

ANALISIS RESPON DINAMIK SISTEM *FREE STANDING HYBRID RISER* AKIBAT PENGARUH GELOMBANG

Dynamic Response of Free Standing Hybrid Riser System due to Wave Effect

Venny Sartika¹

Pembimbing : Krisnaldi Idris, Ph.D²

Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB

Jalan Ganesha 10 Bandung 40123

E-mail : 1vennysartika@gmail.com dan 2krisnaldi@ocean.itb.ac.id

ABSTRACT

Free standing hybrid riser (FSHR) is a combination of rigid steel tower which offsets from the floating platform and supported by buoyancy tank. It is connected to the floating platform using flexible jumpers. The key benefit of this system is the steel tower not subjected to floating platform dynamic motion, accordingly enables the use of steel riser system in harsh environment loading. Structural dynamics analysis is mainly concerned with finding out the behavior of a physical structure when subjected to loads due to dynamic forces. In this project, structural dynamic analysis was done to obtain the system configuration, vessel & buoyancy tank movement (API RP-2SK & DNV-OS-F301), also rigid steel tower (API RP-2RD & DNV-F-201) & flexible jumper (API RP-17J) displacements, time history, and stress using random wave as an acting dynamic load. As result, the vessel & buoyancy tank movement do not exceed the design criteria. The rigid steel tower & flexible jumper von mises stress do not exceed the design criteria.

Keywords/phrase: structural dynamics, free standing hybrid riser, floating structure, random wave

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi dunia terus meningkat setiap tahun. Para rekayasawan mencoba menjawab tantangan kebutuhan energi tersebut dengan melakukan eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi di perairan laut yang lebih dalam. Hal ini mempengaruhi perkembangan infrastruktur pendukung terkait agar aktivitas eksploitasi minyak dan gas dapat berjalan dengan efektif, efisien, dan optimal. Riser adalah salah satu infrastruktur pendukung yang penting pada aktivitas eksploitasi minyak dan gas. Salah

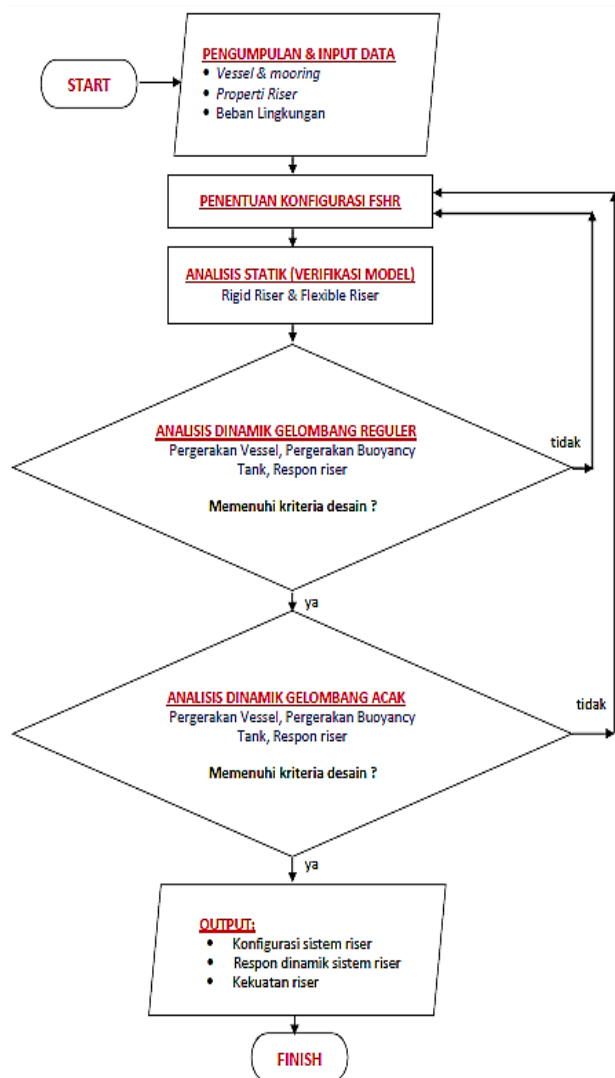
salah satu jenis riser yang belum banyak dikembangkan adalah *Free Standing Hybrid Riser*.

Gelombang merupakan salah satu variabel beban acak yang bersifat dinamik. Tugas Akhir ini akan membahas respon dinamik dari sistem *Free Standing Hybrid Riser* (FSHR) akibat pengaruh gelombang acak di perairan dalam. Sebelum dilakukan analisis dinamik, perlu dilakukan penentuan konfigurasi sistem FSHR terlebih dahulu. Akan dilakukan juga analisis kekuatan FSHR.

Kondisi lingkungan yang digunakan adalah kondisi lingkungan perairan laut dalam di Selat Makassar, Indonesia. Beban lingkungan yang digunakan berupa arus (dari arah utara) dan gelombang acak (8 arah) dengan periode ulang 100 tahun.

TEORI DAN METODOLOGI

Diagram alir pengerjaan tugas akhir ini dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 : Diagram alir tugas akhir.

Gaya gelombang pada struktur dengan diameter kecil dapat dihitung dengan menggunakan persamaan morison.

$$F = \frac{1}{2} \rho C_D A |U|U + \rho C_I V \dot{U} \quad (1)$$

Persamaan di atas dapat dilinearkan dengan cara mengganti koefisien C_D menjadi C_{DL} .

$$C_{DL} = \frac{8}{3\pi} C_D U_{max} \quad (2)$$

Untuk menganalisis dinamika suatu benda, maka benda itu dapat dimodelkan ke dalam model mekanik berderajat kebebasan. Model ini terdiri dari sebuah sistem yang terdiri dari benda bermassa (m), pegas (K), dan peredam (c).

Solusi umum dari kondisi getaran paksa $m\ddot{Z} + c\dot{Z} + KZ = F(t)$ adalah:

$$Z(t) = Z_h(t) + Z_p(t) \quad (3)$$

dalam kondisi ini, $Z_h(t)$ merupakan solusi homogen dari sistem dan $Z_p(t)$ merupakan solusi partikular dari sistem. Solusi homogen adalah solusi saat gaya luar (F) bernilai nol.

Untuk kondisi getaran paksa dengan beban harmonik teredam, solusi umum dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Z_p(t) = C_1 \cos \Omega t + C_2 \sin \Omega t \quad (4)$$

Dengan:

$$C_1 = \frac{F}{K} \frac{2\zeta\beta}{(1-\beta^2)^2 + (2\zeta\beta)^2} \quad (5)$$

$$C_2 = \frac{F}{K} \frac{1-\beta^2}{(1-\beta^2)^2 + (2\zeta\beta)^2} \quad (6)$$

Untuk beban harmonik, respon sistem terhadap beban luar adalah berupa getaran dengan 2 komponen yang memiliki frekuensi berbeda. Komponen pertama merupakan getaran *transient* yaitu getaran dengan frekuensi alami

struktur (ω_n). Komponen kedua merupakan komponen getaran *steady-state* yaitu getaran dengan frekuensi beban (Ω). Getaran *steady state* disebabkan oleh beban harmonik, sedangkan getaran *transient* tergantung pada kondisi awal. Yang biasa dianalisis untuk menentukan kestabilan struktur adalah getaran *steady state*.

Untuk kondisi getaran beban harmonik teredam, getaran *steady state*-nya dapat dituliskan dalam rumusan berikut:

$$Z(t) = \frac{F}{K} \frac{1}{\sqrt{(1-\beta^2)^2 + (2\zeta\beta)^2}} \sin(\Omega t - \varphi) \quad (7)$$

Dimana φ adalah fasa sudut. Pada rumusan ini, terdapat bagian yang disebut *dynamic amplification factor*, yaitu:

$$DAF = \frac{1}{\sqrt{(1-\beta^2)^2 + (2\zeta\beta)^2}} \quad (8)$$

Spektrum teoritis JONSWAP (*Joint North Sea Wave Project*) dikembangkan pada tahun 1973 oleh kumpulan ahli dari berbagai negara. Berikut ini adalah persamaan spektrum teoritis JONSWAP:

$$S_{\eta}(\omega) = \vartheta H_s^2 T_p^{-4} \omega^{-5} \gamma^{\beta} \exp\left(-\frac{5}{4}(T_p \omega)^4\right) \quad (9)$$

Dengan:

$$f_p = \text{frekuensi puncak gelombang}$$

$$T_p = T_s [1 - 0.312(\gamma + 0.2)^{-0.559}]$$

$$\vartheta = \frac{0.0624 [1.094 - 0.01915 \ln \gamma]}{0.30 + 0.336\gamma - 0.185(1.9 + \gamma)^{-1}}$$

$$\beta' = \exp\left(\frac{(T_p \omega - 1)^2}{2\sigma^2}\right)$$

$\gamma = \text{peak enhancement coefficient}$

$$\sigma \begin{cases} \sigma = 0.07 & \text{untuk } \omega \leq f_p \\ \sigma = 0.09 & \text{untuk } \omega > f_p \end{cases}$$

KONFIGURASI

Susunan FSHR terdiri dari komponen-komponen penting sebagai berikut.

1. Pipa Fleksibel (*Flexible Jumper*)

Pipa fleksibel berfungsi untuk mengalirkan fluida antara struktur *rigid riser* ke titik perletakan pada kapal/*platform*. Panjang pipa fleksibel ini berkisar antara 1,4-1,6 kali jarak antara kapal dan *riser base* dan dengan sudut datang pada kapal antara 10°-15°. (Tellier, Elizabeth. Tethi, Ricky. 2009).

2. Upper riser assembly

Susunan *riser* bagian atas berfungsi meneruskan gaya tarik akibat tangki pengapung (*buoyancy tank*).

3. Gooseneck

Gooseneck berfungsi menghubungkan pipa fleksibel dan *riser* baja.

4. Upper tapered stress atau flexible joint

Diletakkan di bagian bawah dari *upper assembly* atau tangki pengapung untuk memitigasi tegangan yang besar akibat beban *bending* oleh pipa fleksibel dan tangki pengapung.

5. Tangki Pengapung (*Buoyancy Tank*)

Tangki pengapung dipasang pada kedalaman 50 m – 200 m di bawah *mean water level* (MWL) untuk menghindari gaya gelombang dan arus di permukaan (Tellier, Elizabeth. Tethi, Ricky. 2009).

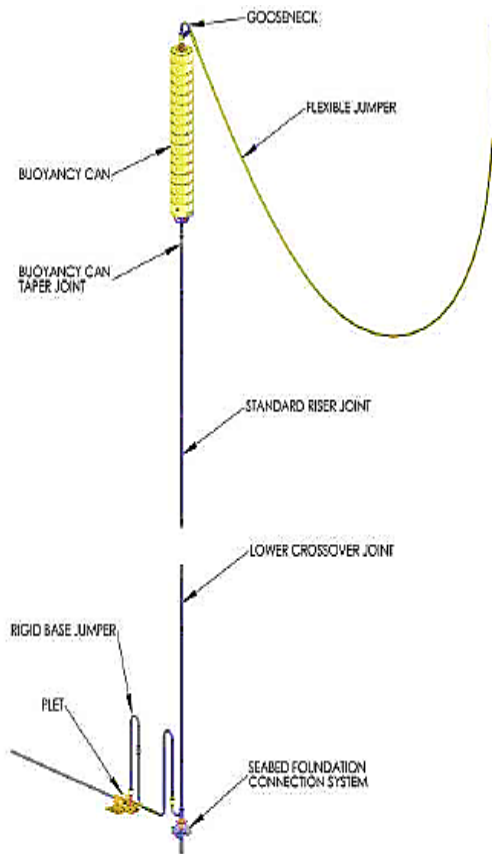
6. Lower Tapered Stress atau Flexible Joint

Bagian ini berfungsi untuk memitigasi tegangan tinggi akibat pergerakan kapal/*buoyancy tank* pada *base* dari *riser*.

7. Fondasi / Riser Base

Riser base biasanya dipasang sejauh 200-350 m dari kapal (McGrail, 2004). Fondasi dapat berupa *suction pile*, tiang pancang, atau *jettied conductor*.

Ilustrasi susunan FSHR dapat dilihat pada **Gambar 4**.



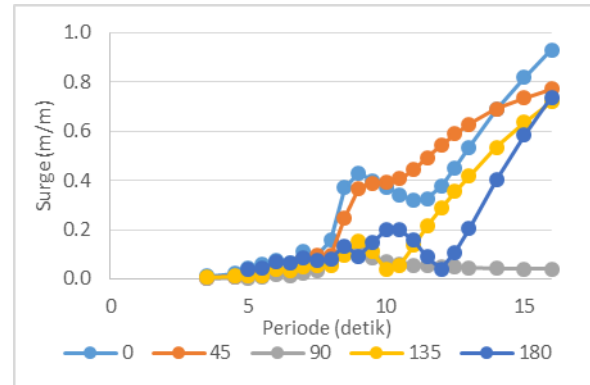
Gambar 2: Ilustrasi *free standing hybrid riser*.
(Sumber : Tellier, 2009)

Berdasarkan perhitungan dan syarat-syarat yang berlaku, konfigurasi akhir sistem yang digunakan adalah:

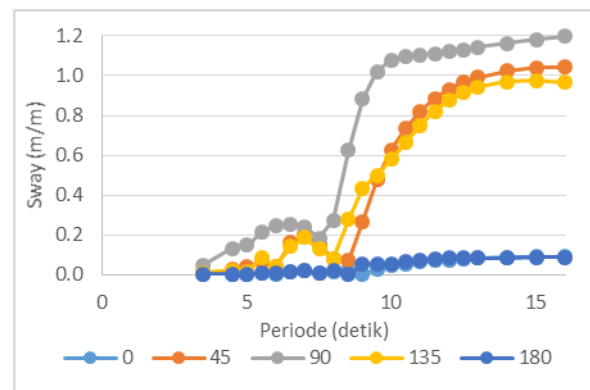
- Panjang **Flexible Jumper** = 360 m.
- Panjang **Rigid Riser** = 800 m
- Buoyancy tank** berukuran diameter 4,5 m dan tinggi 40 m diletakkan pada kedalaman -160 m hingga -200 m di bawah MSL. Konfigurasi *buoyancy tank* didapatkan dengan metode *trial & error* sampai pergerakannya tidak melewati kriteria desain.
- Digunakan **8 catenary mooring** dengan kombinasi *wire* dan *chain*. Konfigurasi *mooring* didapatkan dengan metode *trial &*

error sampai pergerakan kapal tidak melewati kriteria desain.

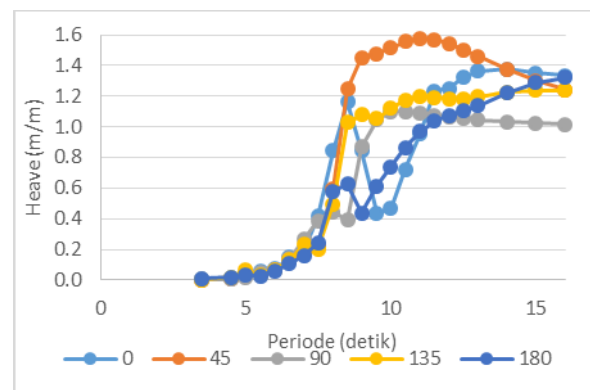
e. Data RAO kapal:



Gambar 3: RAO pergerakan kapal arah *surge*.

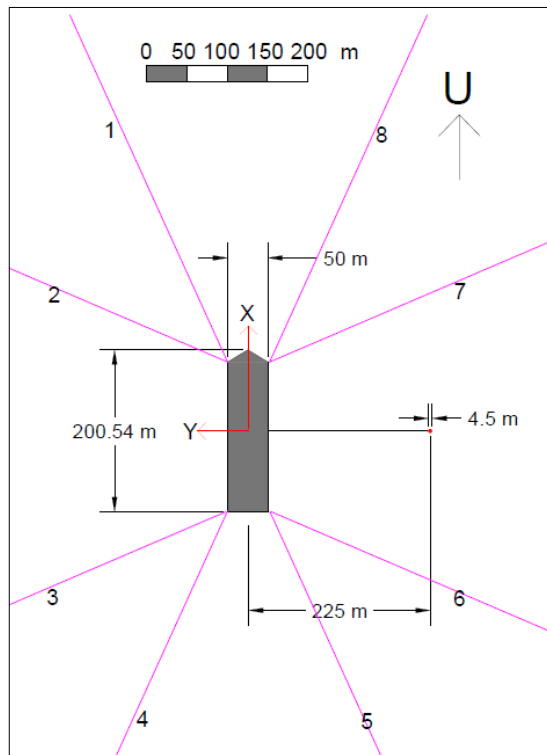


Gambar 4: RAO pergerakan kapal arah *sway*.

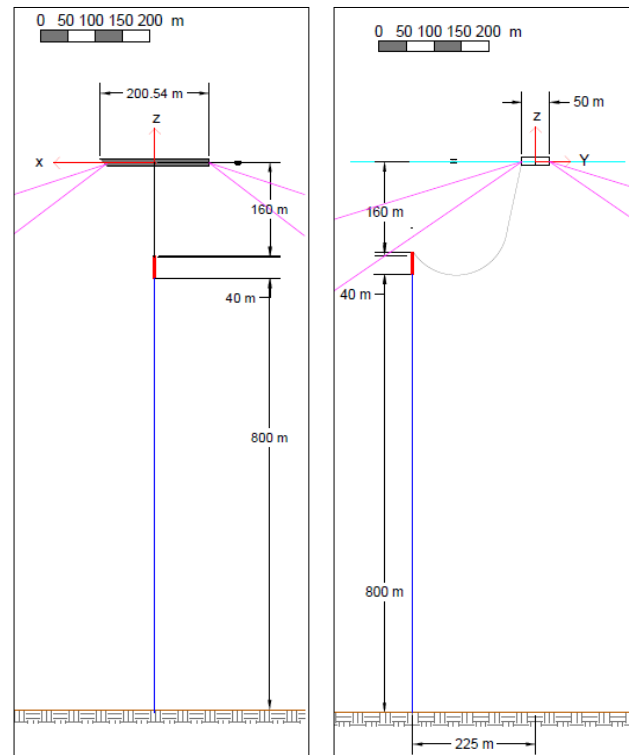


Gambar 5 : RAO pergerakan kapal arah *heave*.

Ilustrasi sistem FSHR dapat dilihat pada **Gambar 8** dan **Gambar 9**.



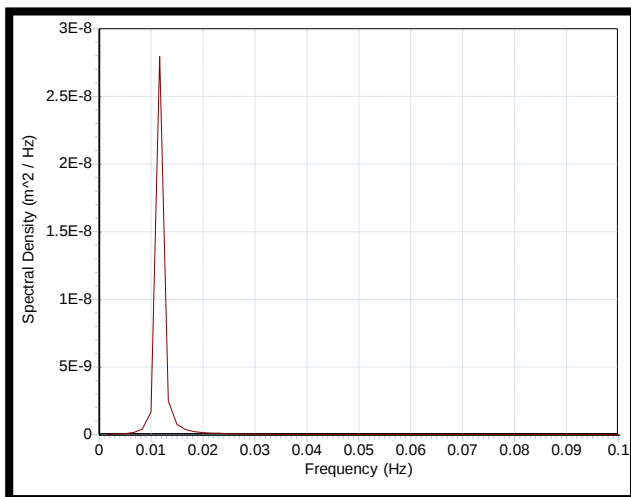
Gambar 6 : Konfigurasi FSHR (tampak atas).



Gambar 7 : Konfigurasi FSHR (tampak samping dan depan).

HASIL DAN ANALISIS

1. Frekuensi natural struktur



Gambar 8: Spektrum kerapatan frekuensi struktur.

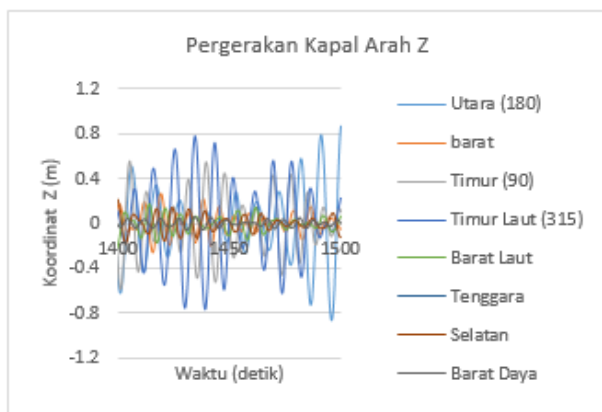
Frekuensi natural struktur didapatkan dengan cara menjalankan pemodelan menggunakan peranti lunak hidrodinamika kelautan dengan memberikan simpangan awal dan tanpa memasukkan gaya luar (arus & gelombang). Struktur akan beresilasi pada periode naturalnya sehingga dapat diperoleh frekuensi natural struktur tersebut. Berdasarkan prosedur tersebut, didapatkan frekuensi natural struktur sebesar 0.0125 untuk simpangan arah X dan 0,01125 Hz untuk simpangan arah Y.

2. Pergerakan Kapal

Pada awalnya kapal berada pada titik (0,0,0). Berdasarkan *time series*-nya (**Gambar 9**, **Gambar 10**, dan **Gambar 11**), pergerakan kapal terbesar pada sumbu X sebesar 4,2 m ke arah X- akibat gelombang dari arah utara. Pergerakan kapal terbesar pada sumbu Y sebesar 5,75 m ke arah Y- akibat gelombang dari arah barat. Pergerakan kapal terbesar pada sumbu Z akibat gelombang dari arah utara. Pergerakan kapal maksimum dirangkum dalam **Tabel 1**.

Tabel 1. Pergerakan Kapal Terbesar pada sumbu X, Y, dan Z.

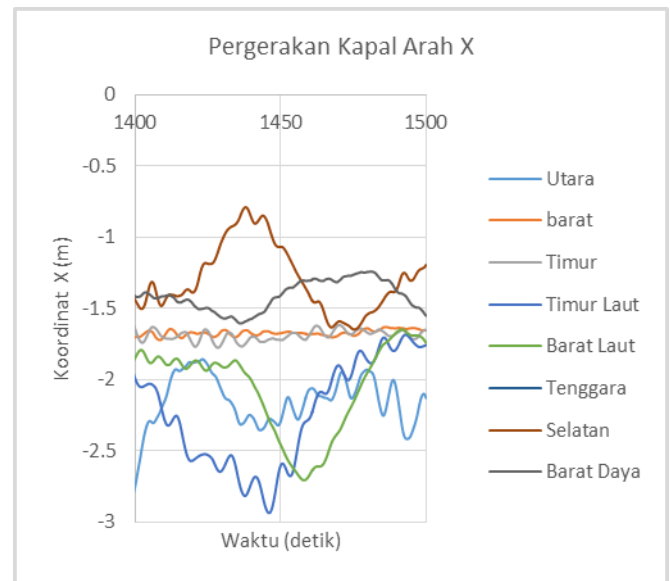
	X	Y	Z
Arah	utara	barat	utara
Min. (m)	-4.2	-5.75	-1.05
Waktu (detik)	855.93	712.26	527.25
Max. (m)	-1.34	-0.9	1.12
Waktu (detik)	502.89	426.72	522.96
Mean (m)	-2.35	-2.84	0
Std. Dev	0.48	0.82	0.32



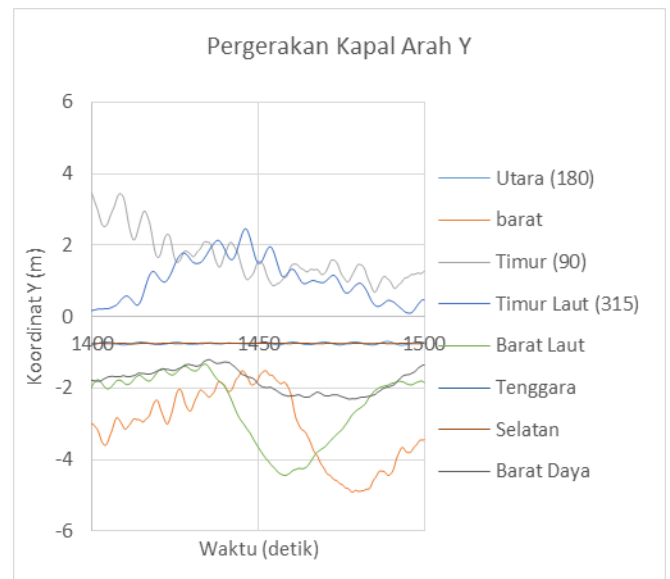
Gambar 9 : Pergerakan kapal arah Z dari berbagai arah.

3. Gaya Tarik efektif *mooring*

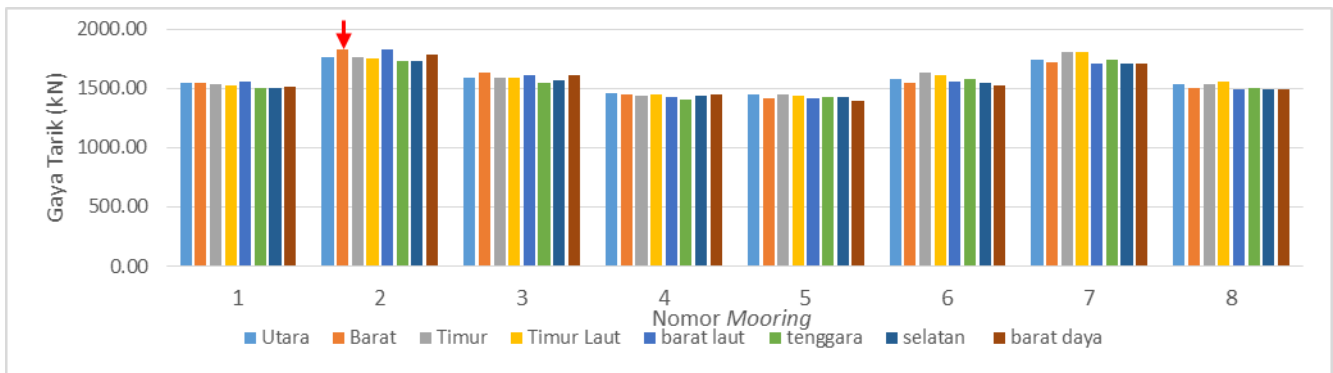
Gaya Tarik *mooring* terbesar dialami oleh *mooring* 2 akibat beban gelombang dari arah barat. Seluruh *mooring* tidak mengalami *compression*.



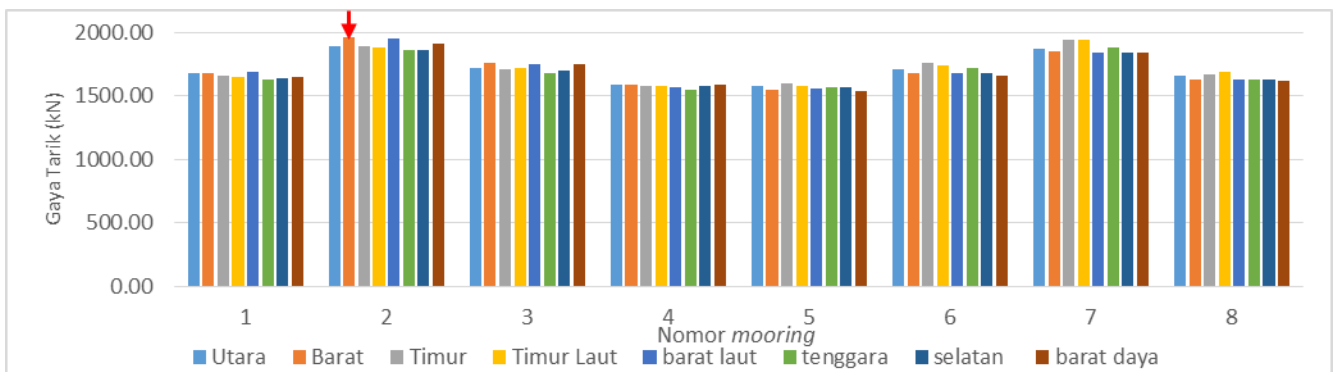
Gambar 10 : Pergerakan kapal arah X dari berbagai arah.



Gambar 11 : Pergerakan kapal arah Y dari berbagai arah.

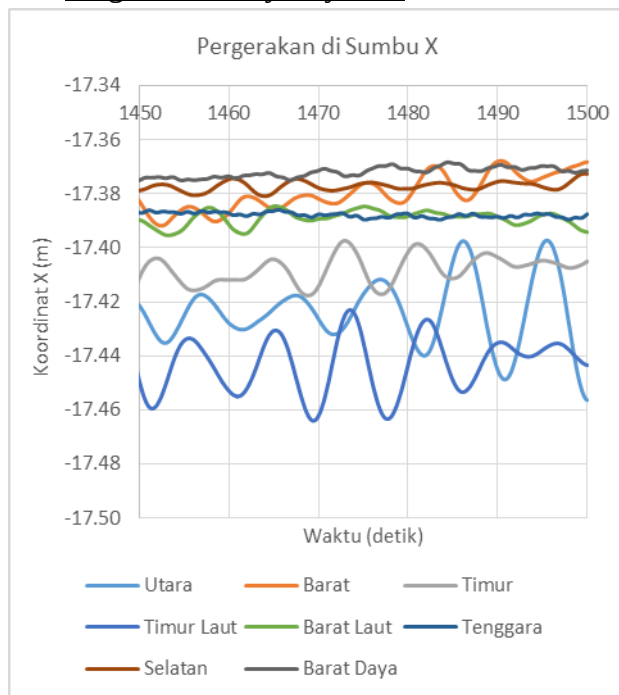


Gambar 12 : Chain Max. Effective Tension.

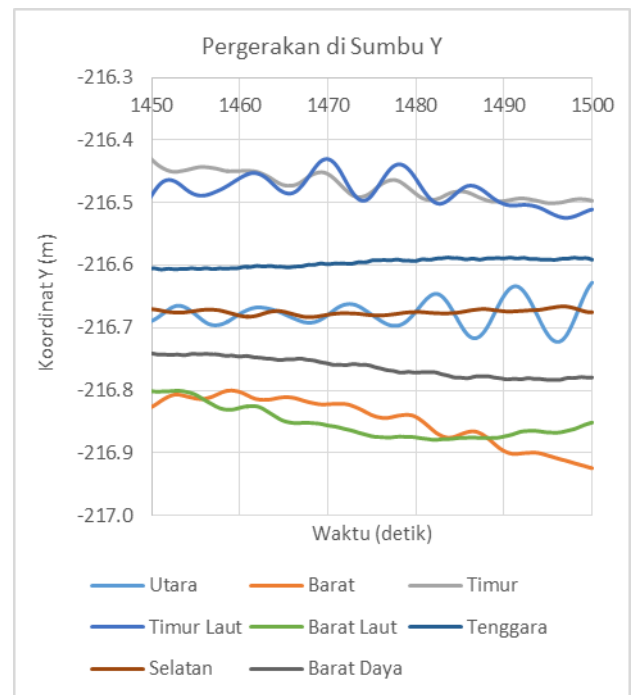


Gambar 13 : Wire max. effective tension.

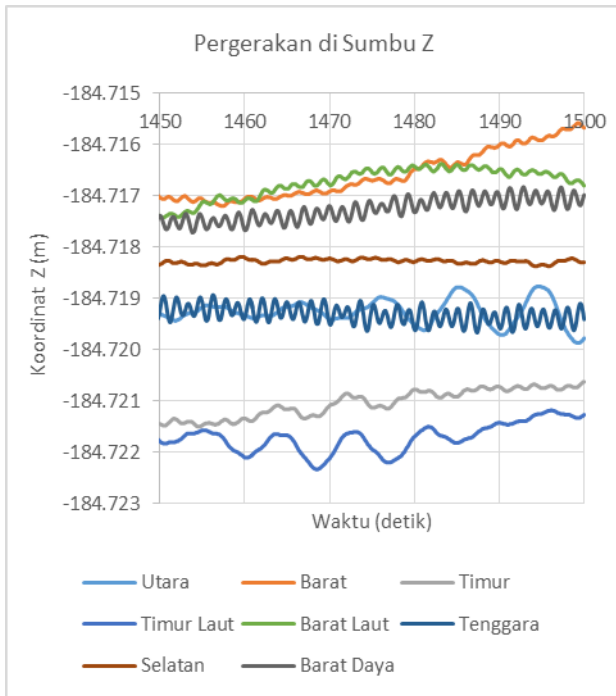
4. Pergerakan buoyancy tank



Gambar 14:Pergerakan *buoyancy tank* di sumbu x.



Gambar 15:Pergerakan *buoyancy tank* di sumbu y.

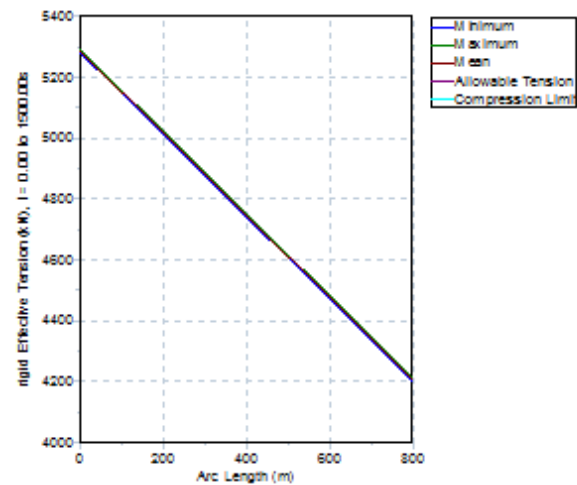


Gambar 16: Pergerakan *buoyancy tank* di sumbu z.

Pada awalnya CoG *buoyancy tank* berada pada titik (0,-225,-185). Berdasarkan **Gambar 14**, pergerakan kapal terbesar pada sumbu X sebesar 17,45 m ke arah X- atau selatan akibat arus dan gelombang dari arah utara. Berdasarkan **Gambar 15**, pergerakan kapal terbesar pada sumbu Y sebesar 8.62 m ke arah Y- atau selatan akibat gelombang dari arah utara. Berdasarkan **Gambar 16**, pergerakan kapal terbesar pada sumbu Z akibat gelombang dari arah utara. Resultan dari pergerakan tersebut adalah 19,46 m. Kriteria desain berdasarkan DNV-F-301 sebesar 2,5% kedalaman perairan, yaitu 20 m.

5. Rigid riser

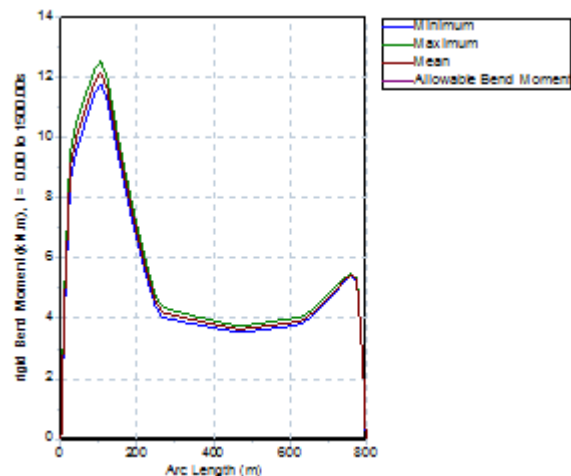
Effective tension terbesar terdapat pada bagian yang menempel pada *buoyancy tank*. Nilai *effective tension* terus turun hingga mencapai titik terendah pada bagian *anchor* (**Gambar 17**).



Gambar 17: Grafik *effective tension* pada sepanjang bentang *rigid riser*.

Tegangan von mises yang dialami *riser* tidak boleh melebihi 320.000 kN/m². Setelah dilakukan pengecekan, semua tegangan von mises di bawah kriteria desain sehingga *riser* dinilai aman

Bending moment terbesar terdapat pada *arclength* 104 m dari ujung teratas, atau pada kedalaman 304 m, yaitu sebesar 12,535 kN.m (**Gambar 18**).



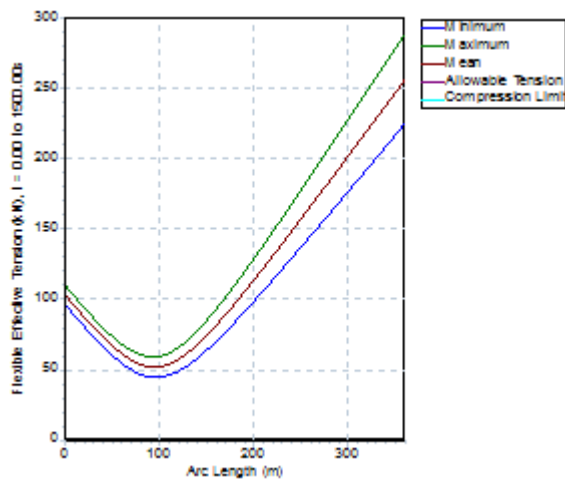
Gambar 18: Grafik *bending moment* pada sepanjang bentang *rigid riser*.

Pada ujung terbawah, *rigid riser* ditambatkan ke dasar laut sehingga tidak ada pergerakan sama

sekali. Pada ujung teratas, pergerakan *rigid riser* sesuai dengan pergerakan *buoyancy tank* yang menempel pada bagian atasnya. Pada bagian bawah, *rigid riser* membentuk sudut $1,39^\circ$ terhadap sumbu horisontal.

6. *Flexible riser*

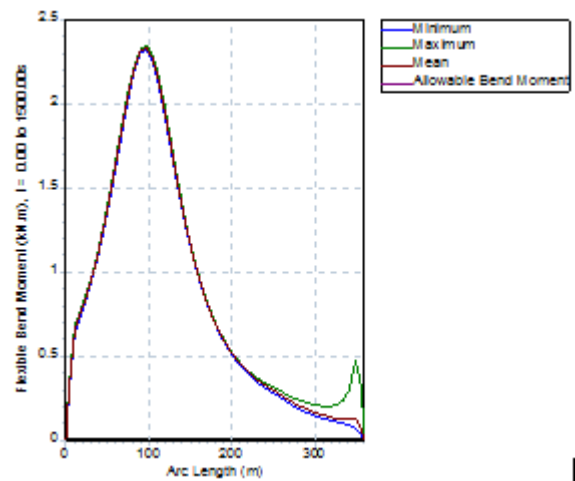
Effective tension terbesar terdapat pada bagian yang menempel pada kapal. Nilai *effective tension* terus turun hingga mencapai titik terendah pada panjang bentang terendah (270 m dari kapal, 90 m dari *buoy*) dan kemudian nilainya naik kembali. (**Gambar 19**).



Gambar 19: Grafik *effective tension* pada sepanjang bentang *flexible riser*.

Tegangan von mises yang dialami *riser* tidak boleh melebihi 137.350 kN/m^2 . Setelah dilakukan pengecekan, semua tegangan von mises di bawah kriteria desain sehingga *riser* dinilai aman.

Bending moment terbesar terdapat pada arclength 90 m dari ujung teratas, yaitu sebesar $2,35 \text{ kN.m}$ (**Gambar 20**).



Gambar 20: Grafik *bending moment* pada sepanjang bentang *flexible riser*.

Pada ujung yang menempel pada *buoy*, pergerakan *flexible riser* sesuai dengan pergerakan *buoy*. Pada ujung yang menempel pada kapal, pergerakan *flexible riser* sesuai dengan pergerakan kapal.

SIMPULAN

1. Pergerakan kapal masih berada di bawah kriteria desain yang diizinkan (10 m) sehingga dinilai aman.
2. Nilai gaya tarik maksimum *mooring* berada di bawah nilai *minimum breaking load* (MBL), namun pada *mooring* 2 dan 7 gaya tarik maksimumnya masih berada di atas kriteria desain (0,6 MBL).
3. Pergerakan *buoyancy tank* masih berada di bawah kriteria desain yang diizinkan (20 m).
4. Tegangan von mises yang dialami *Rigid steel tower* masih berada di bawah kriteria desain.
5. Tegangan von mises yang dialami *Flexible riser* masih berada di bawah kriteria desain (0,67 SMYS).

6. Konfigurasi akhir yang digunakan memenuhi kriteria desain.

SARAN

1. Pada tugas akhir ini, fokus pengamatan berada pada sistem FSHR dan pergerakan kapalnya saja. Sistem *mooring* yang digunakan hanya bentuk penyederhanaan dari sistem *mooring* yang sebenarnya digunakan di lapangan. Untuk pengerjaan tugas akhir selanjutnya, dapat dilakukan desain dan analisis sistem *mooring* yang sebaiknya digunakan sesuai dengan kondisi lingkungan dan kriteria desain yang berlaku.
2. RAO pergerakan kapal bisa didapatkan sendiri dengan menggunakan peranti lunak khusus hidrodinamika kelautan.
3. Jumlah *flexible jumper* dapat ditambahkan untuk diamati responnya.
4. Dapat dilakukan analisis *fatigue* pada sistem FSHR.

DAFTAR PUSTAKA

- Dean, Robert G. dan Robert A. Dalrymple. 1991. *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*. Singapura: World Scientific
- Giffary, Gilang. 2012. *Respon Dinamik Sistem Conventional Buoy Mooring*. Laporan tugas akhir tidak diterbitkan. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Lubis, Michael Binsar. 2013. *Analisis Struktur Penyangga Sistem Terapung untuk Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Arus Pasang Surut*. Laporan tugas akhir tidak diterbitkan. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Wicaksono, Muhammad Aldi. 2013. *Analisis Riser Interference Konfigurasi Steel Catenary Riser Akibat Pengaruh Gelombang Acak*. Laporan tugas akhir tidak diterbitkan. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Ciptadi, Sangga. 2006. *Respon Dinamis SPAR Buoy dan Fleksibel Riser Akibat Beban Gelombang Linear*. Laporan tugas akhir tidak diterbitkan. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Det Norske Veritas. 2010. *DNV RP F301 Position Mooring*. Norwegia: Det Norske Veritas.
- Det Norske Veritas. 2003. *DNV RP F302 Offshore Riser Systems*. Norwegia: Det Norske Veritas.
- Tellier, Elizabeth, etc., 2H Offshore Inc. 2009. OMAE2009-79487: “The Evolution of Freestanding Risers”. ASME 28th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering.
- McGrail, John dan Frank Limz, 2H Offshore Engineering Limited. *SLOR vs. SCR Deepwater Applications Technical Appraisal*. Woking, UK.
- Li, Henan. 2012. *Flexible Pipe Stress & Fatigue Analysis*. Trondeihm: Norwegian University of Science and Technology.
- American Petroleum Institute. 1998. *Design Of Risers For Floating Production Systems (FPSs) And Tension-Leg Platforms (TLPs)*. Washington DC.
- American Petroleum Institute. 1998. *Specification of Bonded Flexible Pipeline*. Washington DC.
- American Petroleum Institute. 2005. *Recommended Practice 2SK : Design and Analysis of Stationkeeping System for Floating Structure*. Washington DC.
- McCormick, Michael E. 2010. *Ocean Engineering Mechanis with Applications*. Cambridge: Cambridge University Press
- Orcina. *Manual Orcaflex Version 9.6a*. Daltongate: Orcina Ltd.
- 2H Offshore Projetos LTDA & Petrobras. 2004. *MODU Installed Free Standing Hybrid Risers*.
- A. Sworn, BP Exploration Operating Co. 2005. OTC 17397: “Hybrid Riser Tower from an Operator’s Perspective”. Offshore Technology Conference.)
- Haldar, Achintya dan Sankaran Mahadevan. 2000. *Probability, Reliability and Statistical Methods in Engineering Design*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Goda, Yoshimi. 2000. *Random seas and design of maritime structure*. Singapore: World Scientific Publishing Co. Ltd. Ptd.