

# PREDIKSI NUMERIK KETIDAKSTABILAN FPSO TERTAMBAT PADA MULTI BUOY AKIBAT KEGAGALAN PADA MOORING LINE

Arifin<sup>[1]</sup>

Indonesian Hydrodynamic Laboratory - BPPT

Email: [arifinsah03@gmail.com](mailto:arifinsah03@gmail.com)<sup>[1]</sup>

## **ABSTRACT**

*An offshore hydrocarbon exploration by means of a floating structure that has equipments for production, storage and offloading (FPSO) needs a suitable mooring system in such that the activity can be performed effectively and efficiently.*

*A buoy mooring system is an alternative to moor a ship and support production and offloading process. In mooring case of 2 (two) buoys, motion response and maximum tension line are analyzed in which one or more of the mooring lines was broken.*

*A numerically approach by using SHIPMO and Orcaflex Codes is used for determining a Response Amplitude Operators (RAO) and Mooring Lines Tension. The simulation are carried out for two buoy numbers of mooring system at intact and damage condition. These results are compared to establish whether the mooring system is safe.*

**Keywords :** FPSO, Motion Response, Maximum Tension Line, Intact and Damage Condition.

## **ABSTRAK**

Kegiatan eksplorasi migas lepas pantai menggunakan anjungan terapung yang memiliki sarana produksi, penyimpanan dan bongkar muat migas (*Floating Production Storage and Offloading, FPSO*) memerlukan suatu sistem tambat yang tepat agar kegiatan eksplorasi bisa berjalan secara efektif dan efisien.

Sistem tambat dengan menggunakan buoy merupakan salah satu pilihan untuk sistem penambatan kapal dan mendukung proses produksi dan bongkar muat migas. Pada kasus penambatan menggunakan 2 *buoy mooring*, dilakukan analisis terhadap respon gerakan FPSO tertambat dan tegangan maksimum yang terjadi pada tali tambat, terutama saat terjadi kegagalan pada tali tambatnya (*damage condition*).

Suatu pendekatan numerik dengan piranti lunak SHIPMO dan Orcaflex digunakan untuk menentukan besarnya *Response Amplitude Operators* (RAO) dan Tegangan Tali Tambat. Simulasi numerik ini dilakukan pada kondisi sistem penambatan dengan menggunakan 2 *buoy mooring*, dimana terjadi kegagalan pada salah satu atau beberapa tali tambatnya sehingga mempengaruhi kestabilan kapal dan tegangan maksimum pada tiap tali tambat. Selanjutnya hasil analisa pada kondisi normal dan damage dibandingkan untuk menentukan tingkat keamanan sistem penambatan.

**Kata Kunci:** FPSO, respon gerakan, tegangan tali maksimum, intact dan damage condition.

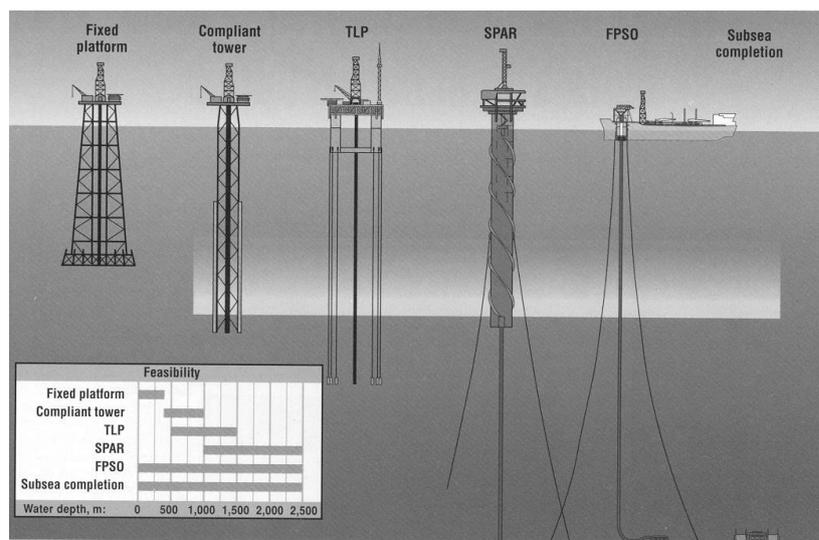
## **PENDAHULUAN**

Dengan semakin menipisnya cadangan migas di wilayah Indonesia bagian Barat, maka kegiatan eksplorasi migas mulai bergeser menuju perairan Indonesia bagian Timur yang memiliki kedalaman laut yang lebih besar. Hal tersebut juga didukung oleh perkembangan teknologi ekplorasi dan teknologi perancangan anjungan lepas pantai. Salah satu contoh adalah cadangan minyak dan gas yang berada di Selat Makassar, dan akan dieksplorasi di masa mendatang.

Pada aktifitas tersebut, kapal jenis *Floating Production, Storage and Offloading (FPSO)* memegang peranan penting untuk mendukung aktifitas produksi dan distribusi. Salah satu kelebihan penggunaan FPSO dalam aktifitas tersebut adalah relatif lebih murah dan mudah dipindahkan ke lokasi lainnya dibandingkan bangunan apung lepas pantai yang lain. Adapun karakteristik terpenting FPSO adalah kemampuannya dalam menghadapi kondisi lingkungan laut yang cukup ekstrim sekalipun. Namun, tentunya harus didukung oleh sistem penambatan yang handal.

Ketika perkiraan kondisi suatu lokasi telah dapat ditentukan berdasarkan hasil survey geologi, sehingga dapat ditentukan adanya prospek potensi kandungan migasnya, maka ladang migas tersebut sudah bisa dibor untuk menguji perkiraan tersebut. Dalam tahapan pengeboran yang menggunakan *drilling unit* maka dipersyaratkan oleh regulasi bahwa drilling unit tersebut harus mampu bekerja pada kondisi laut yang buruk sekalipun [1]. Ada beberapa alternatif jenis bangunan lepas pantai yang dapat digunakan untuk kegiatan pengeboran diantaranya adalah *barge*, *semisubmersible*, *jack-up* dan lain-lain sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut.

Pada kondisi laut yang cukup dalam, FPSO dianggap lebih memiliki daya tarik ekonomi yang lebih besar. FPSO memiliki peralatan produksi dan akomodasi yang ditempatkan di atas geladak kapal. Migas yang sudah diproduksi dan disimpan di FPSO untuk dipindahkan secara periodik ke daratan melalui kapal tanker. Terkadang migas dari FPSO tersebut disalurkan ke SBM yang terletak pada jarak tertentu melalui sistem perpipaan dimana kapal tanker dapat ditambatkan.



Gambar 1. Anjungan Lepas Pantai

Pada umumnya FPSO didesain untuk masa pengoperasian yang cukup panjang. Oleh karena itu, respon gerakan FPSO yang terjadi perlu dianalisa dengan cermat. Demikian halnya dengan tegangan pada tali tambat perlu dianalisa untuk mengetahui *safety factor* tali tambat, apakah memenuhi kriteria desain yang ditentukan oleh Badan Klasifikasi tertentu seperti Bureau Veritas, BV. Dengan demikian gerakan *surge*, *sway* dan *yaw* FPSO yang disebabkan oleh gaya-gaya *drift* perlu diperkirakan karena dianggap sangat penting terutama kemungkinan berada pada daerah resonansi.

Pada tahapan awal perencanaan sistem mooring, *safety factor* tegangan tali tambat perlu dipertimbangkan benar. Titik tambat *mooring line* pada *fairlead* harus diperiksa sedemikian rupa hingga tegangan yang bekerja masih berada dalam batasan *safety factor* yang ditentukan.

Perpindahan posisi arah horisontal maksimum merupakan jumlah perpindahan/pergerakan yang diakibatkan oleh gelombang dan pergerakan yang disebabkan oleh frekuensi rendah. Gerakan *surge* dan *sway* disyaratkan berada dalam batas pergerakan yang diijinkan sehingga tegangan pada tali tambat masih memiliki *safety factor*. *Safety Factor* tersebut yang berhubungan dengan Badan Klasifikasi merupakan kriteria desain tali tambat [2].

Perubahan displacement kapal akibat perubahan sarat kapal dapat dianggap seperti tegangan tali tambat yang dipengaruhi oleh pergerakan *surge* dan *sway* maksimum. Kondisi lingkungan ekstrim yang terjadi dalam kurun 100 tahunan biasanya digunakan untuk menentukan besaran pergerakan *surge* dan *sway* serta tegangan tali maksimum.

Seiring dengan perkembangan bangunan lepas pantai migas menuju laut dalam, tuntutan akan kemampuan *stationkeeping* menjadi sangat ketat akibat penggunaan anjungan terapung. Jenis bangunan terapung yang digunakan untuk produksi biasanya menggunakan sistem tambat. Dalam kenyataan di lapangan, sistem mooring *catenary* yang bersifat tradisional masih banyak dijumpai penggunaannya [3]

Dengan bertambahnya kedalaman laut, berat rantai dan tali baja menjadi sangat besar sehingga biayanya sangat besar dan tidak ekonomis. Salah satu metode penyelesaian masalah tersebut diatas adalah penggunaan tali fiber sintesis untuk menggantikan kabel baja dan menggantikan sistem tambat dengan sistem semi-taut atau taut mooring. Akan tetapi, adanya segmen rantai yang tergeletak di dasar laut, sistem *catenary* mempunyai *safety factor* yang lebih tinggi dibanding sistem taut terutama pada kondisi laut yang buruk [4].

Penggunaan buoy dalam sistem tambat *catenary* dapat juga dianggap sebagai satu metode yang cukup efektif untuk mengurangi respon gerakan dan tegangan tali tambat yang terjadi. Beberapa keuntungan penggunaan buoy dalam sistem tambat diantaranya adalah:

- Mengurangi beban akibat berat tali tambat dan rantai serta mengurangi *pre-tension*.
- Mengurangi radius *mooring*.
- Menyimpan sebagian gaya pengembali dan kemampuan menahan gaya lingkungan yang cukup besar.

Adapun beberapa kelemahan penggunaan buoy dalam sistem tambat *catenary* adalah:

- Menambah kesulitan dalam proses pemasangan.
- Karakteristik dinamis sistem tambat menjadi lebih rumit.

Dalam kaitannya dengan besarnya respon gerakan bangunan apung dan tension yang terjadi pada sistem *mooring catenary*, beberapa parameter lain yang berpengaruh dalam perencanaan perlu dipertimbangkan. Beberapa parameter yang dianggap cukup berpengaruh diantaranya adalah perencanaan konfigurasi *mooring* dan kondisi operasionalnya [5].

Pada pembahasan ini, akan dilakukan kajian numerik sistem penambatan menggunakan 2 buoy yang mengalami kegagalan pada salah satu atau beberapa mooring line-nya.

Dari kajian ini diharapkan, akan diperoleh data tegangan tali tambat maksimum yang mungkin terjadi pada sistem tambat, yang dibandingkan dengan kapasitas tali tambat sehingga diperoleh informasi seberapa besar *safety factor* yang dimiliki oleh sistem tambat.

## DASAR TEORI

Struktur apung yang dikenal dengan *floating production unit, floating storage and offloading, floating production storage and off-take* merupakan fasilitas dan sarana yang diperlukan dalam kegiatan eksplorasi minyak dan gas. Pada umumnya struktur apung tersebut berupa tanker dan barge (tongkang), dimana di atas struktur itu terdapat berbagai peralatan yang digunakan untuk proses produksi atau penyimpanan minyak atau gas yang dihasilkan dari proses produksi dan selanjutnya minyak tersebut disalurkan dan dipindahkan ke tempat tujuan dengan kapal tanker yang lainnya atau melalui pipa bawah laut.

Efektifitas pengoperasian suatu struktur apung di laut, baik kapal ataupun anjungan minyak lepas pantai pada dasarnya sangat dipengaruhi oleh kehandalan dari sistem tersebut terhadap kondisi lingkungan perairan dimana struktur dioperasikan. Dalam hal ini sistem penambatan (*mooring line system*) pada struktur apung sangat berperan untuk memperkecil gerakan dan menjaga keseimbangan struktur untuk tetap pada posisinya dalam melakukan aktifitas pengoperasiannya. Untuk itu diperlukan suatu perencanaan yang sistematis dan akurat dalam mendesain barge, *mooring line system* dalam mengatasi beban-beban yang diakibatkan oleh angin, gelombang dan arus.

### Beban Lingkungan

Dalam perencanaan sistem penambatan suatu struktur apung FPSO, faktor lingkungan sangat penting untuk diketahui. Tidak hanya dalam pemilihan jenis *mooring line* namun juga untuk pertimbangan operasionalnya. Faktor lingkungan dapat berupa arus, angin, ombak, pasang surut permukaan laut dan lain lain.

#### Arus

Arus pada perencanaan dan pengoperasian FPSO dapat dihitung dengan formulasi pendekatan walaupun sangat kompleks. Beban arus pada struktur apung tergantung besarnya sarat FPSO, kecepatan dan arah arus. Sedangkan gaya yang bekerja pada *mooring line* tidak begitu signifikan mengingat kecilnya struktur tali tambat (*mooring line*).

Gaya yang ditimbulkan oleh arus laut dapat dibagi atas gaya transversal dan longitudinal [1].

#### a) Gaya arus transversal ( $C_T$ )

$$C_T = 0,5 \times P_w V_C^2 C_{TC}(\alpha) A_{LS} \quad (1)$$

dimana :

$P_w$	:	Massa jenis air laut
$V_C^2$	:	Kecepatan Arus
$C_{TC}$	:	Koef. yang tergantung pada arah arus
$(\alpha)$	:	Sudut datang arus
$A_{LS}$	:	Luas sisi struktur di bawah permukaan laut.

#### b) Gaya arus longitudinal ( $C_L$ )

Yaitu gaya arus yang bekerja pada struktur secara longitudinal ditambahkan gaya gesekan, dirumuskan dengan :

$$C_L = \left( \frac{0,075}{(\log Rn - 2)^2} \right) \times 0,5 P_w S V_C^2 \cos \alpha / \cos \alpha \quad (2)$$

dimana :

$$\left( \frac{0,075}{(\log Rn - 2)^2} \right) = \text{gaya gesek}$$

- Rn : Reynold number  
 $= Vc^2 \cos \alpha / L v$   
v : viskositas kinetik air laut.  
S : Luas bidang basah

### Angin

Gaya angin yang bekerja pada struktur merupakan fungsi dari kecepatan angin, orientasi struktur serta parameter lainnya. Untuk menghitung besarnya gaya angin pada struktur tersebut dapat dihitung dengan formulasi sebagai berikut:

a) Untuk gaya yang searah dengan arah angin :

$$F_D = 0.5 \cdot \rho \cdot C_d \cdot V_z^2 \cdot A \quad (3)$$

b) Untuk gaya yang tegak lurus dengan arah angin

$$F_L = 0.5 \cdot \rho \cdot C_l \cdot V_z^2 \cdot A \quad (4)$$

dimana :

- C<sub>d</sub> = koefisien drag
- C<sub>l</sub> = koefisien gaya angkat
- ρ = rapat massa udara
- A = frontal area
- V<sub>z</sub> = kecepatan angin pada ketinggian z

### Gelombang

Bentuk fisik gelombang air merupakan aliran tiga dimensi yang merambat secara random dan kontinyu serta mempunyai gaya atau energi yang dapat menimbulkan beban pada struktur (*offshore platform*), yang selanjutnya beban tersebut dapat mengakibatkan terjadi 6 derajat kebebasan gerakan struktur yakni gerakan translasi (*heave, surge* dan *sway*) dan gerakan rotasi (*pitch, roll, dan yaw*). Gaya yang diakibatkan oleh gelombang pada struktur merupakan gaya / beban yang paling dominan dari pada gaya arus dan angin.

Ada 3 parameter pokok yang sangat menentukan pemilihan metode, pendekatan atau prosedur untuk perhitungan beban gelombang adalah :

- Geometri struktur,
- Panjang gelombang dan
- Tinggi gelombang.

Ketiga parameter ini umumnya dinyatakan dalam bentuk perbandingan (rasio) yaitu : perbandingan antara diameter silinder atau lebar struktur dengan panjang gelombang ( $D/\lambda$ ) dan perbandingan antara tinggi gelombang dengan diameter silinder ( $H/D$ ).

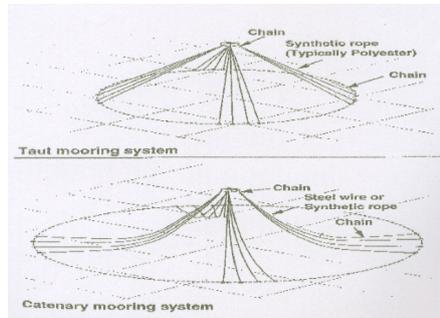
Di bawah ini merupakan perbandingan-perbandingan dimensi untuk beberapa persamaan gelombang yang dipakai dalam perhitungan beban gelombang, sebagai berikut :

- $D/\lambda > 0.2 \rightarrow$  menggunakan teori gelombang difraksi
- $D/\lambda < 0.2 \rightarrow$  menggunakan teori gelombang *Morison* ( lebih tepat )

## Sistem Tambat

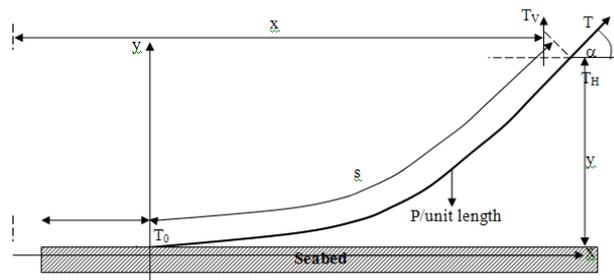
Secara umum, sistem tambat dapat dibagi menjadi beberapa kelompok (lihat Gambar 2) sebagai berikut:

- *Catenary mooring*
- *Semi-taut mooring*
- *Taut mooring*



Gambar 2. Taut dan Catenary Mooring

Kata *Catenary* sebenarnya berasal dari rumus yang dipakai untuk perencanaan sistem tersebut. Rumus *Catenary* menjelaskan sebuah tali yang ditambat pada kedua ujungnya, satu pada dasar laut dan yang lainnya pada FPSO, penyebab bentuk *mooring line* yang landai adalah beratnya. Sehingga bentuk bentangan *mooring line* dari struktur apung (FPSO) hingga ke jangkar (*seabed*) tidak tegang tetapi renggang. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3 berikut ini :



Gambar 3. Sketsa catenary mooring

dimana :

- y : Jarak vertikal antara permukaan laut dan dasar laut
- x : Jarak horisontal antara jangkar dan FPSO
- T : Tegangan pada *mooring line*
- Tv : Tegangan pada *mooring line* dalam arah vertikal
- Th : Tegangan pada *mooring line* dalam arah horisontal
- S : Panjang keseluruhan *mooring line* diukur dari FPSO ke jangkar
- $\alpha$  : Sudut yang dibentuk *mooring line* dengan permukaan laut
- P : berat *mooring line* per meter

Persamaan umum *catenary mooring* adalah :

$$y = \frac{T_0}{P} \left[ \cosh \left( \frac{Px}{T_0} \right) - 1 \right] \quad (5)$$

Tegangan yang terjadi pada *mooring line* dirumuskan :

$$T = \sqrt{(Th^2 - Tv^2)} \quad (6)$$

dimana :

$$Th = T \cos \alpha$$

Tegangan awal pada *mooring line* dirumuskan :

$$To = \sqrt{T^2 - (Ps)^2} \quad (7)$$

Panjang tali dirumuskan:

$$s = \frac{To}{P} \left[ \sinh \left( \frac{Px}{To} \right) \right] \quad (8)$$

dimana :

$$x = \frac{To}{P} \sinh^{-1} \left( \frac{Ps}{To} \right) \quad (9)$$

## **SIMULASI NUMERIK**

Simulasi respon gerakan kapal/FPSO pada kondisi *free-floating* dilakukan dengan menggunakan *software* MOSES untuk menghitung gaya-gaya hidrodinamika yang bekerja pada kapal. Output dari program MOSES v6.0 akan diinputkan ke dalam program ORCAFLEX v9.2 untuk mensimulasikan respon kapal pada kondisi ditambat dengan *mooring lines* dalam analisa *time domain*.

### **Orcaflex**

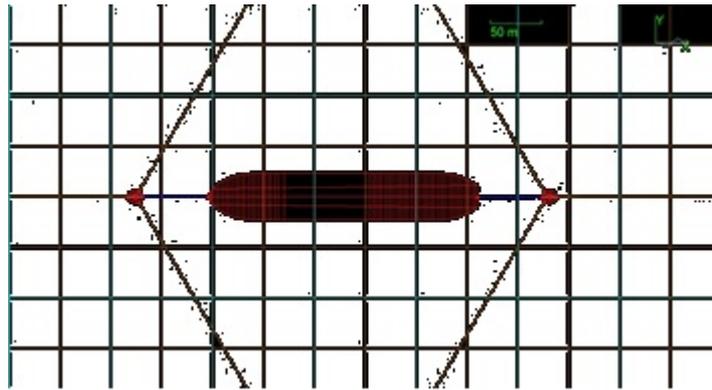
Orcaflex merupakan suatu program *marine dynamics* yang dikembangkan oleh Bentley untuk analisa statik dan dinamik untuk berbagai sistem struktur apung bangunan lepas pantai, termasuk *marine risers (rigid and flexible)*, *global analysis*, *moorings*, *installation* dan *towed systems*.

### **MOSES**

MOSES merupakan suatu integrasi program simulasi untuk menganalisa kinerja struktur bangunan lepas pantai. Program "MOSES" dapat menghitung *vessel hydrostatics*, *ballasting* dan *stability* maupun kinerja *seakeeping* struktur pada gelombang tidak teratur (*random*).

### **Pemodelan Numerik**

Pemodelan numerik model FPSO yang ditambat pada buoy yang ditambat secara *catenary mooring* menggunakan kombinasi chain dan wire rope, dengan setup menggunakan 2 buoy sebagaimana diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 4a. Konfigurasi Mooring A

Dalam simulasi numerik, *running* program dilakukan pada *intact* dan *damage* dengan skenario variasi *running* program sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kondisi Running Program

KONDISI	WAVE HEADING	Intact	Damage
A	0	√	-
B	0	-	L1 putus
C	0	-	L3 putus
D	45	√	-
E	45	-	L3 putus
F	45	-	L4 putus
G	90	√	-
H	90	-	L3 putus
I	90	-	L4 putus

Beberapa data masukan yang perlu diumpankan pada program Orcaflex meliputi:

- *Offset* kapal  
Data *lines/body plan* kapal per *station*
- RAO kapal dalam 6 derajat kebebasan (6 DoF)  
Gerakan *surge, sway, heave, roll, pitch* dan *yaw*
- *Hydrodynamic Drag*  
Data yang diperlukan adalah drag origin, luasan yang berpengaruh terhadap gaya *drag*, momen dan koefisien gaya *drag*
- *Wind Drag*  
Data koefisien gaya drag yang ditimbulkan oleh angin
- *Wave Drift*  
Data yang diperlukan adalah koefisien gaya *drift* pada setiap frekuensi yang ditinjau
- *Inersia* dan *Damping*

Data yang diperlukan adalah *added mass* dan *damping* terutama untuk gerakan *surge*, *sway* dan *yaw*.

- *Connector*  
Adalah data panjang *hawser*, diameter, serta karakteristik material *hawser*.
- *Buoy*  
Seluruh dimensi dan karakteristik *buoy* yang digunakan dalam sistem tambat.
- *Mooring Line*  
Data yang diperlukan adalah titik koneksi, panjang segmen, jenis material, diameter, kekakuan, dan lain-lain.
- Data lingkungan

### Data-data

#### **Data Kapal:**

- Length Overall : 268.4 m
- Breadth Moulded : 41.60 m
- Draft (Fully Loaded) : 11.3 m
- Displacement : 96075.1 ton

#### **Data Mooring:**

- Type : Catenary
- Wire Size, Diameter : 10.27 mm (4")
- Grade : R3
- Wire Break Load : 9425.5 kN
- Wire Weight In Water : 0.050 ton/m
- Weight in Air : 0.057 ton/m

#### **Data Lingkungan**

- Kedalaman laut : 693 m
- Gelombang 100 years
  - Tinggi gelombang,  $H_s$  : 7.28 m
  - Peak Period,  $T_p$  : 10.11 m
- Tipe gelombang : JONSWAP

Setelah semua data-data yang diperlukan sudah diinputkan semua, maka tahapan berikutnya adalah melakukan perhitungan statis terlebih dahulu. Kemudian dilakukan perhitungan dinamis dalam rentang waktu perhitungan tertentu.

### **HASIL SIMULASI**

Dari proses *running* program Orcaflex yang dilakukan ditunjukkan oleh Tabel 2, 3 dan 4 sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil Simulasi Pada Wave Heading 0 derajat

Max Tension (kN)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
<b>Condition</b>						
Intact	956.82	958.42	956.81	920.85	920.84	920.84
L1 Damage	-	775.18	973.66	920.85	920.84	920.84
L3 Damage	973.67	775.18	-	920.85	920.84	920.84

Tabel 3. Hasil Simulasi Pada Wave Heading 45 derajat

Max Tension (kN)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
<b>Condition</b>						
Intact	739.81	595.38	904.52	970.17	1270.58	1047.87
L3 Damage	677.58	570.25	-	970.17	1269.91	1047.85
L4 Damage	739.79	595.38	904.52	-	1199.14	957.62

Tabel 4. Hasil Simulasi Pada Wave Heading 90 derajat

Max Tension (kN)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
<b>Condition</b>						
Intact	888.46	768.19	1170.73	1173.73	761.91	887.31
L3 Damage	881.63	739.41	-	1173.73	761.91	887.31
L4 Damage	888.46	768.19	1170.73	-	739.38	879.86

Berdasarkan hasil sebagaimana ditampilkan pada tabel di atas di atas dapat diketahui bahwa pada sudut wave heading 0 derajat, tension maksimum yang terjadi pada *mooring line* yang berada di depan haluan kapal sedikit lebih besar dibanding yang berada di belakang buritan. Hal tersebut dikarenakan mooring line yang berada di depan menahan pergerakan kapal akibat gelombang yang datang dari arah haluan kapal. Adapun pada kondisi *damage* yang terjadi pada *mooring line* L1, maupun L3 menyebabkan penambahan tegangan pada *mooring line* L3 maupun L1 sebesar  $\pm 2\%$ .

Pada kasus kondisi intact yaitu wave heading 45 derajat, tension maksimum terjadi pada *mooring line* L5 dan L6. Adapun hasil simulasi pada kondisi damage yaitu kondisi dimana mooring line L3 dan L4 mengalami kegagalan, maka tegangan maksimum pada setiap mooring line tidak menyebabkan perubahan yang signifikan terhadap tension maksimum pada mooring line lainnya.

Hasil analisa kasus kondisi intact yaitu wave heading 90 derajat, tension maksimum terjadi pada *mooring line* L3 dan L4. Hal ini disebabkan mooring line tersebut menahan pergerakan kapal yang datang dari samping kiri kapal. Adapun hasil simulasi pada kondisi damage yaitu kondisi dimana mooring line L3 dan L4 mengalami kegagalan, maka tegangan maksimum pada setiap mooring line tidak menyebabkan perubahan yang signifikan terhadap tension maksimum pada mooring line lainnya.

Bila tegangan-tegangan maksimum yang terjadi pada setiap mooring dibandingkan dengan Wire Breaking Loads (MBL=4500kN), maka tegangan-tegangan tersebut masih berada dalam batas aman karena harga Safety Factor (SF) material mooring line masih cukup besar yaitu SF=3.543

## KESIMPULAN

Berdasarkan kajian numerik yang dilakukan terhadap FPSO yang ditambah dengan menggunakan 2 Buoy *mooring system* terutama dengan menganalisa tegangan maksimum mooring line pada kondisi *intact/damage*, maka dapat disimpulkan bahwa:

- Kondisi simulasi B dan C menyebabkan sedikit penambahan tegangan maksimum sebesar  $\pm 2\%$  yang terjadi pada mooring line lainnya.
- Semua kondisi simulasi yang dikaji masih menunjukkan *Safety Factor* yang masih berada dalam batas aman (SF>1.67, API RP 2A Standard)

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Journe J.M and Massie W.W, 2001, *Offshore Hydromechanics*, Delft University.

- [2] **Tai Pil Ha**, 2011, *Frequency and Time Domain Motion and Mooring Analyses for a FPSO Operating in Deep Water*, New Castle University.
- [3] **Beck, J. W., Vandenworm, N. J.**, 2011, *Mooring System Design for a Circular Hull Shape FPSO Floater with Spar like Responses*, Offshore Technology Conference Brazil, Rio de Janeiro, Brazil.
- [4] **Sun, J. W., Wang, S. Q.**, 2010, *Study on Motion Performance of Deepwater Spar Platform under Different Mooring Methods*, Period of Ocean University of China, p. 147-153.
- [5] **Klaka, K.**, 2000, *Response of a vessel to waves at zero ship speed*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*