



## PERBANDINGAN PANJANG *MOORING LINE* TERHADAP KARAKTERISTIK PERGERAKAN KAPAL FPSO MENGGUNAKAN ANALISA NUMERIK

Nadya Darwis

Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Indonesia

[\\*Nadyanurhakiki@icloud.com](mailto:*Nadyanurhakiki@icloud.com)

### Abstrak

Dalam analisa penambatan untuk kapal FPSO (*Floating Production Storage and Offloading*), banyak faktor yang perlu di perhatikan agar *mooring system* bisa memenuhi standar kelayakan operas dan keamanan. Di paper ini akan dibahas mengenai kestabilan Kapal FPSO dengan panjang *mooring line* yang bervariasi untuk kapal FPSO dengan kapasitas 170218 DWT yang nantinya akan dikonversi. Jumlah tali mooring diberi batasan sampai 4 dengan panjang tali mooring masing-masing 3100, 3200, 3300 m. Variasi pada panjang tali tambatan untuk membandingkan pengaruh perubahan panjang dari tali tambat terhadap tegangan dari tiap tali tambat dan offset gerakan dari FPSO saat di tambat dan saat mendapatkan pembebanan lingkungan laut (gelombang, angin, arus) dengan menggunakan analisa dinamis dengan metode time domain. Dari studi ini dapat diketahui dengan penambahan panjang mooring line maka akan terjadi pengurangan maksimum tension pada mooring line, tapi sebaliknya terjadi penambahan offset gerakan kapal [1].

**Kata kunci :** FPSO, Penambatan, Tali Tambat, Tegangan Tambat

### Abstract

*In analyzing moorings for FPSO (Floating Production Storage and Offloading), many things must be considered so that the mooring system can meet operability and safety standards. In this paper, we will discuss the stability of FPSO ships with varying mooring line lengths for FPSO ships with a capacity of 170218 DWT which will later be converted. The number of mooring ropes is limited to 4 with mooring rope lengths of 3100, 3200, 3300 m respectively. Variations in the length of the mooring line to clearly see the extent of the influence of changes in the length of the mooring line on the tension of each mooring line and the movement offset of the FPSO when moored and subjected to marine environmental loads (waves, wind, currents) using full dynamic analysis with the time method domain. From this study it can be seen that by increasing the length of the mooring line there will be a reduction in the maximum tension on the mooring line, but on the contrary there will be an increase in the offset of the ship's movement.*

**Keywords:** FPSO, Mooring, Mooring line, Mooring tension

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan kemajuan teknologi serta semakin menipisnya cadangan minyak di darat, maka wilayah ekspor gas semakin meluas hingga mencapai ke perairan dalam. Untuk menghadapi lingkungan perairan yang lebih dalam, *Floating Offshore* yang akan dioperasikan adalah jenis yang dianggap hemat biaya, seperti platform terapung. Anjungan lepas pantai untuk struktur lepas pantai terapung meliputi anjungan TLP, anjungan semi *submersible*, FPS, dan anjungan SPAR. Salah satu jenis fasilitas yang digunakan dalam penambangan lepas pantai adalah unit produksi terapung atau FPU yang digunakan sebagai unit awal proses produksi gas alam atau hidrokarbon yang selanjutnya akan didistribusikan ke kilang di darat melalui pipa bawah laut atau minyak. Dengan eksploitasi sumber daya yang mencapai perairan dalam, struktur terapung yang dipadukan dengan sistem tambatan yang efisien dan andal menjadi semakin populer.



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

Sistem tambatan semakin menghadapi banyak tantangan untuk memastikan keandalan dan keamanan pengoperasian anjungan lepas pantai. Dalam hal ini, sistem tambatan merupakan elemen penting dari sistem pemeliharaan anjungan yang dikembangkan untuk eksplorasi dan produksi sumber daya minyak dan gas lepas pantai. Ada tiga jenis pengaturan untuk sistem tambatan tersebar, yang disebut tambatan jangkar, tambatan catenary, dan tambatan catenary apung. Tali tambatan yang umum digunakan adalah rantai berat, kabel baja dan/atau tali poliester sintetik yang diikatkan pada jangkar di dasar laut. Pada penelitian ini yang akan difokuskan adalah penentuan variasi panjang tali tambat. Secara teori, bertambahnya panjang tali tambatan akan menyebabkan penurunan tegangan maksimum pada tali tambatan, namun sebaliknya akan terjadi peningkatan pergerakan kapal [2].



**Gambar 1.** FPSO Berge Helena.

## 2. METODE

Penelitian dilakukan dengan metode studi literatur serta pendekatan metode numerik menggunakan software ANSYS AQWA. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana respon mooring line serta gerak kapal FPSO terhadap panjang mooring line. Terdapat 3 variasi panjang mooring line yang digunakan dalam penelitian ini yakni 3100 meter, 3200 meter dan 3300 meter. Pada pemodelan ini menggunakan 4 tali tambat dengan panjang tali yang berbeda.

Adapun batas toleransi yang diberikan terhadap gerak struktur terapung adalah sebagai berikut:

**Tabel 1.** Kriteria Toleransi gerak struktur terapung.

Criteria	Well Production
Mean Heel Angel (deg)	2
Mean Roll Angel (deg)	2
Max Pitch (deg)	6
Lateral Acceleration (m/s <sup>2</sup> )	0.20 x g = 1.962
Surge Acceleration (m/s <sup>2</sup> )	0.20 x g = 1.962
Riser Stroke	+15
	-10

Dimensi kapal yang digunakan adalah kapal Berge Helena yang berjenis FPSO dengan dimensi :

### Main Dimension

LOA : 250 m  
 B : 46 m  
 H : 24.6 m  
 T : 16.5 m



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

Data karakteristik laut yang digunakan yakni data lingkungan dari Blok Masela, yakni:

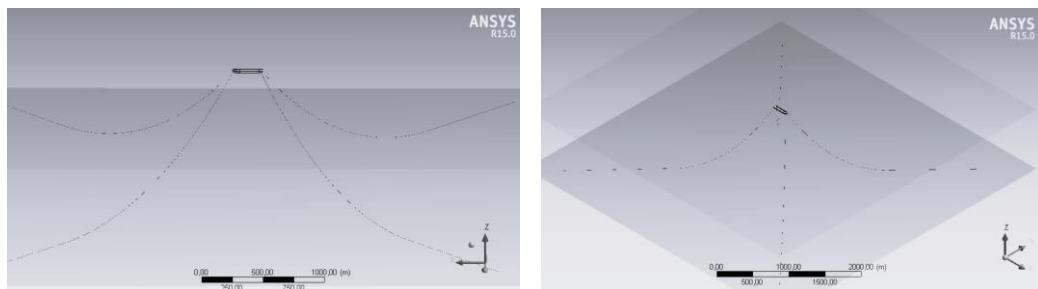
Data Lingkungan Blok Masela

Angin	: 16.91 m/s
Arus	: 0.5 m/s
Gelombang	: 2.5 m

Adapun mooring line yang digunakan pada 3 variasi panjang tali yakni :

Studless R4

Mass / Unit Length	: 438.90 kg/m
Equivalent Diameter	: 0.1588 m
Section Length	: 140.208 m
Stiffness	: 1842397000 N
Maximum Tension	: 19563000 N



**Gambar 2.** Konfigurasi mooring line pada FPSO.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### *Response amplitude operator (RAO)*

(RAO) adalah fungsi matematis untuk mengetahui hasil dan respons oleh *floating production* berdasarkan amplitudonya sebagai akibat beban eksitasi gelombang dengan rentang frekuensi/periode tertentu. RAO adalah informasi dari karakteristik gerakan dari bangunan *floating production* terhadap gelombang fungsi operator. Respon gerakan RAO translasi adalah perbandingan secara langsung antara amplitudo gerakan dibandingkan dengan amplitudo gelombang insiden [3].

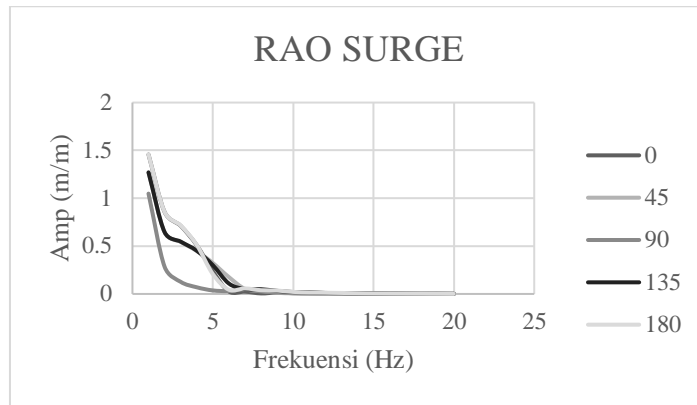
$$RAO = \left( \frac{\text{amplitudo respon gerakan}}{\text{amplitudo gelombang}} \right)^2 = \left( \frac{\Phi_a}{S_\zeta} \right)^2$$

Dimana :

$\Phi_a$  : Amplitudo respon gerakan [m] atau [deg]

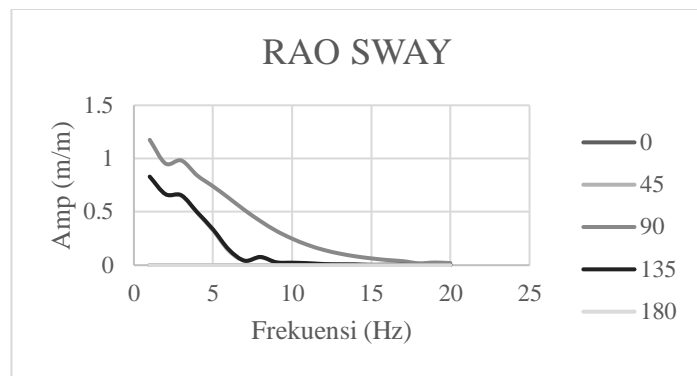
$\zeta_a$  : Amplitudo gelombang [m]

Berikut adalah nilai RAO yang didapatkan dari software Ansys AQWA dengan arah pembebanan pada sudut 0 derajat, 45 derajat, 90 derajat, 135 derajat, dan 180 derajat, terhadap enam derajat kebebasan (*Six Degrees of Freedom*) meliputi Surge (X), Sway (Y), Heave (Z), Roll (RX), Pitch (RY), dan Yaw (RZ).



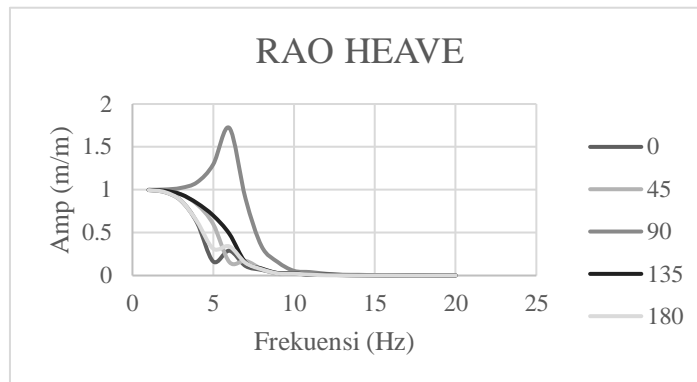
**Gambar 3.** RAO Terhadap Sumbu X (Surge).

Grafik respon dari *motion surge* (X) dengan kondisi *free floating* menunjukan pada derajat 180 mengalami nilai signifikan terbesar yakni 1,45 m/m sedangkan nilai terkecil terjadi pada derajat 90.



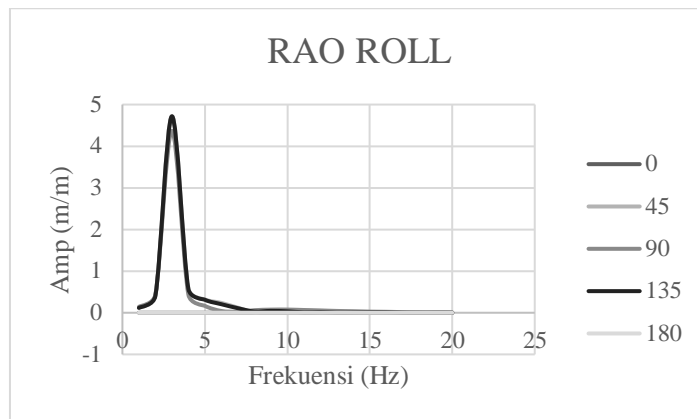
**Gambar 4.** RAO Terhadap Sumbu Y (Sway).

Grafik respon dari *motion sway* (Y) dengan kondisi *free floating* menunjukan pada derajat 90 mengalami nilai signifikan terbesar yakni 1.17 m/m sedangkan nilai terkecil terjadi pada derajat 135.



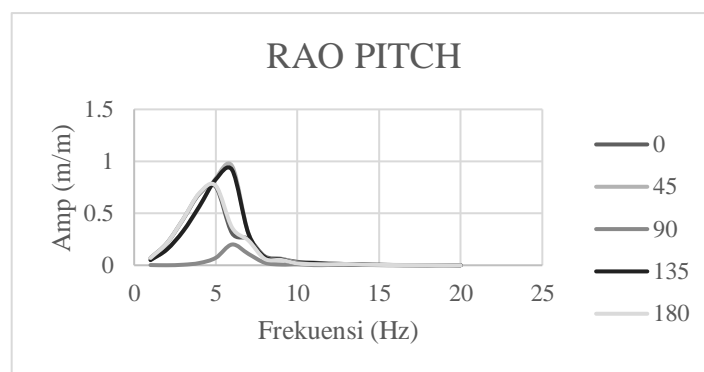
**Gambar 5.** RAO Terhadap Sumbu Z (Heave).

Grafik respon dari *motion heave* (Z) dengan kondisi *free floating* menunjukan pada derajat 90 mengalami nilai signifikan terbesar yakni 1,72 m/m sedangkan nilai terkecil terjadi pada derajat 0.



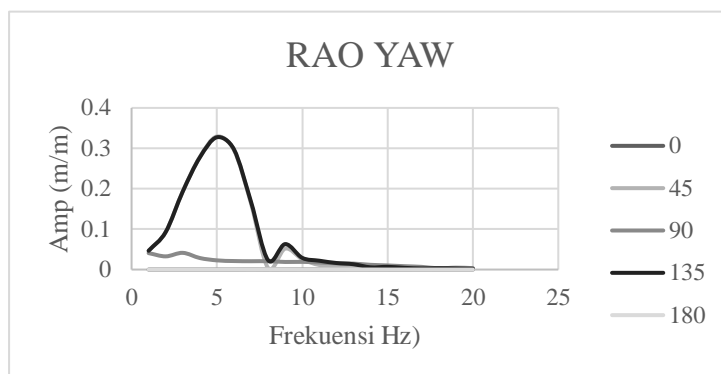
**Gambar 6.** RAO Terhadap Sumbu RX (Roll).

Grafik respon dari *motion roll* (RX) dengan kondisi *free floating* menunjukan pada derajat 135 mengalami nilai signifikan terbesar yakni 4,71 m/m sedangkan nilai terkecil terjadi pada derajat 180.



**Gambar 7.** RAO Terhadap Sumbu RY (Pitch).

Grafik dari respon *motion pitch* (RY) dengan kondisi *free floating* menunjukan pada derajat 45 mengalami nilai signifikan terbesar yakni 0,95 m/m sedangkan nilai terkecil terjadi pada derajat 90.



**Gambar 8.** RAO Terhadap Sumbu RZ (Yaw)

Grafik respon *motion sway* (XZ) dengan kondisi *free floating* menunjukan pada derajat 45 mengalami nilai signifikan terbesar yakni 0,32 m/m sedangkan nilai terkecil terjadi pada derajat 90.

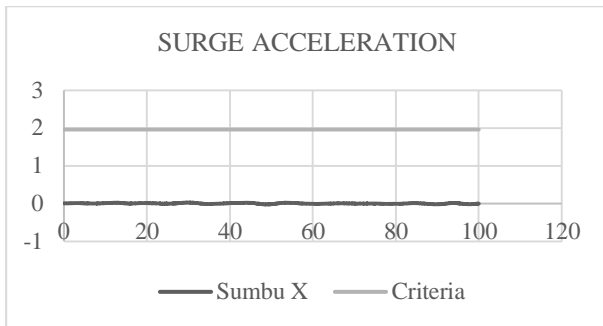
Grafik diatas adalah nilai dari Response Amplitude Operator (RAO) pada tiap 6 derajat kebebasan yang diperoleh menggunakan software Ansys AQWA. Dari grafik diatas dapat kita ketahui bagaimana respon gerak struktur terhadap beban lingkungan yang ada di Blok Masela berbagai sumbu derajat kebebasan dengan arah pembebanan yang berasal dari sudut 0 derajat, 45 derajat, 90, derajat, 135 derajat, serta 180 derajat.

### Surge Acceleration

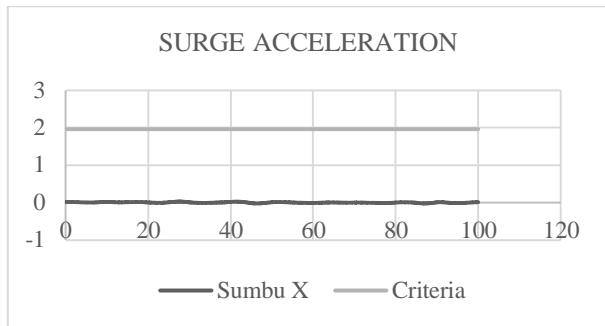


copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

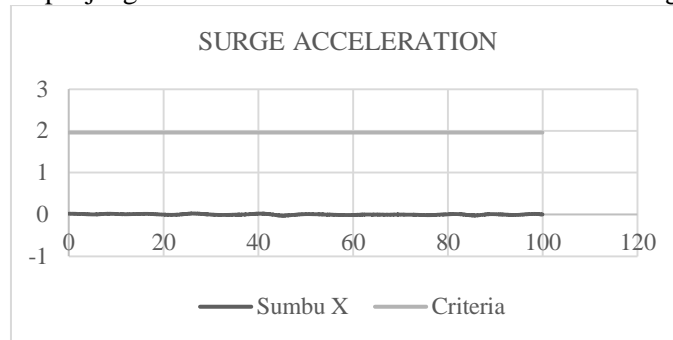
*Surge acceleration* adalah gerak struktur terapung terhadap sumbu x dikarenakan adanya beban lingkungan, adapun kriteria yang telah ditentukan pada surge acceleration ialah  $0.2 \times 9.81 = 1.962 \text{ m/s}^2$ . Sehingga diperoleh grafik pada 3 variasi panjang tali tambat, yakni: 3100, 3200, dan 3300 selama 100 s.



**Gambar 9.** Surge pada panjang tali 3300



**Gambar 10.** Surge pada panjang tali 3200

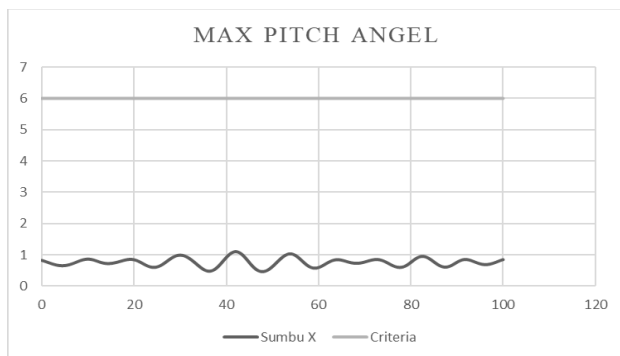


**Gambar 11.** Surge pada panjang tali 3100

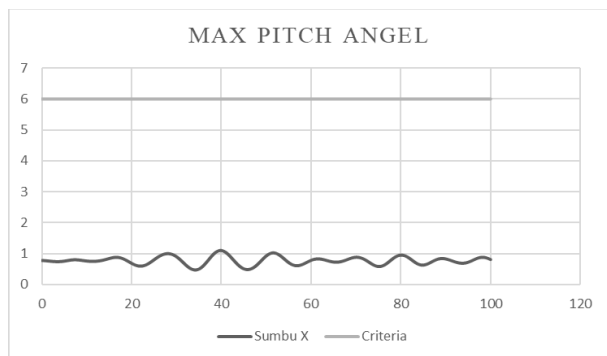
Berdasarkan hasil yang diperoleh diatas dapat diketahui bagaimana pergerakan kapal FPSO terhadap sumbu X setelah ditambat dengan berbagai variasi panjang mooring line.

**Max Pitch Angel**

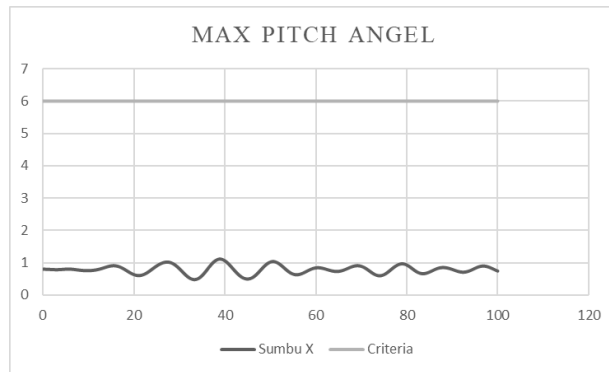
*Max pitch angel* adalah gerak struktur terapung terhadap sumbu RY dikarenakan gaya-gaya luar, adapun kriteria yang telah ditetapkan ialah 6 derajat. Berikut adalah grafik yang diperoleh dari pemodelan Ansys AQWA terhadap 3 variasi panjang mooring line yaitu 3100,3200, dan 3300 selama 100 s.



**Gambar 12.** Max Pitch pada panjang tali 3300 3200



**Gambar 13.** Max Pitch pada panjang tali

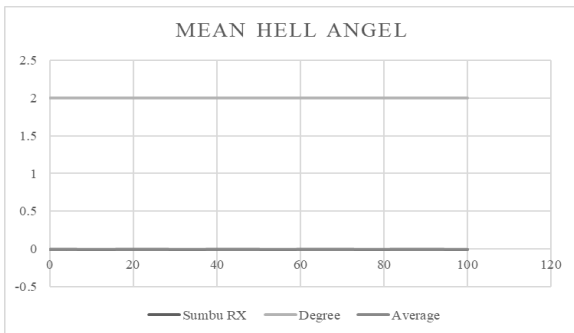


**Gambar 14.** Max Pitch pada panjang tali 3100

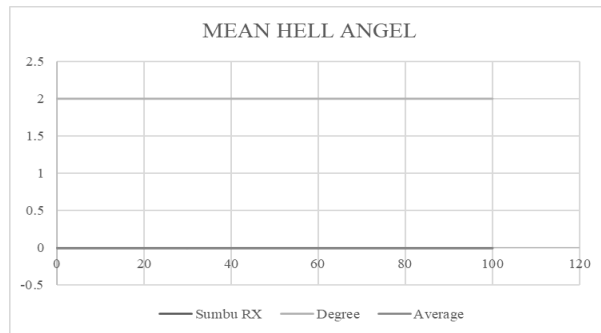
Berdasarkan hasil yang diperoleh diatas dapat diketahui bagaimana respon gerak strutur terapung terhadap sumbu RY setelah ditambah dengan berbagai variasi panjang mooring line.

**Mean Hell Angel**

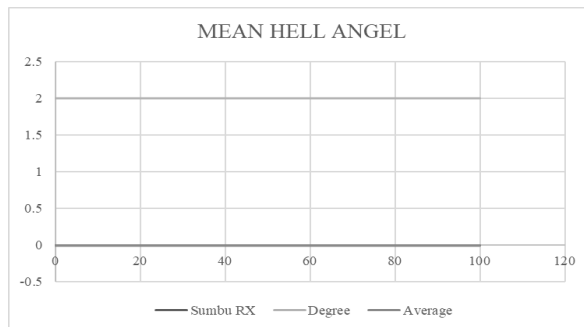
Mean Hell angel adalah gerak struktur terapung terhadap sumbu RX (gerak roll) yang diakibatkan beban lingkungan, adapun kriteria yang telah ditetapkan ialah 2 derajat. Berikut adalah grafik yang diperoleh terhadap 3 variasi panjang tali mooring yaitu 3100,3200, dan 3300 selama 100 s.



**Gambar 15.** Mean Hell Angel pada panjang tali 3300 tali 3200



**Gambar 16.** Mean Hell Angel pada panjang tali 3200



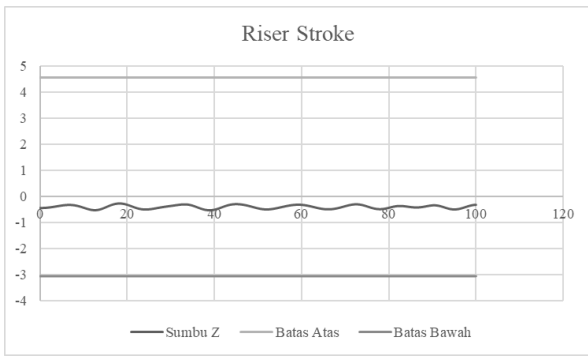
**Gambar 17.** Mean Hell Angel pada panjang tali 3100

Berdasarkan hasil yang diperoleh diatas dapat diketahui bagaimana respon gerak strutur terhadap sumbu RX (gerak roll) setelah ditambah dengan 3 variasi panjang mooring line.

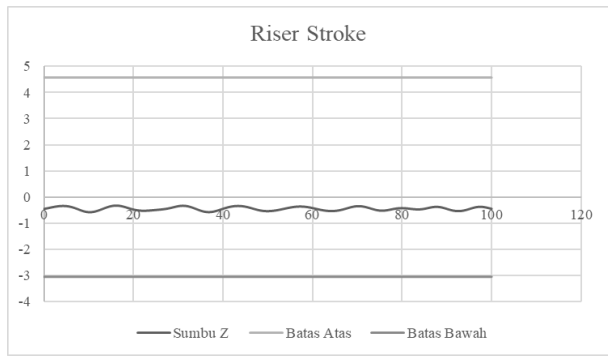
**Riser Stroke**

Riser stroke adalah gerak struktur terapung terhadap sumbu z (gerak heave) dikarenakan adanya beban lingkungan, adapun kriteria yang telah ditentukan pada riser stroke ialah batas atas 15 dan batas bawah -10. Adapun grafik yang diperoleh terhadap 3 variasi panjang mooring yaitu 3100, 3200, dan 3300 selama 100s sebagai berikut.

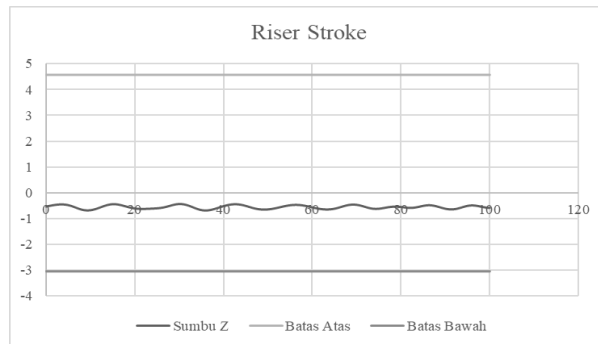




**Gambar 18.** Riser Stroke pada panjang tali 3300



**Gambar 19.** Riser Stroke pada panjang tali 3200

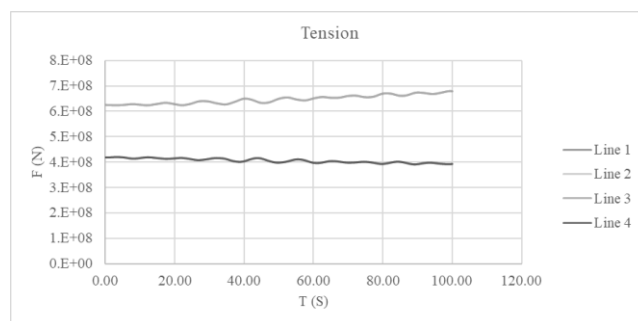


**Gambar 20.** Riser Stroke pada panjang tali 3100

Berdasarkan hasil yang diperoleh diatas dapat diketahui bagaimana pergerakan kapal FPSO terhadap sumbu Z setelah ditambat dengan berbagai variasi panjang mooring line

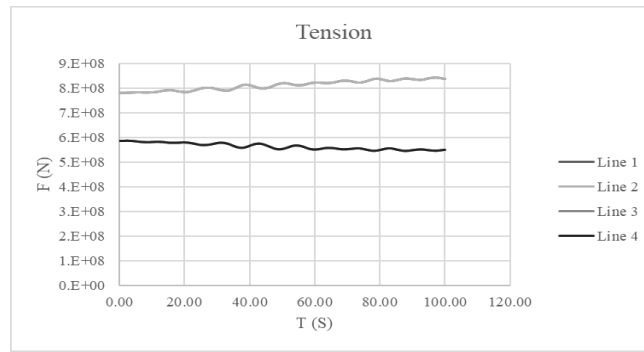
**Mooring Line Tension**

Mooring line tension adalah tegangan tali tambatan yang sangat penting untuk mengetahui berapa besaran tekanan yang diterima oleh tiap tali tambat, dengan mengetahui tension dari tiap mooring line dapat mengetahui seberapa lama tali tambat itu dapat bertahan sehingga kita lebih dapat memaksimalkan umur dari teknologi tambat tersebut. Berikut adalah tension mooring line yang diperoleh pada tiap variasi panjang mooring line dengan rentang waktu 100s menggunakan software Ansys AQWA.

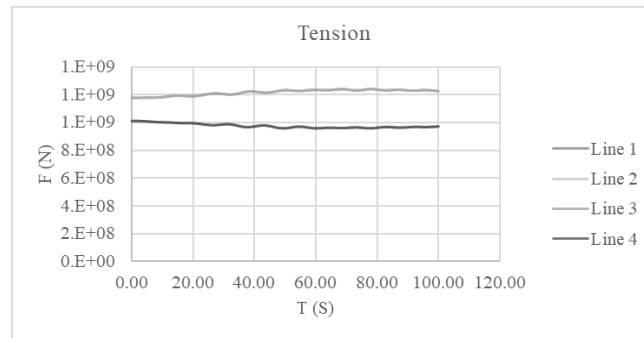


**Gambar 20.** Tension pada panjang tali 3300





**Gambar 20.** Tension pada panjang tali 3200



**Gambar 20.** Tension pada panjang tali 3100

Hasil analisa pada variasi ketiga dengan panjang tali 3100 didapat nilai tension terbesar terjadi di *line 2*.

Analisa tension dilakukan dengan menggunakan 3 desain variasi mooring line yaitu (1) Model pertama, dengan panjang tali 3300 menggunakan material R4 Studless diameter 0.1588 m. (2) Model kedua, dengan panjang 3200 menggunakan material R4 Studless diameter 0.1588 m. (3) Model ketiga, dengan panjang 3100 menggunakan material R4 Studless diameter 0.1588 m. Berdasarkan analisa yang telah dilakukan pada ketiga desain variasi konfigurasi mooring system bahwa tension maksimum terjadi pada desain mooring line 3 dengan panjang tali 3100.

#### 4. KESIMPULAN

Dalam merancang mooring system hal yang perlu diperhatikan adalah mengacu pada kemampuan dan kapasitas dari tali mooring. Dari hasil analisa bahwa ada beberapa tali yang mempunyai kapasitas dibawah standar yang diijinkan dalam design, tapi dari penelitian ini terlihat bahwa dengan penambahan panjang tali *mooring* maka akan terjadi pengurangan maksimum *tension* pada tali mooring, dan sebaliknya terjadi sedikit penambahan offset gerakan kapal. Dari study diatas, terlihat bahwa panjang mooring line akan mempengaruhi pemilihan dimensi dan type dari chain dan wire, serta jangkar yang akan dipakai dalam mooring system [4].

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih memuat apresiasi yang diberikan oleh penulis kepada pihak-pihak yang telah berperan dalam penelitian, baik dalam bentuk support, perizinan, bimbingan, maupun membantu dalam pengambilan data.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fauzan, Ahmad. “Analisa Kekuatan Spread Mooring Pada Sistem Tambat FPSO Berbentuk Silinder di Perairan Lepas” Jurnal Teknik Perkapalan, Vol. 7, No. 1.
- [2] Hakim, Luqman Hadi. “Analisa Perilaku Dinamis FPSO Dengan System Internal Turret Mooring, Teknik Kelautan 2018.



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

- [3] DNV.DNV OS E301 – “Position Mooring”.Norway: Det Norske Veritas. DNV, 2004
- [4] Lewis, W.E. “Principles of Naval Architecture (second revision)”, volume III – “Motions in Waves and Controllability. Jersey City, NJ: Society of Naval Architects and Marine Engineers. 1998



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