

ANALISA PERBEDAAN KARAKTERISTIK GERAKAN PONTON PENGAPUNG TURBIN ANGIN LEPAS PANTAI PADA KONDISI TERAPUNG BEBAS DAN TERTAMBAT

Luh Putri Adnyani,^{1,*} Diana Delivia,² Indira Anggriani,³

¹ Teknik Kelautan, Institut Teknologi Kalimantan

² Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Kalimantan

³ Matematika, Institut Teknologi Kalimantan

*Corresponding author: luhputria@lecturer.itk.ac.id

Article history

Received:

01-10-2019

Accepted:

31-12-2019

Published:

31-12-2019

Copyright © 2019
Jurnal Teknologi dan
Riset Terapan

Open Access

Abstrak

Salah satu energi alternatif terbarukan untuk area pantai adalah Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dalam pengembangan ketenagalistrikan nasional, khususnya pada daerah yang memiliki potensi kecepatan angin di atas 4 meter per second (m/s). Inovasi teknologi untuk pondasi turbin terapung sangat diperlukan. Identifikasi turbin angin lepas pantai terapung masih memerlukan kajian-kajian spesifik dan mendalam, salah satunya terkait aspek tali tambat. Pada saat beroperasi, seringkali terjadi gerakan yang disebabkan oleh arus, gelombang, atau pun angin. Sistem tambat (*mooring*) diperlukan untuk menjaga ponton pondasi pembangkit listrik tenaga bayu lepas pantai supaya relatif tetap pada posisi yang dibutuhkan, namun, gaya yang terdapat pada *mooring system* perlu disesuaikan terhadap karakteristik ponton. Untuk itu, dilakukan penelitian dengan tujuan, mengetahui respon gerakan dari ponton pada saat kondisi terapung bebas dan pada saat tertambat. Dalam penelitian ini digunakan software simulasi MOSES dan Maxsurf. MOSES menjadi alat untuk menganalisis hidrostatis dari ponton dan Maxsurf merupakan software untuk menganalisis desain ponton. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini yaitu RAO heaving maksimum terjadi pada sudut gelombang 90° (beam seas) dengan nilai RAO sebesar 1.0934069 (m/m). RAO roll maksimum terjadi pada sudut gelombang 90° (beam seas) dengan nilai RAO sebesar 9.454861 (rad/rad). RAO pitch maksimum terjadi pada sudut gelombang 45° (quartering seas) dengan nilai RAO sebesar 0.9103925 (rad/rad).

Kata Kunci: *ponton, mooring, RAO, terapung bebas*

Abstract

One of the renewable alternative energy for the coastal area is the Wind Turbine Power Plant (PLTB) for developing national electricity, especially in areas that have potential wind speeds above 4 meters per second (m / s). Technological innovations for floating turbine foundations are needed. The identification of floating offshore wind turbines still requires specific and in-depth studies, particularly is related to mooring line aspects. During operation, motion is caused by currents, waves, or wind. A mooring system is needed to keep the pontoon of an offshore floating wind turbine to remain in the position. However, the force in the mooring system needs to be adjusted to the characteristics motion of the pontoon. For this reason, research is carried out with the aim, knowing the response of the motion from the pontoon during free-floating conditions and when it is moored. In this research, MOSES and Maxsurf simulation software are used. MOSES is a tool for analyzing hydrodynamic from pontoons and Maxsurf is a software for analyzing pontoon designs. The results obtained from this study are maximum in RAO heaving that occurs at 90° wave angles (beam seas) with RAO values of 1.0934069 (m/m). RAO roll occurs at a maximum wave angle of 90° (beam seas) with RAO value of 9.454861 (rad/rad). RAO maximum pitch occurs at a wave angle of 45° (quartering seas) with RAO value of 0.9103925 (rad/rad).

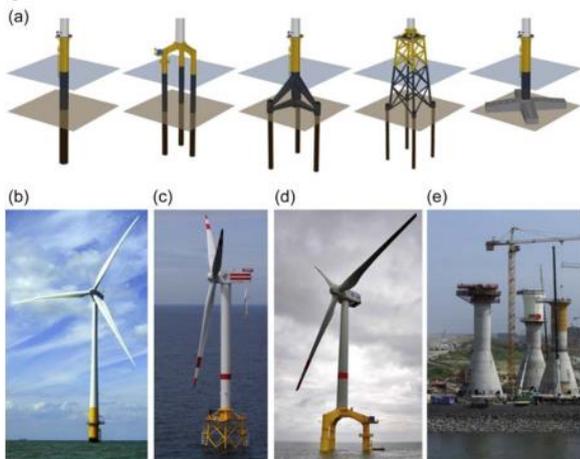
Keywords: *ponton, mooring, RAO, free floating*

1.0 PENDAHULUAN

Salah satu energi alternatif terbarukan untuk area pantai adalah Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Dengan potensi total mencapai 60,6 Giga Watt (GW), PLTB menjadi salah satu potensi besar dalam pengembangan ketenagalistrikan nasional, khususnya pada daerah yang memiliki potensi kecepatan angin di atas 4 meter per second (m/s). Sumber angin akan lebih besar lagi pada lokasi lepas pantai dengan kedalaman perairan yang lebih besar dari 50 m [1].

Turbin angin lepas pantai berbeda dengan turbin angin yang di daratan karena adanya variasi dasar laut dan pondasi, tambahan beban hidrodinamika, dan lingkungan dengan tingkat korosi yang ekstrim.

Beban hidrodinamis akan mendominasi beban penyebab kerusakan fatigue. Jika turbin angin mati pada kecepatan angin tinggi, kondisi laut yang buruk akan menyebabkan getaran pada struktur pendukung. Pada saat kondisi operasional ketika angin dan gelombang tidak sejajar, akan terjadi osilasi sisi ke sisi yang mengurangi redaman. Aspek lainnya yang perlu diperhatikan adalah scouring, marine growth dan tubrukan kapal. Scouring dapat mengurangi frekuensi alami sistem turbin angin lepas pantai. Marine growth akan menambah massa tambah dan beban dinamis pada bagian yang tercelup air. Tubrukan kapal akan dapat menyebabkan kerusakan pada struktur tiang dari turbin angin.



Gambar 1. Offshore wind turbine yang terpancang: a) dari kiri adalah turbin angin monopole, tripile, tripod, jacket dan gravity foundation. Contoh dari instalasi turbin lepas pantai yang terpancang pada dasar laut: b) monopole; c) jacket; d) tripile; e) gravity base foundation yang sedang di bangun di pinggir pantai [2]

Struktur bagian bawah terapung untuk turbin angin lepas pantai dapat menggunakan beberapa struktur pengeboran lepas pantai seperti semisubmersible (kestabilan yang didapatkan dari gaya apung dan gaya penahan mooring), spar (kestabilan didapatkan dari gaya berat nya), dan tension leg platform (TLP) (kestabilan didapatkan dari kelebihan gaya apung). Floating offshore wind turbine lebih menguntungkan secara ekonomis untuk laut dalam dibandingkan dengan struktur terpancang yang memiliki biaya material dan instalasi yang tinggi. Tower turbin angin yang dipasang diatas struktur terapung memiliki desain yang sama

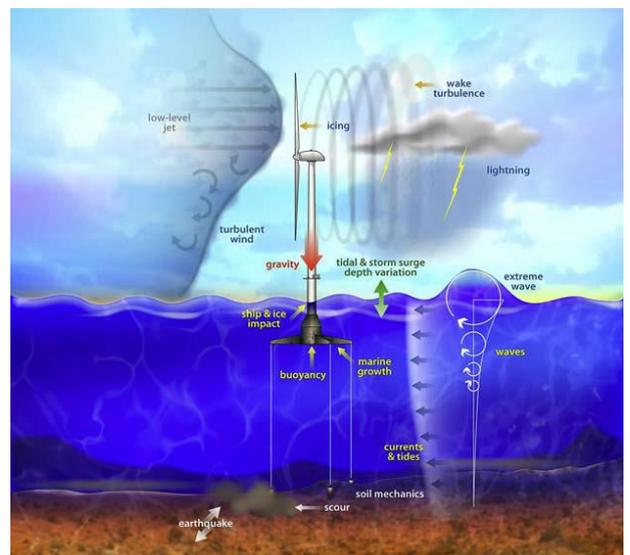
dengan turbin angin terpancang, tetapi eksitasi gelombang dan beban hidrodinamis nya menjadi sangat penting. Dengan turbin angin lepas pantai terapung, maka tidak perlu diperlukan struktur terpancang karena memerlukan biaya yang tinggi terutama untuk laut dalam.



Gambar 2. Turbin Angin Terapung dengan Struktur Bawah Berbentuk Spar dan Semi Submersible

Supaya struktur dapat mengapung, semua penjumlahan gaya-gaya vertikal harus sama dengan nol, dimana gaya apung harus mampu melwan total gaya berat dari sistem ditambah dengan gaya kearah bawah akibat adanya gaya mooring. Keadaan ini dapat tercapai dengan draft yang kecil (minimal tidak terjadi limpasan air), yang cukup untuk volume yang dipindahkan V. Ballast tank (dengan air laut) juga dibutuhkan untuk mengatasi draft yang kecil.

Suhu udara, curah hujan, kelembapan, tekanan adalah variable yang tidak bias dipisahkan dari pengukuran sumber angin. Gelombang laut, arus, suhu permukaan air dan parameter lainnya yang berhubungan dengan air juga merupakan factor yang mempengaruhi. Sebagai contoh, Gambar 3 menunjukkan banyak factor metocean yang mempengaruhi offshore wind turbine.



Gambar 3. Ilustrasi variasi factor metocean terhadap offshore wind turbine [2]

Negara dengan perairan dangkal (dibawah 50 m) yang sempit, membangun turbin angin terapung. Selat Makassar yang berada di lepas pantai Kalimantan dikategorikan sebagai laut dalam yang mencapai kedalaman 2500 meter.

Turbin angin terapung lepas pantai membutuhkan area laut yang cukup dalam diatas 100 meter, memiliki tipe aktivitas lain yang tidak banyak (seperti alur kapal dan area penangkapan ikan) dan memiliki logistik dan infrastruktur yang dapat menguntungkan kedua sistem [3]. Namun disini lain, inovasi teknologi untuk pondasi turbin terapung yang mampu menahan beban turbin angin dan mampu beroperasi di perairan Indoensia sangat diperlukan.

Berbagai macam pondasi turbin angin terapung lepas pantai belum dikembangkan dan dianalisa, salah satunya adalah berbentuk seperti ponton terapung dengan tali tambat. Konfigurasi sistem tambatnya bisa berupa jenis tambat menyebar (*spread mooring type*) atau sistem tambat titik tunggal (*single point mooring/SPM*). Gerakan (motion) yang terjadi pada ponton saat melakukan operasi disebabkan oleh beban lingkungan (arus, gelombang, dan angin). Untuk menjaga kestabilan posisi ponton saat beroperasi, maka dibutuhkan sistem tambat (*mooring system*) yang berguna sebagai pengikat ponton agar tetap pada posisinya. Motion dari ponton menyebabkan adanya gaya yang bekerja (*tension force, restoring force* dan *damping*) pada *mooring system*. Gaya-gaya yang terjadi pada *mooring system* sangatlah bergantung pada karakteristik motion ponton begitu pula sebaliknya.

Untuk ponton (serta bangunan terapung lainnya) yang utama adalah mobilitas dan kemampuannya mengantisipasi gerakan akibat gelombang dan arus laut [4]. Dengan menghitung beban-beban lingkungan secara komprehensif akan diketahui respon dinamis bangunan lepas pantai yang dalam penelitiannya menggunakan semi-submersible [5]. Hasil respon gerakan bangunan lepas pantai untuk 6 derajat kebebasan pada kondisi mengapung bebas dapat dibuatkan dalam grafik dimensionless parameter [6].

Tujuan penelitian ini adalah mencari tahu respon gerakan dari ponton pondasi turbin angin terapung lepas pantai pada kondisi terapung bebas dan yang terpasang spread mooring di Selat Makassar.

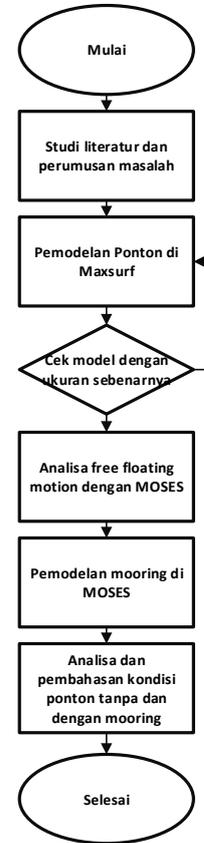
2.0 METODE

Secara sistematis langkah-langkah pengerjaan tugas akhir disajikan dalam bentuk diagram alir seperti Gambar 4.

Simulasi respon gerakan bangunan terapung/ponton pada kondisi free-floating dilakukan dengan menggunakan software MOSES untuk menghitung gaya-gaya hidrodinamika yang bekerja. Pemodelan mooring juga dilakukan dengan menggunakan software MOSES serta karakteristik gerakan pada kondisi mengapung bebas dan di mooring dikaji lebih mendalam.

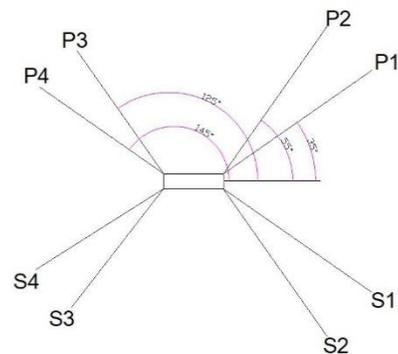
MOSES merupakan suatu integrasi program simulasi untuk menganalisa performansi struktur bangunan lepas pantai. Program "MOSES" dapat menghitung vessel

hydrostatics, ballasting dan stability maupun kinerja seakeeping struktur pada gelombang tidak teratur (random). Software MOSES dapat digunakan untuk mensimulasikan respon kapal pada kondisi ditambah dengan mooring lines dalam analisa frekuensi domain dan time domain. Dalam penelitian ini digunakan Analisa frekuensi domain.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

Pemodelan numerik model ponton yang ditambah pada mooring line dengan system spread mooring menggunakan chain, dengan setup menggunakan 8 konfigurasi mooring line yaitu 4 starboard (S1, S2, S3, S4) dan 4 portside (P1, P2, P3, P4) dengan ukuran sesuai dengan data.



Gambar 5. Sketsa mooring Pada Ponton

Pembahasan pada penelitian ini memuat tentang karakteristik gerakan ponton pada kondisi air tenang dan pada kondisi ditambah dengan sistem spread mooring.

Analisa yang dilakukan adalah gerakan hidrodinamis ponton dalam 6 derajat kebebasan, pada variasi sudut mulai dari 0° sampai 180° dengan kenaikan 45° . Spesifikasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

Data Mooring

- Type : Spread Mooring
- Diameter : 101.6 mm (4 inch)
- Jumlah : 8 buah
- Panjang :
 - FWD : 600 m
 - AFT : 500 m
 - Grade : Offshore Mooring Chain RQ3
 - Breaking Load : 1857309 lbf

Data Ponton

- LOA : 657' (200.254m)
- B mould : 164' (49.987m)
- Depth : 51' (15.544m)
- Draught : 29.53' (9.0m)
- Block Coefficient : 0.987

Data Lingkungan

- Kedalaman Laut : 55 m
- Gelombang 100 years :
 - Tinggi gelombang, H_s : 8.2 ft
 - Peak Period, T_p : 7.1 (sec)²
 - Tipe gelombang : JONSWAP

Data sekunder yang dibutuhkan untuk dapat menyelesaikan penelitian ini adalah data ponton yang diambil dari data FPSO Hushky Oil (Madura). Hasil dari pengumpulan data ini bisa dipakai sebagai bahan untuk membuat pemodelan.

3.0 HASIL DAN PEMBAHASAN

RAO (*Response Amplitude Operator*) adalah statistik rekayasa, yang digunakan untuk menentukan perilaku kemungkinan bangunan apung ketika beroperasi di laut. RAO memberikan informasi tentang karakteristik olah gerak. Informasi ini pada umumnya disajikan dalam bentuk grafik, dimana absisnya adalah berupa parameter frekuensi, sedangkan ordinatnya adalah merupakan rasio antara amplitudo gerakan pada mode tertentu, ζ_{k0} , dengan amplitudo gelombang, ζ_0 , yang dikenal sebagai response amplitude operator (RAO) [4].

RAO dapat juga didefinisikan sebagai hubungan antara amplitudo respon terhadap amplitudo gelombang. Dapat dinyatakan dengan bentuk matematis ($\zeta_{respon} / \zeta_{gelombang}$). Amplitudo respon bisa berupa gerakan, tegangan, maupun getaran. RAO juga disebut sebagai transfer function karena RAO merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur

Respon gerakan RAO untuk gerakan translasi, *Surge*, *Sway*, *Heave*, merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakannya dibanding dengan amplitudo gelombang insiden.

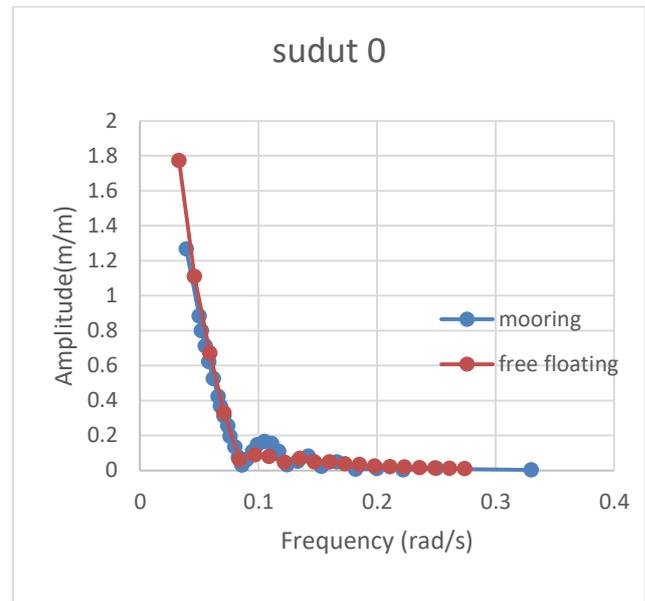
Sedangkan respon non dimensi atau RAO untuk gerakan rotasi, *Roll*, *Pitch*, *Yaw* adalah merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi dengan

kemiringan gelombang, yakni merupakan perkalian antara angka gelombang (kw), $kw = w/g$ dengan gelombang amplitudo insiden (g).

Karakteristik Gerakan sebuah bangunan apung dapat dilihat dari nilai dan grafik RAO.

3.1. Perbandingan Gerakan *Surge* Pada Kondisi terapung bebas dan Di-Spread Mooring

Surge adalah pergerakan translasional searah sumbu x pada kapal, yaitu gerakan lurus ke depan dan belakang dengan seimbang. Berdasarkan hasil perhitungan RAO menggunakan software MOSES didapatkan perbandingan Gerakan *surge* pada kondisi terapung bebas dan ditambat dengan mooring seperti pada Gambar 6.



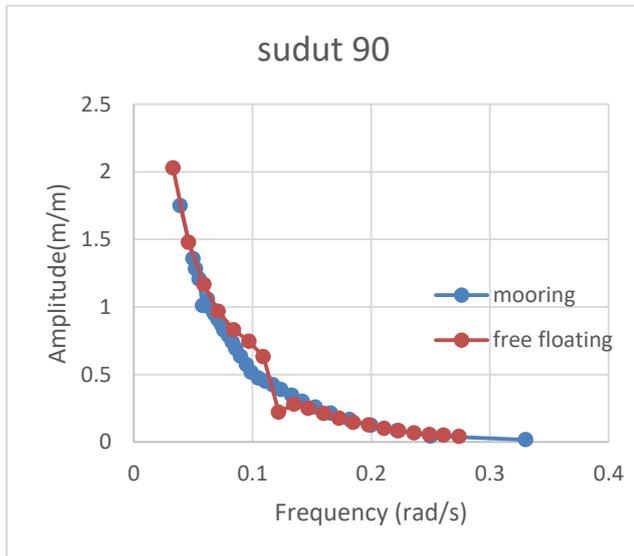
Gambar 6. Grafik Perbandingan RAO *surge* terapung bebas dan terpasang mooring

Analisa dilakukan pada 3 sudut datang gelombang yaitu 0° sampai 180° dengan kenaikan 45° . Dari hasil Analisa, sudut gelombang yang paling dominan menyebabkan adanya gerakan *surge* adalah sudut 0° . Untuk selanjutnya dilakukan *Mooring* yang dipasang pada ponton dapat mengurangi gerakan daripada ponton. Nilai RAO tertinggi untuk gerakan *surge* ponton pada saat terapung bebas mengalami penurunan dari 1.771(m/m) menjadi 1.267 (m/m) yaitu mengalami penurunan sebesar 28%.

3.2. Perbandingan Gerakan *Sway* Pada Kondisi terapung bebas dan Di-Spread Mooring

Sway adalah pergerakan translasional searah sumbu y pada kapal, yaitu gerakan pergeseran kapal dari kiri ke kanan. Berdasarkan hasil perhitungan RAO menggunakan software MOSES didapatkan perbandingan Gerakan *sway* pada kondisi terapung bebas dan ditambat dengan mooring seperti pada Gambar 7.

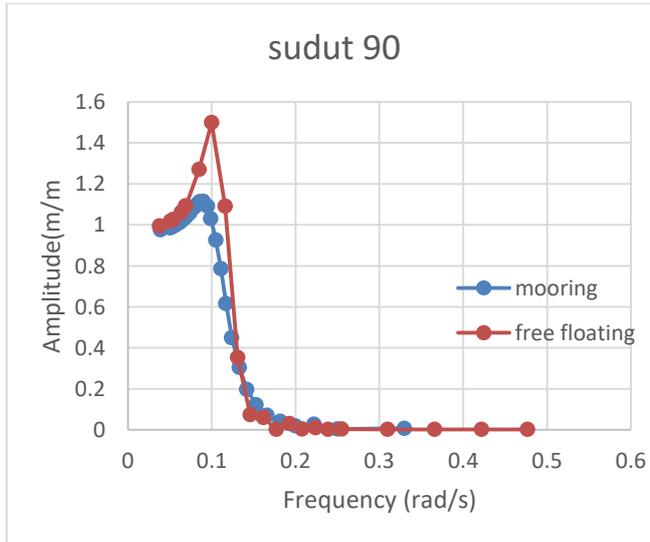
Sudut gelombang yang paling dominan menyebabkan adanya gerakan *sway* adalah sudut 90^0 . *Mooring* yang dipasang pada ponton dapat mengurangi gerakan daripada ponton. Nilai RAO tertinggi untuk gerakan *sway* ponton pada saat terapung bebas mengalami penurunan dari 2.029 (m/m) menjadi 1.751 (m/m) yaitu mengalami penurunan sebesar 13.7%.



Gambar 7. Grafik Perbandingan RAO *sway* pada keadaan terapung bebas dan terpasang *mooring*

3.3. Perbandingan Gerakan *Heave* Pada Kondisi terapung bebas dan Di-Spread Mooring

Heave adalah pergerakan translasional searah sumbu z pada kapal, yaitu gerakan lurus atau menekan ke atas dan ke bawah. Berdasarkan hasil perhitungan RAO menggunakan software MOSES didapatkan perbandingan Gerakan *heave* pada kondisi terapung bebas dan ditambah dengan *mooring* seperti pada Gambar 8.

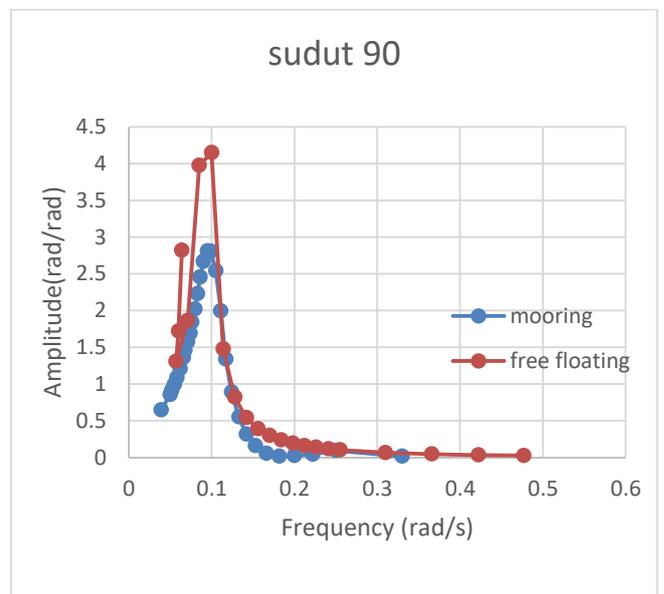


Gambar 8. Grafik Perbandingan RAO *heave* terapung bebas dan terpasang *mooring*

Sudut gelombang yang paling dominan menyebabkan adanya gerakan *heave* adalah sudut 90^0 . *Mooring* yang dipasang pada ponton dapat mengurangi gerakan daripada ponton. Nilai RAO tertinggi untuk gerakan *heave* ponton pada saat terapung bebas mengalami penurunan dari 1.449 (m/m) menjadi 1.115 (m/m) yaitu mengalami penurunan sebesar 23.05%.

3.4. Perbandingan Gerakan *Roll* Pada Kondisi terapung bebas dan Di-Spread Mooring

Roll adalah pergerakan rotasi di sumbu x pada kapal, yaitu gerakan perputaran ke kiri dan ke kanan. Berdasarkan hasil perhitungan RAO menggunakan software MOSES didapatkan perbandingan Gerakan *roll* pada kondisi terapung bebas dan ditambah dengan *mooring* seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Perbandingan RAO *roll* terapung bebas dan terpasang *mooring*

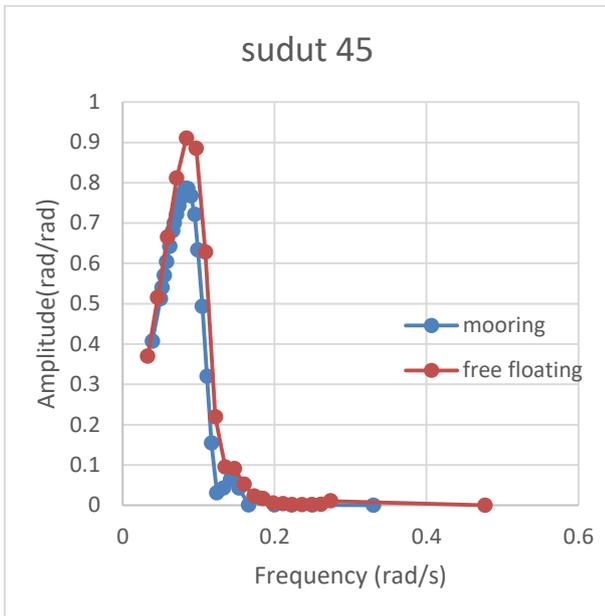
Sudut gelombang yang paling dominan menyebabkan adanya gerakan *roll* adalah sudut 90^0 . *Mooring* yang dipasang pada ponton dapat mengurangi gerakan daripada ponton. Nilai RAO tertinggi untuk gerakan *roll* ponton pada saat terapung bebas mengalami penurunan dari 4.147 (rad/rad) menjadi 2.812 (rad/rad) yaitu mengalami penurunan sebesar 32.19%.

3.5. Perbandingan Gerakan *Pitch* Pada Kondisi terapung bebas dan Di-Spread Mooring

Pitch adalah pergerakan rotasi di sumbu y pada kapal, yaitu gerakan lengkungan kapal yang diakibatkan tekanan kebawah. Berdasarkan hasil perhitungan RAO menggunakan software MOSES didapatkan perbandingan Gerakan *pitch* pada kondisi terapung bebas dan ditambah dengan *mooring* seperti pada Gambar 10.

Sudut gelombang yang paling dominan menyebabkan adanya gerakan *pitch* adalah sudut 45^0 .

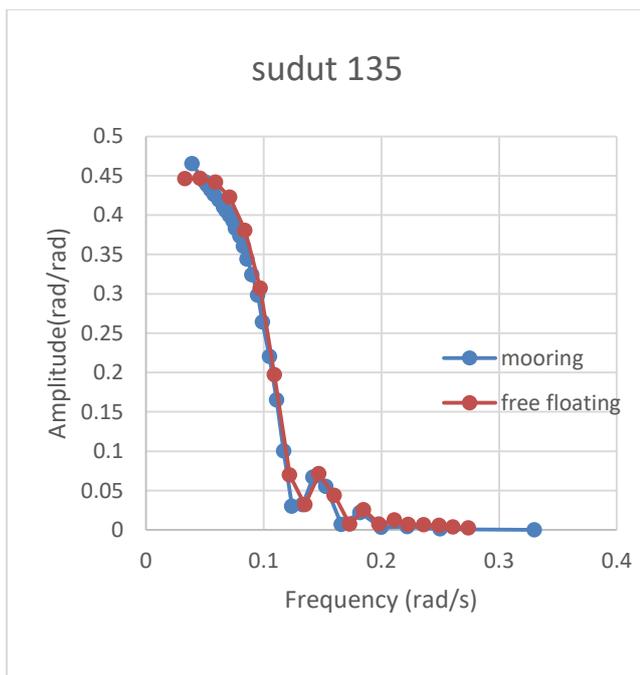
Mooring yang dipasang pada ponton dapat mengurangi gerakan daripada ponton. Nilai RAO tertinggi untuk gerakan *pitch* ponton pada saat terapung bebas mengalami penurunan dari 0.9103925 (rad/rad) menjadi 0.785 (rad/rad) yaitu mengalami penurunan sebesar 13.77 %.



Gambar 10. Grafik Perbandingan RAO *pitch* terapung bebas dan terpasang *mooring*

3.6. Perbandingan Gerakan *Yaw* Pada Kondisi terapung bebas dan Di-Spread Mooring

Yaw adalah pergerakan rotasi di sumbu z pada kapal, yaitu gerakan memutar sisi bagian kapal seperti sedang dikemudi. Berdasarkan hasil perhitungan RAO menggunakan software MOSES didapatkan perbandingan Gerakan *yaw* pada kondisi terapung bebas dan ditambat dengan *mooring* seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Perbandingan RAO *yaw* terapung bebas dan terpasang *mooring*

Sudut gelombang yang paling dominan menyebabkan adanya gerakan *yaw* adalah sudut 45⁰ dan 135⁰. *Mooring* yang dipasang pada ponton dapat mengurangi gerakan daripada ponton. Sudut 45⁰ Nilai RAO tertinggi pada gerakan *yaw* ponton pada saat terapung bebas mengalami penurunan dari 0.465 (rad/rad) menjadi 0.44657 (rad/rad) yaitu mengalami penurunan sebesar 3.96%.

4.0 KESIMPULAN

Dari uraian di atas dapat disarikan kesimpulan berikut ini: 1) RAO *heaving* maksimum terjadi pada sudut gelombang 90⁰ (*beam seas*) dengan nilai RAO sebesar 1.0934069 (m/m). RAO *Roll* maksimum terjadi pada sudut gelombang 90⁰ (*beam seas*) dengan nilai RAO sebesar 9.454861 (rad/rad). RAO *Pitch* maksimum terjadi pada sudut gelombang 45⁰ (*quartering seas*) dengan nilai RAO sebesar 0.9103925 (rad/rad) dan 2) Dari analisa grafik RAO ponton dengan dan tanpa *mooring system* diketahui bahwa secara umum karakteristik gerakannya tidak terlalu berbeda. Tetapi nilai RAO *motion* ponton dengan *mooring system* relatif lebih kecil daripada nilai RAO *motion* ponton tanpa *mooring system*. Gerakan *heave* mengalami penurunan nilai RAO sebesar 23.05%, gerakan *pitch* mengalami penurunan nilai RAO sebesar 13.77%, dan untuk gerakan *roll* mengalami penurunan nilai RAO sebesar 32.19%.

UCAPAN TERIMA KASIH (JIKA ADA)

Terimakasih kepada Kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi Indonesia dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Institut Teknologi Kalimantan atas hibah Penelitian Dosen Pemula dengan No Kontrak 820/IT10.III/PPM.01/2019 tahun anggaran 2019.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Collu, A. J. Kolios, A. J. Kolios, A. Chahardehi, F. Brennan and F. Brennan, "A comparison between the preliminary design study between a fixed and a floating support structure for a 5 MW offshore wind turbine, in North Sea," in *International Conference Marine Renewable and Offshore Wind Energy*, London, April 2010.
- [2] C. N. a. L. Ran, *Offshore Wind Farms Technologies, Design and Operation*, Duxford: Woodhead Publishing (Elsevier), 2016.
- [3] G. Benassai, P. Mariani, C. Stenberg and M. Christoffersen, "A Sustainability Index of potential co-location of offshore wind farms and open water aquaculture," *Ocean & Coastal Management*, pp. 213-218, 2014.
- [4] E. B. Djatmiko, *Seakeeping: Perilaku*

Bangunan Apung di atas Gelombang,
Surabaya: ITS Press: Jurusan Teknik Kelautan
ITS, 2003.

- [5] O. Y. a. A. Incecik, "Extreme Motion Response Analysis of Moored Semi-Submersibles," *Ocean engineering*, vol. 23, no. 6, pp. 497-517, 1996.
- [6] L. P. Adnyani, "Analisa Kekuatan Ultimate Hull Girder FPSO dengan Pendekatan Metode Lemen Hingga Nonlinear," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya, 2014.