

ANALISIS PEMANFAATAN BREAKWATER TERAPUNG DUA SEGMENT PADA PANTAI SINORANG, SULAWESI TENGAH

Kevin Maruli Kantate¹ dan Krisnaldi Idris²

Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan,
Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganeca No.10, Bandung 40132

email: ¹kevinmanurung@live.com dan ²krisnaldi@ocean.itb.ac.id

Kata kunci: Struktur terapung, *Breakwater*, *Mooring*, Respon, Transformasi Gelombang

ABSTRAK

Breakwater atau yang dikenal sebagai pemecah gelombang adalah prasarana yang dibangun untuk melindungi area pantai dari gelombang laut. Pelabuhan-pelabuhan di Indonesia memiliki kedalaman pantai yang beragam. Penggunaan *breakwater* konvensional hanya cocok digunakan untuk pantai yang berkedalaman dangkal sedangkan untuk perairan dengan kedalaman yang cukup besar penggunaan *breakwater* konvensional dinilai tidak efisien karena memerlukan biaya yang cukup mahal, maka dari itu diperlukan jenis *breakwater* khusus seperti *breakwater* terapung. *Breakwater* terapung sendiri cocok digunakan pada kondisi laut yang memiliki gelombang dengan periode kecil. Penerapan *breakwater* terapung perlu dianalisis terlebih dahulu stabilitasnya karena *breakwater* terapung akan dibebani oleh beban lingkungan.

Dalam Tugas Akhir ini, dilakukan studi mengenai transformasi gelombang, respon dinamik dan sistem mooring pada *breakwater* terapung yang digunakan untuk melindungi pelabuhan kondensat yang di daerah Pantai Sinorang, Sulawesi Tengah. Analisis dilakukan untuk dua segmen *breakwater* terapung yang disambungkan dengan menggunakan tali mooring. Analisis dilakukan untuk mengetahui tinggi gelombang setelah mengenai *breakwater* terapung, nilai gaya tarik efektif pada tali mooring yang terpasang pada *breakwater* terapung dan mengetahui besar perpindahan *breakwater* terapung. Nilai dari gaya tarik efektif dan perpindahan struktur dibandingkan dengan kriteria desain yang mengacu pada kode API RP 2SK. Dari hasil pemodelan yang telah dilakukan didapatkan tinggi gelombang transformasi, perpindahan struktur dan nilai tegangan efektif tali mooring sudah memenuhi kriteria desain.

PENDAHULUAN

Pembangunan pelabuhan di Indonesia terus meningkat dan terjadinya pengembangan serta perbaikan pelabuhan demi terciptanya transportasi laut yang mendukung pertumbuhan dan kesejahteraan masyarakat. Salah satu prasarana yang sangat penting untuk mendukung keberaktivitasan suatu

pelabuhan adalah breakwater. Breakwater atau yang dikenal sebagai pemecah gelombang adalah prasarana yang dibangun untuk melindungi area pantai dari gelombang laut.

Pelabuhan-pelabuhan di Indonesia memiliki kedalaman pantai yang beragam. Penggunaan breakwater konvensional hanya cocok digunakan untuk pantai yang berkedalaman dangkal sedangkan untuk perairan dengan kedalaman yang cukup besar penggunaan breakwater konvensional dinilai tidak efisien karena memerlukan biaya yang cukup besar, maka dari itu diperlukan jenis breakwater khusus seperti breakwater terapung.

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian Tugas Akhir ini adalah untuk:

1. Mengetahui kestabilan breakwater terapung
2. Menganalisis efektivitas breakwater terapung dalam meredam gelombang
3. Menganalisis respon gerak breakwater terapung akibat gaya lingkungan
4. Menganalisis sistem mooring yang ditambahkan pada breakwater terapung (ke dasar laut dan antar segmen breakwater terapung)
5. Menganalisis pergerakan setiap segmen breakwater terapung setelah dipasang sistem mooring

TEORI DAN METODOLOGI

Struktur terapung yang terpengaruhi dengan gelombang, akan memiliki respon gerak. Respon tersebut dapat dianalisis dengan analisis hidrodinamika. Faltinsen, 1990 menyatakan bahwa respon struktur terdiri dari resultan beberapa gaya yang bekerja pada struktur. Terdapat gaya apung dan gaya luar (gaya eksitasi dan gaya radiasi). Sehingga persamaan gerak struktur dapat ditulis dalam persamaan berikut:

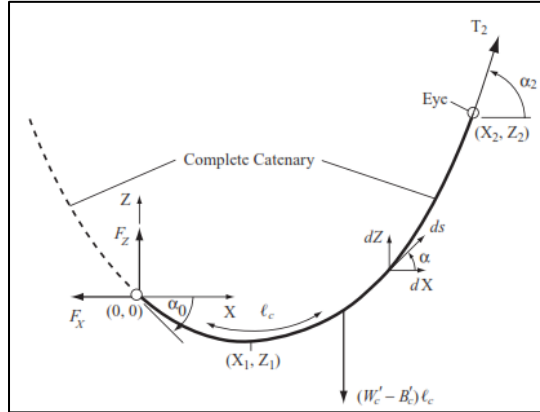
$$F_{Wj} + F_{Rj} + F_{Hsj} = M \cdot \ddot{X} \quad (1)$$

$$\int \rho \frac{\partial \Phi_I}{\partial t} X_j ds + \int \rho \frac{\partial \Phi_D}{\partial t} X_j ds + \int \rho \frac{\partial \Phi_R}{\partial t} X_j ds - CX = M \ddot{X} \quad (2)$$

Dengan menjabarkan gaya radiasi yang terdiri dari koefisien massa tambah (*added mass*) dan koefisien redaman (*damping*), maka persamaan gerak struktur terapung dapat ditulis menjadi:

$$\sum_{k=1}^{\theta} \{ (M_{jk} + A_{jk}) \ddot{X} + B_{jk} \dot{X}_k + C_{jk} X_k \} = F_j e^{i\omega t} \quad (3)$$

Sistem mooring yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah *slack mooring/catenary mooring*. Dikarenakan mengandalkan berat terendam mooring, sehingga mooring berbentuk garis melengkung (catenary). Ilustrasi gaya tarik yang terjadi pada garis mooring dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar 1 Ilustrasi gaya tarik pada tali mooring pada sistem slack mooring (McCormick, 2010)

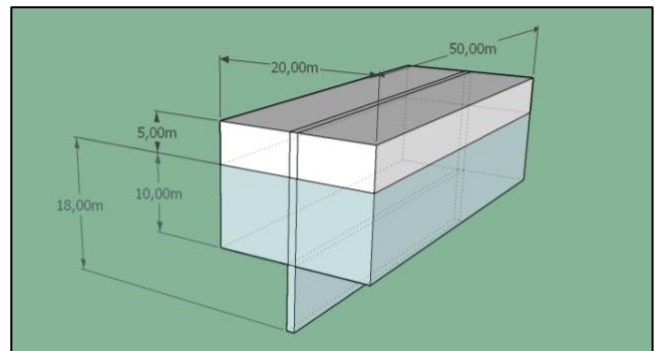
Untuk menghitung gaya tarik pada *mooring*, perlu dilakukan perhitungan panjang minimum mooring yang dibutuhkan berdasarkan besarnya gaya tarik horizontal (T_h) dan berat per satuan panjang dari *mooring*. Setelah mengetahui panjang minimum yang dihasilkan, panjang horizontal (x) dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$x = \frac{T_h}{\omega} \sinh^{-1} \left(\frac{\omega \cdot l_{min}}{T_h} \right). \quad (4)$$

Setelah mengetahui panjang horizontal (x), gaya tarik efektif untuk setiap x dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$T = T_h \cosh \left(\frac{x}{a} \right) \quad (5)$$

Pada Tugas Akhir ini dimensi dari *breakwater* terapung ditentukan dengan menggunakan grafik hubungan periode gelombang signifikan dengan koefisien transmisi, lebar, draft dan draft screen *breakwater* terapung (Foustert, 2007). Lalu ditentukan tinggi freeboard dari *breakwater* terapung dengan menggunakan rumus run-up sehingga didapat dimensi dari *breakwater* terapung dapat diilustrasikan pada gambar berikut:



Gambar 2 Dimensi dari Breakwater Terapung

Berikut merupakan data lingkungan yang digunakan dalam penelitian:

Tabel 1 Data Gelombang Pantai Sinorang (Pranata, 2015)

Periode Ulang (tahun)	Hs(m)	Ts (detik)
2	2,110	6,250
5	2,815	7,157
10	3,346	7,762
25	4,094	8,534
50	4,709	9,115
100	5,378	9,701

Mooring yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis Chain QRQ Studlink. Untuk setiap satu segmen breakwater akan terdapat 10 tali mooring, yaitu 6 tali *mooring* ditambatkan ke tanah dan 4 lagi digunakan untuk menyambungkan satu segmen breakwater ke segmen lainnya. Berikut merupakan karakteristik *mooring* tersebut:

Tabel 2 Data *mooring*

Chain ORQ Studlink	
Diameter (mm)	50
Mass in air per unit length (kg/m)	54,750
Mass in water per unit length (kg/m)	47,594
Friction	1
Breaking Load (kN)	2530

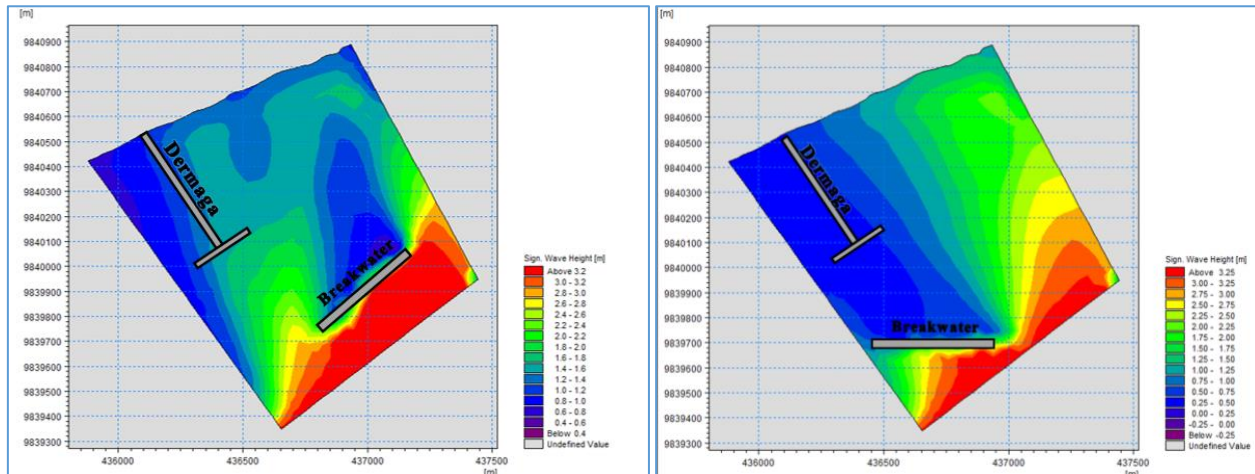
Analisis akan dilakukan pada perairan dengan kedalaman 70 m dengan analisis static dan dinamik pada kondisi intact dan damage menggunakan gelombang reguler dan acak. Berikut merupakan kriteria desain yang digunakan dalam tugas akhir ini:

Tabel 3 Kriteria Desain

Kriteria	Safety Factor	Nilai yang diizinkan	Keterangan
Maksimum breaking load Chain QRQ studlink 50mm	1,67	1515 kN	Mengacu pada API RP 2 SK
Perpindahan Maksimum <i>Breakwater</i>	10% dari kedalaman	7 meter	Mengacu pada API RP 2 SK

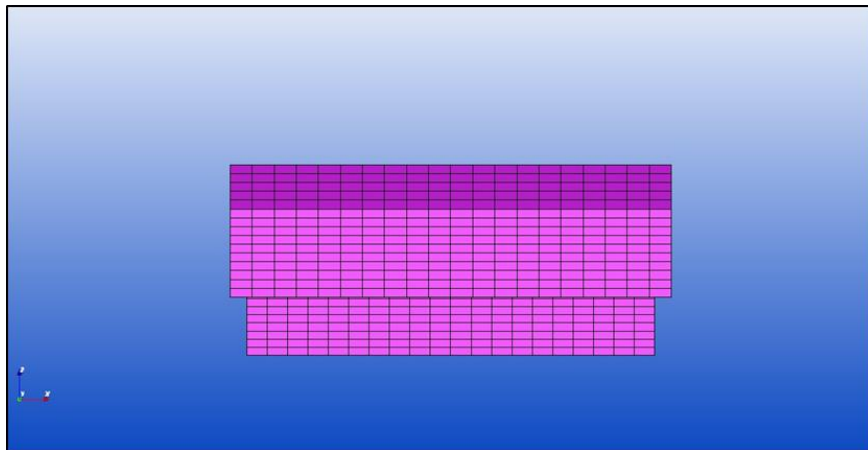
HASIL DAN ANALISIS

Analisis pertama yang dilakukan adalah melakukan pemodelan transformasi gelombang yang akan menunjukkan tinggi gelombang setelah mengenai *breakwater* terapung. Analisis ini dilakukan untuk menentukan layout *breakwater* terapung manakah yang paling baik untuk meredam tinggi gelombang. Berikut merupakan hasil pemodelan transformasi gelombang:

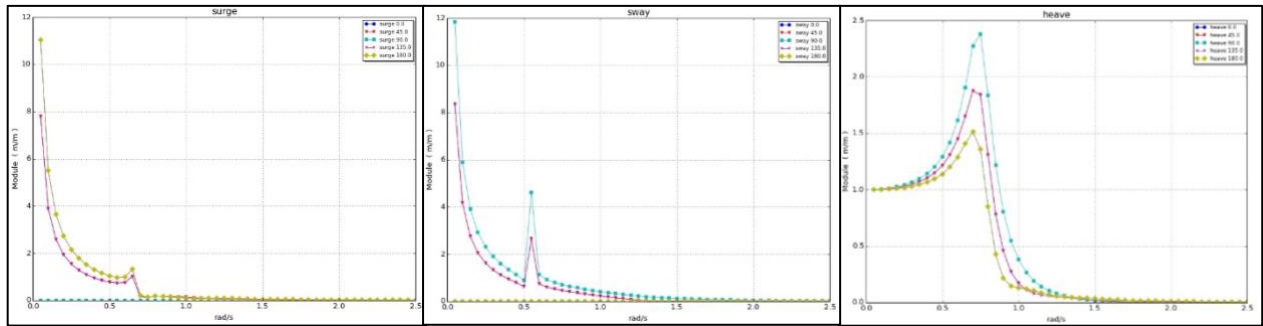


Gambar 3 Hasil transformasi gelombang

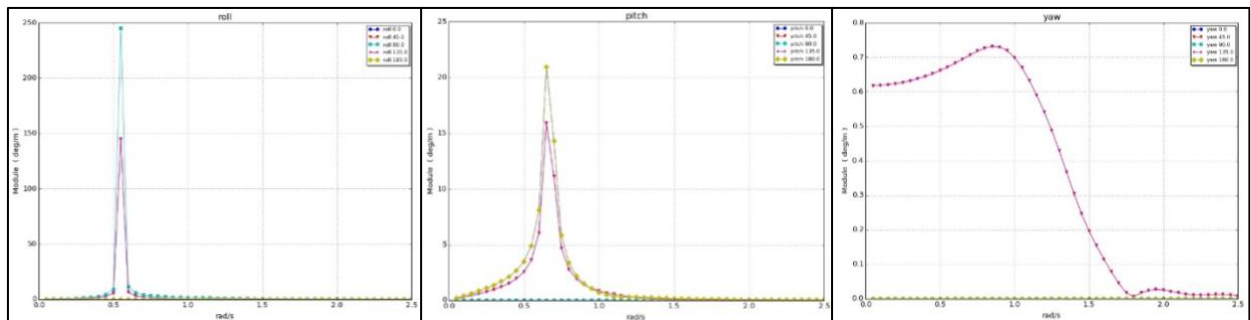
Analisis yang kedua adalah melakukan pemodelan hidrodinamika pada struktur terapung seperti pada Gambar 4 untuk menghasilkan respon struktur akibat gelombang dalam bentuk spectrum RAO ditampilkan pada Gambar 5 dan 6:



Gambar 4 Pemodelan struktur *breakwater* terapung

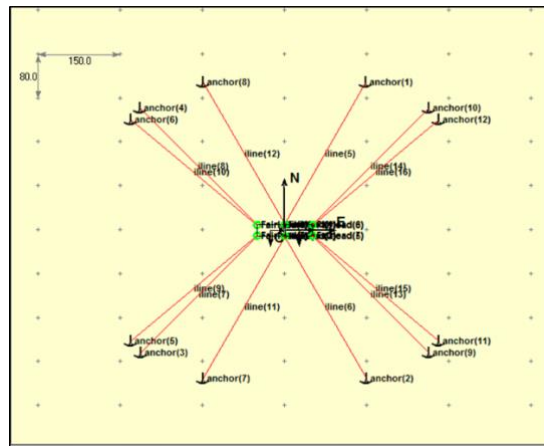


Gambar 5 RAO Gerakan Translasi



Gambar 6 RAO Gerakan Translasi Rotasi

Analisis selanjutnya adalah analisis domain waktu dengan pemodelan hidrodinamika mooring pada konfigurasi mooring yang ditampilkan pada Gambar 7 dan akan dikukan analisis pada saat keadaan intact dan damage untuk gelombang regular dan irreguller. Pemodelan *mooring* dilakukan dengan hanya menggunakan tiga arah gelombang yaitu North, North East dan East.



Gambar 7 Konfigurasi *mooring*

Dari pemodelan statik intact dan statik damage (tali mooring *mooring* line 7 dilepas) didapatkan hasil maksimum seperti berikut:

Tabel 4 Hasil maksimum *intact* dan *damage* pada keadaan statik

Statik <i>Intact</i>							
Line	At fairlead			Anchor Angle (°)	Fairlead Angle (°)	Horizontal Distance (m)	Paid Out Length (m)
	Th (kN)	Tv (kN)	T (kN)				
iline(5)	208,62	111,57	236,58	0	28,138	300,13	310
Statik <i>Damage</i>							
Line	At fairlead			Anchor Angle (°)	Fairlead Angle (°)	Horizontal Distance (m)	Paid Out Length (m)
	Th (kN)	Tv (kN)	T (kN)				
iline(9)	279,44	128,05	307,38	0	24,619	301,57	310

Simulasi dinamik dilakukan dengan memberikan gaya lingkungan dalam tiga arah yaitu North, North East dan East selama 10800 detik. Dari pemodelan dinamik kondisi *intact* akibat gelombang reguler didapatkan hasil maksimum yang dapat dilihat pada Tabel 5 berikut ini.

Tabel 5 Hasil maksimum dinamik *intact* untuk gelombang reguler

Arah Datang Gelombang	Breakwater 1				
	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Max Mooring Line	Max Tension
North	0,0004	0,1085	0,6795	6	472,2706
Arah Datang Gelombang	Breakwater 2				
	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Max Mooring Line	Max Tension
North	0,0005	0,1086	0,6796	11	472,2706

Dari pemodelan dinamik kondisi *damage* (satu tali *mooring* lepas) akibat gelombang reguler didapatkan hasil maksimum yang dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini:

Tabel 6 Hasil maksimum dinamik *damage* untuk gelombang reguler

Arah Datang Gelombang	Breakwater 1				
	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Max Mooring Line	Max Tension
North	2,0428	2,1224	0,6811	6	873,3325
Arah Datang Gelombang	Breakwater 2				
	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Max Mooring Line	Max Tension
North	0,4595	0,4241	0,6796	11	633,1783

Simulasi dinamik dilakukan dengan memberikan gaya lingkungan dalam tiga arah yaitu North, North East dan East selama 10800 detik. Dari pemodelan dinamik kondisi *intact* akibat gelombang irregular dengan spektrum JONSWAP didapatkan hasil maksimum yang dapat dilihat pada Tabel 7 berikut ini:

Tabel 7 Hasil maksimum dinamik *intact* untuk gelombang ireguler

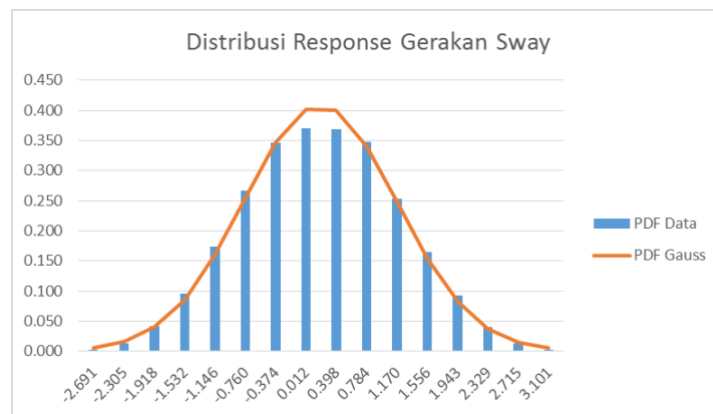
Arah Datang Gelombang	Breakwater 1				
	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Max Mooring Line	Max Tension
North	0,0007	2,9086	2,9058	6	536,3009
Arah Datang Gelombang	Breakwater 2				
	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Max Mooring Line	Max Tension
North	0,0006	2,9088	2,9058	11	536,3367

Dari pemodelan dinamik kondisi *damage* (satu tali *mooring* lepas) akibat gelombang irreguler didapatkan hasil maksimum yang dapat dilihat pada Tabel 8 berikut ini:

Tabel 8 Hasil maksimum dinamik *damage* untuk gelombang ireguler

Arah Datang Gelombang	Breakwater 1				
	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Max Mooring Line	Max Tension
North	2,1782	4,9984	3,1596	6	909,2921
Arah Datang Gelombang	Breakwater 2				
	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Max Mooring Line	Max Tension
North	0,4589	3,3145	3,0180	11	634,6270

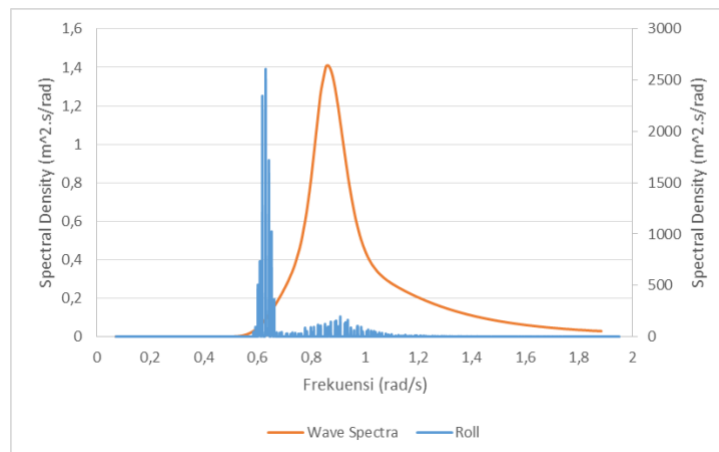
Selanjutnya ditinjau distribusi respon gerakan sway akibat gelombang irreguler arah Utara. Berikut perbandingan fungsi kerapatan data dengan distribusi normal Gauss teoritis dalam bentuk grafik.



Gambar 8 Distribusi respons gerakan sway

Dari Gambar 8 diatas dapat ditinjau kecenderungan distribusi data respon gerakan sway akibat gelombang acak mengikuti distribusi normal Gauss. Oleh karena itu berlaku karakteristik distribusi normal. Dari parameter statistik yang didapat, hasil $\mu+3\sigma$ akan memiliki nilai yang lebih kecil daripada nilai maksimum respon gerakan sway yang terjadi. Berlaku hal yang sama untuk sebaran data seluruh respon gerakan dan gaya tarik pada tali mooring.

Dari data seri waktu yang diperoleh dapat dibentuk spektrum respon roll untuk dianalisis



Pada gambar diatas puncak spektrum gelombang berada pada frekuensi 0.84 rad/s. Sementara untuk spektrum respon roll, terdapat 2 puncak dengan puncak spektrum tertinggi berada pada frekuensi 0.64 rad/s dan puncak spektrum tertinggi kedua berada pada frekuensi 0.84 rad/s. Frekuensi puncak spektrum tertinggi sama seperti hasil RAO roll yang frekuensi naturalnya berada pada frekuensi 0.64 rad/s. Hal ini berarti bahwa respon roll lebih besar dipengaruhi oleh frekuensi natural struktur dibandingkan dengan beban gelombang

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pemodelan dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. *Breakwater* terapung dengan lebar 20m, panjang 50m, draft 18m, draft screen 8m dan freeboard 5m dalam perhitungan kestabilan *roll* memiliki nilai GM 0,655 m dan dalam perhitungan kestabilan *pitch* memiliki nilai GM 17,55 m. Hal ini menyatakan bahwa struktur *breakwater* terapung stabil secara *roll* dan *pitch*
2. *Layout* pertama dari *breakwater* terapung dapat meredam gelombang dari 3,346 m menjadi 1,6 m pada daerah dermaga atau dengan pengurangan sebesar 52,2%, sedangkan untuk *layout* kedua dari *breakwater* terapung dapat mengurangi gelombang dari 3,346 m menjadi 0,5 m atau dengan pengurangan sebesar 85%. Maka dapat disimpulkan *layout* kedua lebih baik untuk diaplikasikan
3. Untuk perpindahan translasi struktur *breakwater* terapung memiliki frekuensi alamiah heave sebesar 0,75 rad/s, frekuensi alamiah surge sebesar 0,68 rad/s, dan frekuensi alamiah surge sebesar 0,54 rad/s. Sedangkan untuk perpindahan rotasi struktur *breakwater* terapung memiliki frekuensi

alamiah *roll* 0,58 rad/s, frekuensi alamiah *pitch* sebesar 0,68 rad/s dan frekuensi alamiah *yaw* sebesar 0,86 rad/s.

4. Seluruh nilai respon gerak struktur dan gaya tarik efektif pada tali mooring di setiap arah memenuhi kriteria desain pada kondisi intact dan damage, sehingga konfigurasi mooring yang digunakan sudah sesuai dengan syarat.

Berikut adalah hal-hal yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya:

1. Menganalisis sistem *mooring* dengan menyertakan beban angin
2. Menganalisis respons gerak *breakwater* terapung dengan pengait antar segmen berupa engsel.
3. Menganalisis sistem *mooring* dengan menggunakan lebih dari 2 segmen *breakwater* terapung
4. Menganalisis sistem *mooring* dengan tali *mooring* yang tidak terlalu banyak

DAFTAR PUSTAKA

Faltinsen, O.M. 1990. *Sea Loads on Ships and Offshore Structures*. Cambridge: Cambridge University Press

Bertaux, Henri O. 1976. *Buoy Engineering*. Kanada: John Wiley & Sons

Goda, Yoshimi. 2010. *Random Seas and Design of Maritime Structures 3rd Edition*. Singapura: World Scientific

McCormick, Michael E. 2010. *Ocean Engineering Mechanics with Applications*. Cambridge: Cambridge University Press

Chakrabarti, Subrata K. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structure*. Plainfield: Computational Mechanics Publication

Dean, Robert G. dan Robert A. Dalrymple. 1991. *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*. Singapura: World Scientific.

Fousert, M.W. 2006. *Floating Breakwater Theoretical study of a dynamic wave attenuating system*. Delft: Delft University of Technology

Pranata, Ivan. 2015. *Analisis Pemanfaatan Breakwater Terapung. Laporan tugas akhir tidak diterbitkan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung