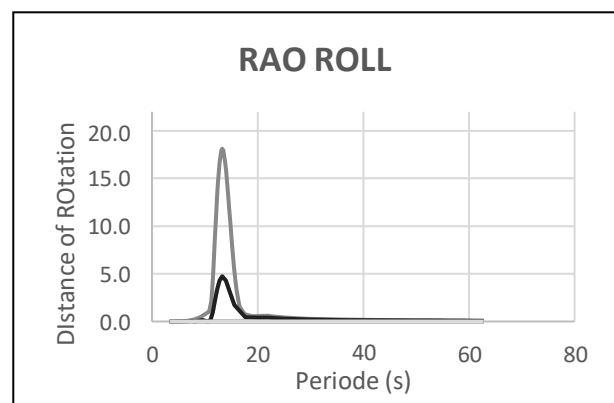
**Gambar 2.** RAO Terhadap Sumbu X (Surge).



**Gambar 3.** RAO Terhadap Sumbu Y (Sway).



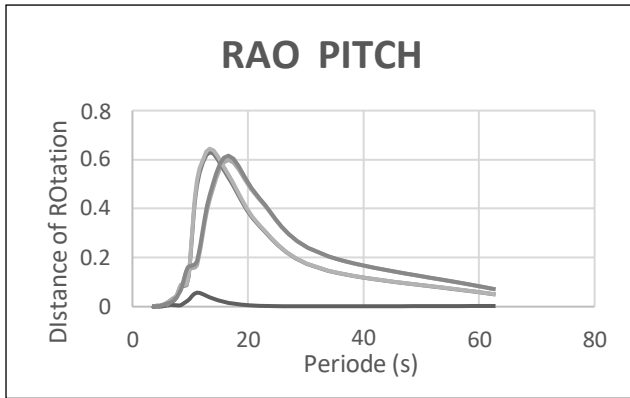
**Gambar 4.** RAO Terhadap Sumbu Z (Heave).



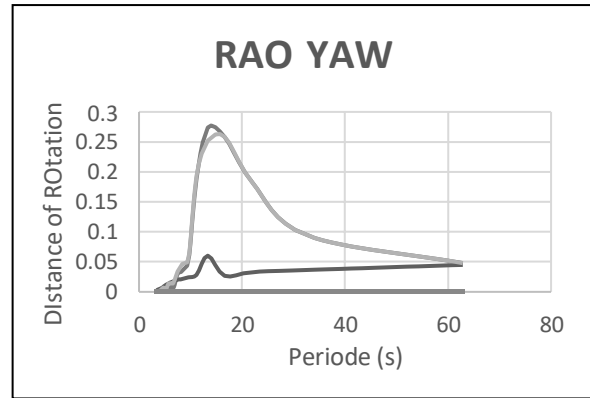
**Gambar 5.** RAO Terhadap Sumbu RX (Roll).



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



Gambar 6. RAO Terhadap Sumbu RY (Pitch).



Gambar 7. RAO Terhadap Sumbu RZ (Yawl).

### 3.2. Analisis Hidrostatik dari karakteristik geometris

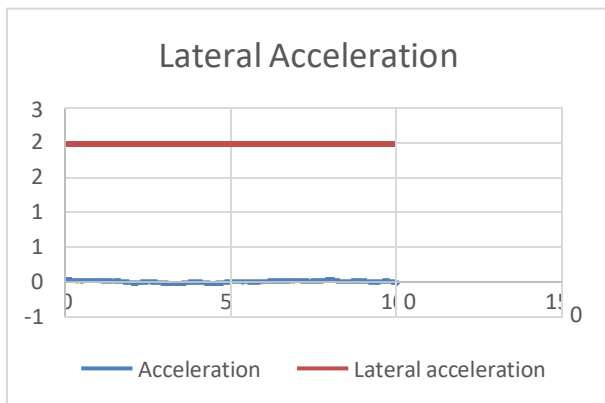
Hasil analisa hidrostatik FPSO di peroleh dari running *Hydrodynamic Diffraction* dengan menggunakan simulasi *time domain* dengan melihat nilai dari gerak surge, roll, dan pitch serta nilai displacement dan lain-lain yang tertera dibawah ini:

<b>Aqwa Hydrostatic Results</b>			
<b>Structure</b> Alveim			
<b>Hydrostatic Stiffness</b>			
Centre of Gravity Position:	X: 0. m	Y: 0. m	Z: 0. m
	Z	RX	RY
Heave(Z):	1.70851e8 N/m	45.81123 N/°	21277416 N/°
Roll(RX):	2624.79 N.m/m	7.22935e8 N.m/°	236.28795 N.m/°
Pitch(RY):	1.21911e9 N.m/m	236.28795 N.m/°	1.8261e10 N.m/°
<b>Hydrostatic Displacement Properties</b>			
Actual Volumetric Displacement:	204877.61 m <sup>3</sup>		
Equivalent Volumetric Displacement:	204924.88 m <sup>3</sup>		
Centre of Buoyancy Position:	X: -5.2433958 m	Y: -2.6853e-4 m	Z: -6.2294173 m
Out of Balance Forces/Weight:	FX: -2.9579e-3	FY: -3.2409e-8	FZ: -2.3222e-4
Out of Balance Moments/Weight:	MX: -2.6642e-4 m	MY: 5.2508621 m	MZ: 1.1741e-6 m
<b>Cut Water Plane Properties</b>			
Cut Water Plane Area:	16997.021 m <sup>2</sup>		
Centre of Floatation:	X: -7.1354957 m	Y: 1.5363e-5 m	
Principal 2nd Moment of Area:	X: 5397028. m <sup>4</sup>	Y: 1.04501e8 m <sup>4</sup>	
Angle Principal Axis makes with X(FRA):	-1.7106e-5 °		
<b>Small Angle Stability Parameters</b>			
C.O.G. to C.O.B.(BG):	6.2294173 m		
Metacentric Heights (GMX/GMY):	20.113276 m	503.83841 m	
COB to Metacentre (BMX/BMY):	26.342693 m	510.06784 m	
Restoring Moments/Degree Rotations (MX/MY):	12617594 N.m/°	3.16071e8 N.m/°	

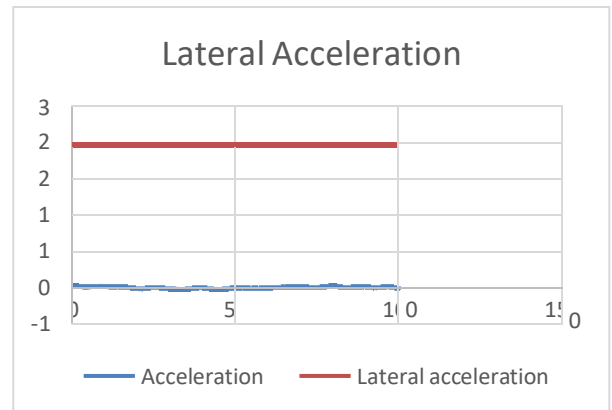


### 3.3. Lateral Acceleration

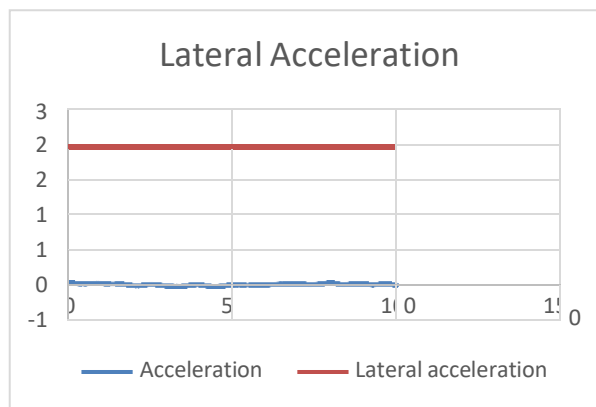
Dengan menggunakan 3 jenis radius mooring kita dapat melihat nilai pergerakan FPSO pada sumbu X (surge) tidak melewati dari kriteria yaitu  $1.962 \text{ m/s}^2$



**Gambar 8.** Lateral acceleration pada radius 3000.



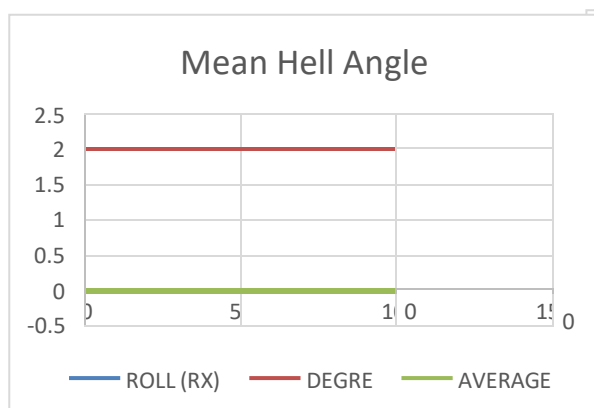
**Gambar 9.** Lateral acceleration pada radius 3250.



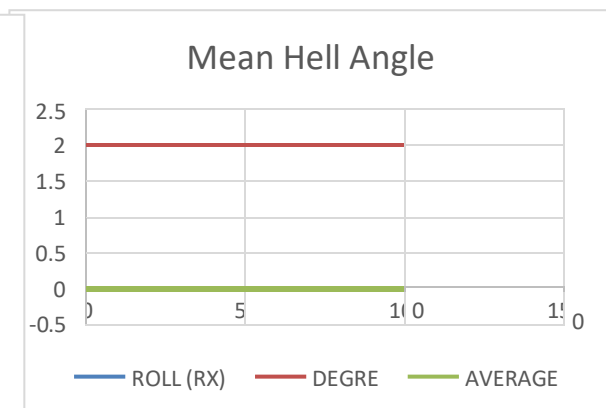
**Gambar 10.** Lateral acceleration pada radius 3500.

### 3.4. Mean Heel Angle

Pada grafik ini menunjukkan pergerakan struktur pada sumbu RX (Roll) Dengan menggunakan 3 jenis radius mooring. Dari hasil analisis, dapat dilihat bahwa nilai nya tidak melebihi dari batas toleransi dari kriteria yaitu 2 derajat.



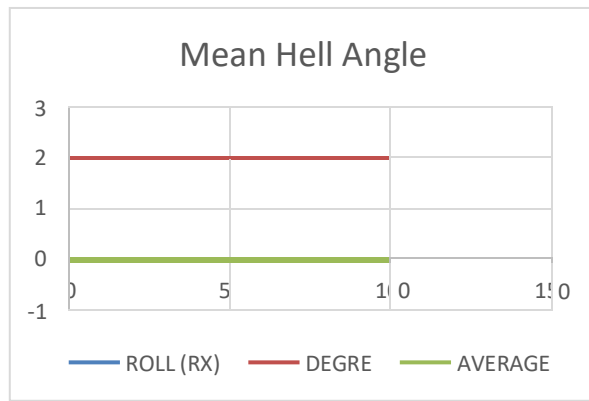
**Gambar 11.** Mean Hell Angle pada radius 3000.



**Gambar 12.** Mean Hell Angle pada radius 3250.



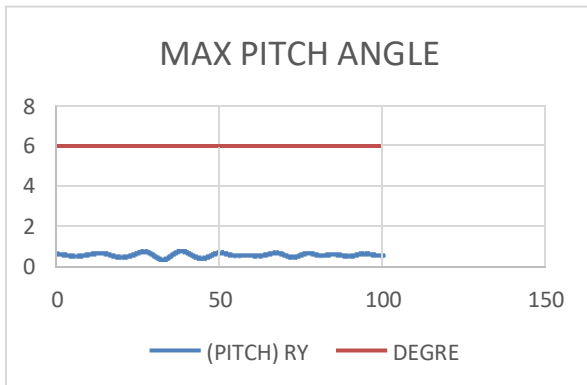
copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



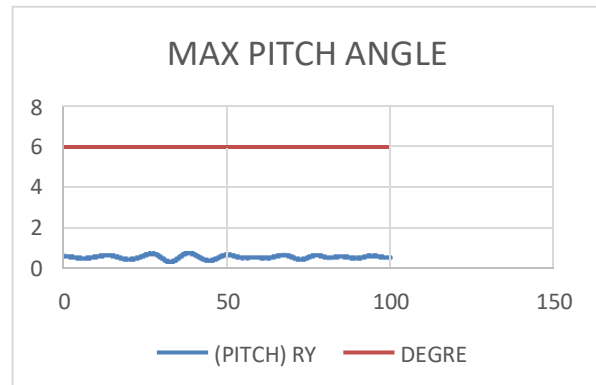
**Gambar 13.** Mean Hell Angle pada radius 3500

### 3.5. Max Pitch Angel

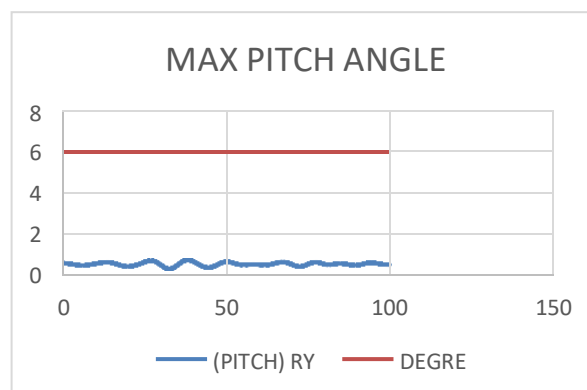
Pada grafik ini menunjukkan pergerakan struktur pada sumbu RY (Pitch) Dengan menggunakan 3 jenis radius mooring. Dari hasil analisis, dapat dilihat bahwa nilai nya tidak melebihi dari batas toleransi dari kriteria yaitu 6 derajat.



**Gambar 14.** Max Pitch Angle pada radius 3000.



**Gambar 15.** Max Pitch Angle pada radius 3250.

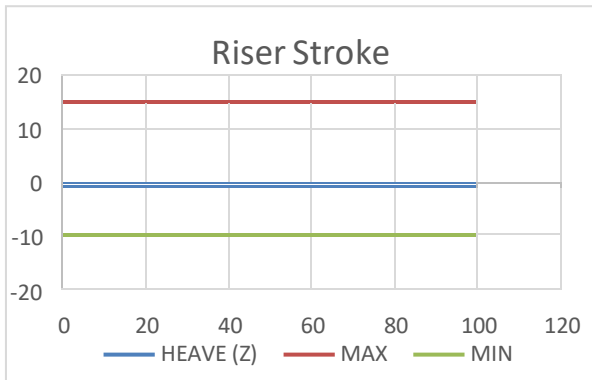


**Gambar 16.** Max Pitch Angle pada radius 3500.

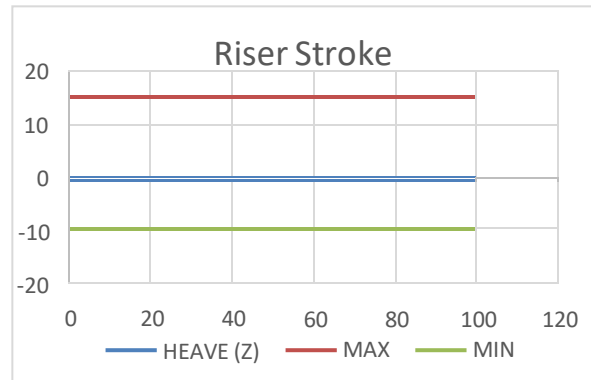


### 3.6. Riser Stroke

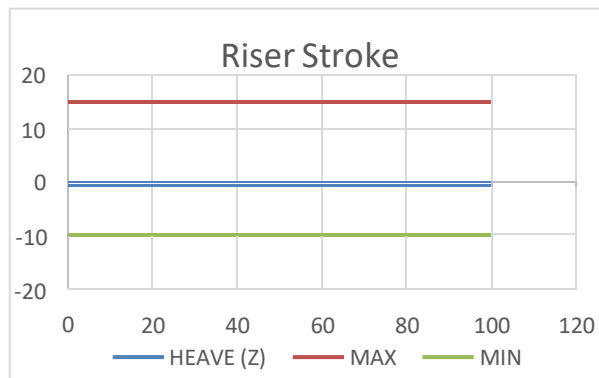
Dengan menggunakan 3 jenis radius mooring kita dapat melihat nilai pergerakan FPSO pada sumbu Z (Heave) tidak melewati dari kriteria yaitu pada batas atas 15 meter dan batas bawah -10 meter



**Gambar 17.** Riser Storke pada radius 3000.



**Gambar 18.** Riser Storke pada radius 3250.

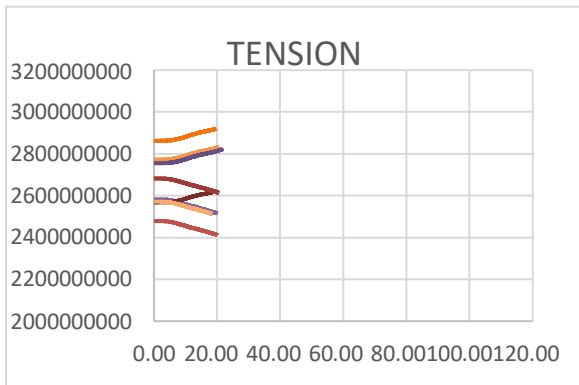


**Gambar 19.** Riser Storke pada radius 3500

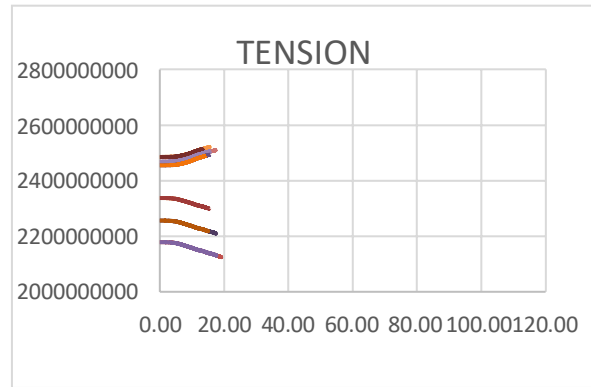
### 3.7. Tegangan Gaya Kabel

Tali tambat yang mengalami tegangan maksimum mempunyai faktor keamanan minimum. Perlu diperhatikan bahwa semakin tinggi nilai tegangan yang muncul dibandingkan dengan nilai batas kapasitas tegangan (kekuatan putus) tali tambatan yang diterima, maka tali tambatan tersebut akan semakin mudah putus. Dalam domain waktu, analisis dilakukan dalam 100 detik. Keadaan ULS merupakan beban yang terjadi pada kondisi operasi, dimana tali tambat yang berfungsi sebagai sistem tambatan pada kapal FPSO beroperasi secara maksimal, utuh, tidak ada tali tambat yang putus. Berdasarkan hasil pengolahan data historis yang memuat tegangan yang muncul setiap detiknya, terlihat bahwa nilai tegangan penting pada setiap tali tambat.

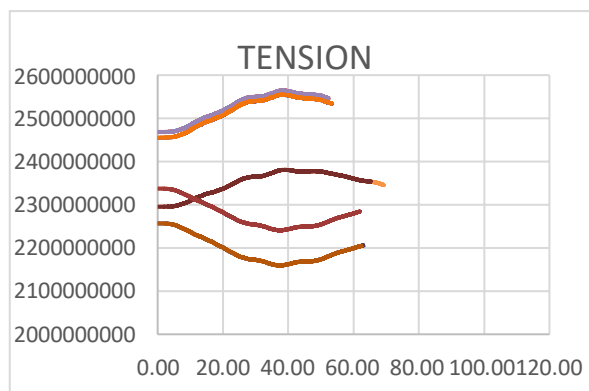




**Gambar 20.** Tension pada radius 3000.



**Gambar 21.** Tension pada radius 3250.



**Gambar 22.** Tension pada radius 3500.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis pada bagian pembahasan, ini penulis mengambil berapa kesimpulan diantaranya:

- 1) Model *spread mooring* dengan variasi pertama dengan radius 3000 memiliki nilai *tension* terbesar yakni 2968293 kN . Model *spread mooring* dengan variasi kedua dengan radius 3250 memiliki nilai *tension* terbesar yakni 2577983 KN. Model *spread mooring* dengan variasi ketiga dengan radius 3250 memiliki nilai *tension* terbesar yakni 2564024 kN
- 2) Dari tiga model yang menggunakan 3 radius berbeda, semuanya memenuhi kriteria yang sudah ditetapkan
- 3) Makin jauh radius dari mooring line maka nilai untuk tegangan mooring line makin kecil. Ini diakibatkan karena Panjang tali yang makin Panjang. Meskipun perbedaanya nilai tegangan nya tidak terlalu signifikan yang merupakan akibat karena perubahan anchor point setiap pergantian radius

- 4) Dari ketiga desain *spread mooring* yang dianalisa, desain ketiga merupakan desain yang optimal jika dipandang dari segi probabilitas operasi karena pergerakan kapal yang tidak signifikan saat terkena beban lingkungan
- 5) Di antara ketiga model tambatan yang dianalisis, model ketiga merupakan model optimal dalam hal probabilitas pengoperasian karena pergerakan kapal pergerakan lebih kecil ketika terkena beban lingkungan, tetapi dari segi ekonomi akan makin banyak biaya yang harus dikeluarkan akibat dari penambahan Panjang tali

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rizki Amalia Prasiwi, Imam Rochani, dan Joswan J. Soedjono, “Analisis Perilaku FPSO (*Floating Production Storage and Offloading*) Terhadap *Internal Turret Mooring System* Berbasis Simulasi *Time Domain*” , 2013.
- [2] M Ikbal Afdhal, Untung Budiarto, dan Imam Pujo Mulyatno, “ Optimasi Disain *Spread Mooring* Dengan Konfigurasi Variasi *Line Terhadap Six Degrees Of Freedom (DOF)* Olah Gerak Pada Kapal *Floating Storage And Offloading (FSO)*” 2019.
- [3] Vikry Cendekiawan, “Komparasi Perilaku Gerak Flng Masela Terhadap Sistem Tambat *Spread Mooring* Dengan Konfigurasi *Spread* Dan *Group (Bundle)*”, 2016.
- [4] F. M. Assidiq, D. Paroka, M.Z. Muis, dan S. Klara, "*Fatigue Analysis of Catenary Mooring System due to Harsh Environment in Head Seas*", *EPI International Journal of Engineering*, vol. 1, no. 1, hlm.30-38, 2018

