

Studi Respon Dinamis *Spar Platform* dengan Variasi Rasio Diameter dan Jarak *Heave Plate*

R. Ciputra^a, Y.S. Hadiwidodo^b, J.J. Sudjono^b

^a Mahasiswa Jurusan Teknik Kelautan ITS, ^b Staf Pengajar Jurusan Teknik Kelautan ITS
Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

Abstrak — Spar merupakan jenis *floating structure* yang dapat digunakan di laut dalam dan menjadi struktur yang efektif dan dapat diandalkan dari segi konstruksi. Spar memiliki ciri khas dengan letak titik *buoyancy* (KB) berada di atas titik *gravity* (KG) sehingga memberikan stabilitas yang baik. Spar memiliki kelemahan yaitu rendahnya *damping* dan *natural period* sehingga perlu adanya penambahan *heave plate* pada *spar platform*. Pada tugas akhir ini dilakukan studi respon dinamis pada *spar platform* dengan variasi rasio diameter *heave plate* dan jarak. Variasi pada rasio diameter dan jarak untuk mendapatkan kemampuan terbaik *spar* dalam beroperasi terutama dalam mengurangi gerakan *heave* dan memberikan tambahan *damping* dan tambahan massa ke arah *heave*.

Pemodelan struktur dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak untuk mengetahui respon dinamis *spar* pada kondisi *free floating* dan tertambat. Setelah diperoleh respon dinamis dilakukan komparasi untuk mendapatkan variasi rasio diameter dan jarak antar *heave plate* yang terbaik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi model yang terbaik di rasio diameter pada variasi 130% d_h dengan nilai spectra respon pada *heave* 0.97 m dan variasi jarak yang terbaik pada jarak 16 m dengan nilai spectra respon pada *heave* 0.96 m.

Kata Kunci — *heave plate*, rasio diameter, respon dinamis, *spar platform*.

I. PENDAHULUAN

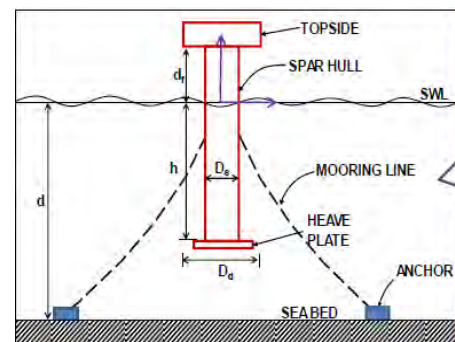
SPAR platform telah menarik banyak perhatian dari para peneliti dan *engineer* rekayasa struktur lepas pantai dikarenakan SPAR merupakan struktur yang paling efektif dan dapat diandalkan dari segi biaya konstruksi jika dibandingkan dengan struktur lainnya [1].

Keuntungan dari SPAR adalah berkurangnya *amplitude* osilasi dalam bidang *vertical* (*heave*, *pitch*, and *roll*). Pada jenis klasik SPAR memiliki konfigurasi rancangan yang terdapat dalam silinder *caisson* yang terdiri dari *hard tank* yang letaknya berada dibagian atas untuk memberikan gaya *buoyancy* dan terdapat *flooded skirt* dibawah bagian titik *buoyancy*. Bagian bawah dari *caisson* berupa *soft tank* yang digunakan untuk *system*

ballast. SPAR *platform* secara umum memiliki *heave natural period* di angka 20-33 detik [2].

Permasalahannya rendahnya *damping* dan *natural period* yang panjang, menghasilkan gerak resonansi Spar hingga 8-10 kali *amplitude* gelombang yang datang. Dampak yang diterima dapat menyebabkan kerusakan pada sistem *riser* dan *mooring*. Oleh karena itu optimasi respon dinamis terutama pada *heave* perlu ditangani.

Penambahan *heave plate* pada bagian bawah SPAR meningkatkan *heave added mass* dan *damping* sehingga menghasilkan *heave natural period* yang lama dan mengurangi motion karena redaman yang tinggi.



Gambar 1. Klasik SPAR dengan *heave plate* (Sumber : Sudhakar, 2013)

Oleh karena itu sehingga dapat dikembangkan bagaimana pengaruh respon dinamis *spar* dengan variasi rasio diameter *heave plate* dan variasi jarak antar *heave plate*.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Tugas akhir ini dilakukan dengan memanfaatkan berbagai pengalaman penelitian yang telah dipublikasikan. Pemodelan dan perancangan awal *spar* mengacu pada *design of floating structure* CE 5710 *spar design*. Dari acuan dilakukan perhitungan periode natural di validasikan dengan hasil pemodelan di perangkat lunak. Studi dilakukan pada kondisi *free floating* dan kondisi tertambat. Berikut merupakan gambar dan data ukuran dari rancangan variasi rasio diameter *heave plate* dan jarak antar *heave plate* pada *spar*.

Tabel 1. Parameter geometri spar model (a)

Configures heave plate	Parameter Geometry (m)	Heave Plate Diameter Ratio (m)				
		120%Dh	122%Dh	124%Dh	128%Dh	130%Dh
Spar dengan 3 Heave Plate	Spar Diameter Hull			21.945		
	Total Draft			198.12		
	Heave Plate Thickness			0.3		
	Heave Plate Diameter	26.334	26.776	27.211	28.089	28.528
	Relative Spacing	13	13	13	13	13

Tabel 2. Parameter geometri spar model (b)

Configures heave plate	Parameter Geometry (m)	Heave Plate Diameter Ratio (m)		
		130% Dh		
Spar dengan 3 Heave Plate	Spar Diameter Hull			21.945
	Total Draft			198.12
	Heave Plate Thickness			0.3
	Heave Plate Diameter	28.528	28.528	28.528
	Relative Spacing	4	8	16

Dari data parameter tersebut model dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak untuk mendapatkan RAO. Analisis frequency domain dilakukan untuk mencari RAO dari model yang sudah dimodelkan dengan menggunakan persamaan gerak sebagai berikut :

$$M(\omega)r + C(\omega)r + K(\omega)r = X^{ei\omega t} \tag{1}$$

Dengan,

$$M(\omega)r + C(\omega)r + K(\omega)r = X^{ei\omega t} = \text{matriks massa}$$

$$M(\omega)r + C(\omega)r + K(\omega)r = X^{ei\omega t} = \text{matriks}$$

redaman

$$M(\omega)r + C(\omega)r + K(\omega)r = X^{ei\omega t} = \text{matriks}$$

kekakuan

X = Faktor beban kompleks memberikan informasi pada amplitudo beban dan fase pada semua derajat kebebasan. Pola $ei\omega t$ menetapkan variasi harmonic dari contoh beban dengan frekuensi ω .

r = factor displasemen

Nilai RAO kemudian dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$RAO = \frac{\frac{|F(\omega)|}{H_s/2}}{k - m\omega^2 + c\omega} \tag{2}$$

Dengan,

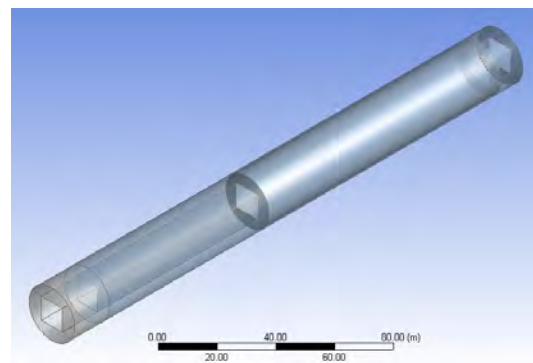
$X_p(\omega)$ = amplitudo struktur

$\eta(\omega)$ = amplitudo gelombang

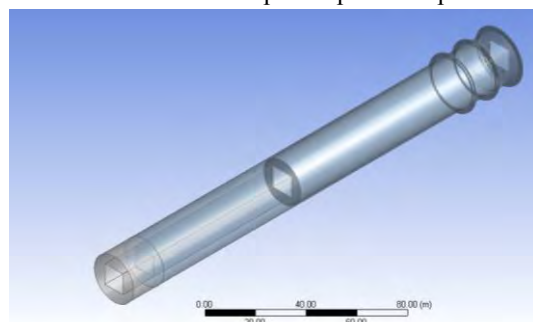
gerakan struktur diatas gelombang dapat diformulasikan dengan mengacu pada hukum Newton ke II [3,4], yang selanjutnya memberikan korelasi antara gaya aksi oleh gelombang insiden dan gaya reaksi berupa respon gerakan.

Dalam metode 3D struktur terapung dibagi menjadi panel – panel dengan distribusi *source* pada panel – panel tersebut. Metode 3D akhirnya dikenal juga sebagai metode panel atau difraksi [5].

Pada tugas akhir ini metode 3D diakomodasi oleh perangkat lunak. Gambar 2 dibawah ini merupakan hasil pemodelan spar +20% Dh” berdasarkan *General Arrangement*, dengan menerapkan metode panel. Dari pemodelan dengan metode panel ini dihasilkan prediksi gerakan spar diatas gelombang regular dan selanjutnya dilakukan studi respon gerakan di atas gelombang acak.



Gambar 2. Model spar tanpa heave plate



Gambar 3. Model spar +20% Dh

Studi respon dilakukan berdasarkan gerakan spar diatas gelombang acak. Data gelombang yang dipakai adalah data lingkungan 100 tahun kondisi badai di Teluk Meksiko. Analisis spectra dilakukan dengan menggunakan formulasi JONSWAP yang merupakan modifikasi dari formulasi spectra *Pierson – Moskowitz*. Formula spectrum ini sesuai diterapkan pada perairan tertutup/kepulauan, dengan persamaan sebagai berikut [6] :

$$S(\omega) = \alpha g^2 e^{\left[-1.25\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)\right]} \cdot \gamma e^{[-(\omega-\omega_p)^2/2\sigma^2\omega_m^2]} \quad (3)$$

Dengan,

S_{PM} = Spektrum Pierson - Moskowitz

$$S_{pm}(\omega) = 0.0081 \frac{g^2}{\omega^5} e^{-B/\omega^4} \left(m^2 - \frac{s}{rad}\right) \quad (4)$$

H_s = Tinggi gelombang signifikan

Ω_p = $2\phi_i/T_p$ (*angular spectral peak frequency*)

γ = *non – dimensional parameter* (bentuk puncak)

σ = *spectral width parameter*

$\sigma = 0.07$ untuk $\omega \leq \omega_p$

$\sigma = 0.09$ untuk $\omega > \omega_p$

$A\gamma = 1 - 0.287 \ln(\gamma)$ adalah *normalizing factor*

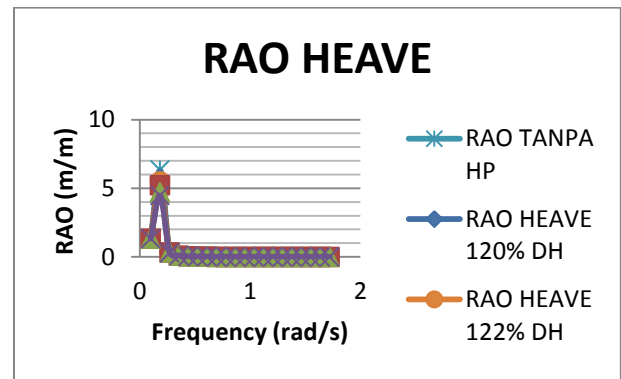
Pada kondisi sebenarnya, struktur terapung yang bergerak dilaut akan mengalami eksitasi gelombang yang bersifat acak, sesuai dengan sifat alami dari gelombang laut. Dalam hal ini, suatu inovasi dalam pemecahan permasalahan gerak bangunan di laut telah di tunjuka oleh St. Denis dan Pierson pada awal tahun 50an [7]. Peneliti tersebut mengungkapkan gerakan struktur diatas gelombang acak dapat di hitung dengan mentrasformasikan spektrum gelombang, $S(\omega)$ menjadi spektrum respon gerakan $S_R(\omega)$. Data yang digunakan adalah RAO dan spektra gelombang, sehingga dengan fungsi transfer berikut dapat di hitung spektra respon :

$$S_R(\omega) = RAO^2 \cdot xS_j(\omega) \quad (6)$$

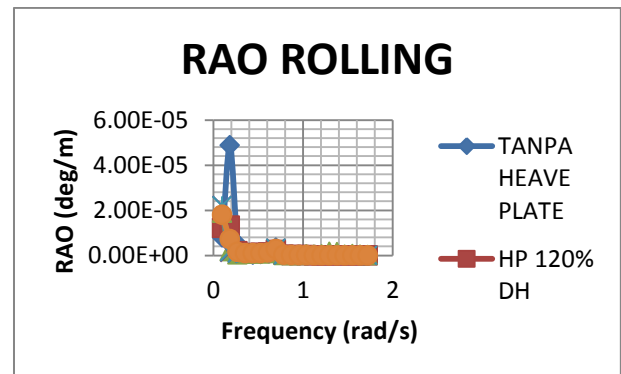
III. HASIL DAN DISKUSI

Dibawah ini didapatkan hasil komputasi dan analisis yang telah dilakukan berupa RAO dari model spar saat kondisi free floating, spectra JONSWAP menurut sebaran gelombang Teluk Meksiko, dan spectra respon gerakan.

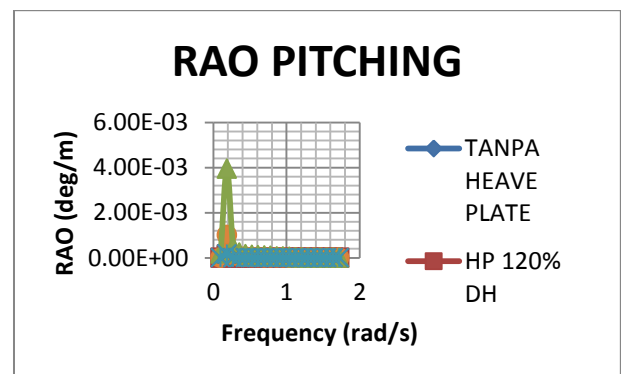
Gambar 3 s.d 5 menunjukkan karakteristik gerakan *heave*, *roll*, dan *pitch* pada kelima variasi diatas gelombang regular. Gerakan – gerakan ini merupakan moda gerakan yang kritis pada spar.



Gambar 4. RAO gerakan *heave*



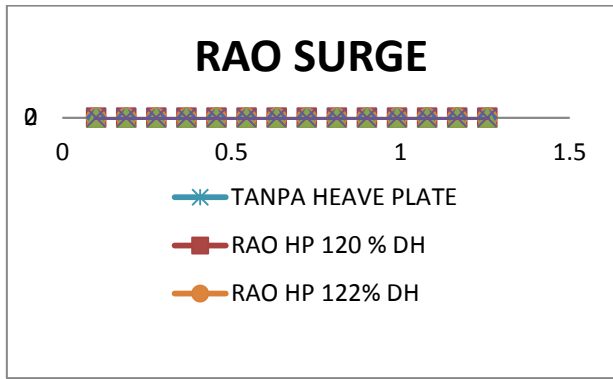
Gambar 5. RAO gerakan *roll*



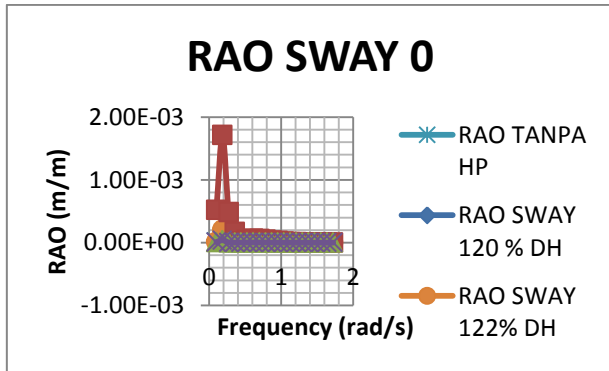
Gambar 6. RAO gerakan *pitch*

Dapat diamati karakteristik kelima variasi rasio diameter spar, bahwa kelimanya mempunyai gerakan rotational (*roll* dan *pitch*) yang cukup kecil. Hal ini disebabkan oleh perbedaan geometri, rasio diameter *heave plate* yang memberikan perbedaan luas penampang struktur yang berada dalam pengaruh gelombang. Pada RAO *Heave* terlihat pada rasio diameter 120% Dh memiliki nilai tertinggi yaitu 5.69 m/m pada frekuensi 0.185 rad/s.

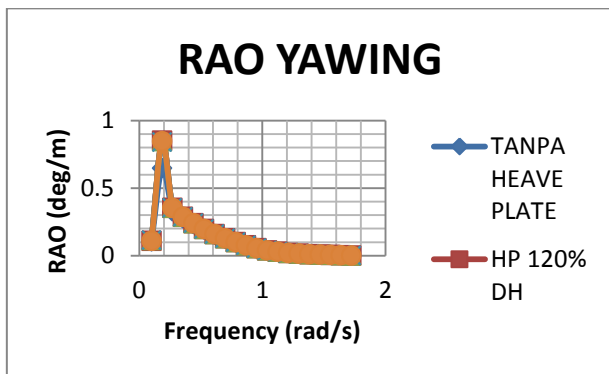
Dari gambar 6 s.d 8 RAO gerakan *surge*, *sway*, *yaw* kelima spar terlihat cukup baik hal ini ditunjukkan dengan RAO yang bernilai dibawah 1, yang berarti amplitudo gerakannya selalu lebih kecil dari amplitudo gelombang.



Gambar 7. RAO gerakan surge



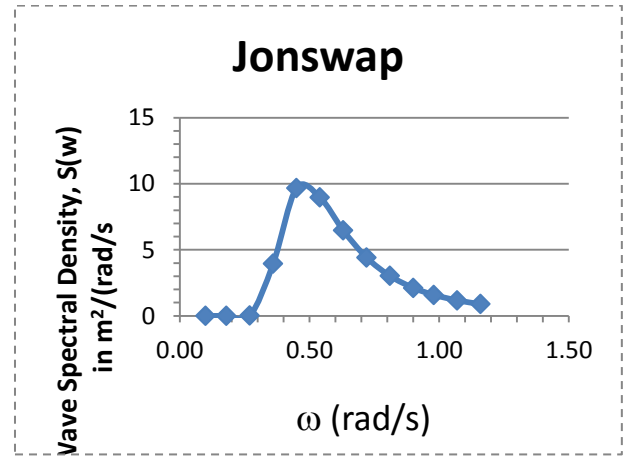
Gambar 8. RAO gerakan sway



Gambar 9. RAO gerakan yaw

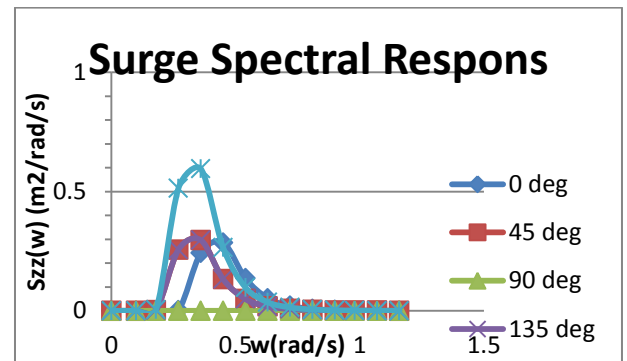
Hasil analisis pada bagian sebelumnya menjelaskan karakteristik gerakan pada kondisi ideal, dalam arti spar mengalami gerakan akibat eksitasi gelombang regular. Pada kenyataannya struktur terapung dilaut akan mengalami eksitasi gelombang yang bersifat acak. Oleh karena itu analisis spectra perlu dilakukan dengan mengaplikasikan data pada Teluk Meksiko kedalam formula JONSWAP.

Dengan nilai H signifikan 12.19 m dengan Tp pada 14 sec. Gambar 8 berikut menunjuka spectrum energy pada Tp 14 sec dengan menggunakan formula JONSWAP ($\gamma = 3$).

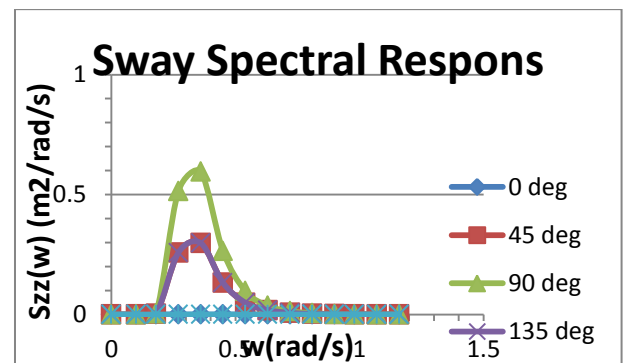


Gambar 10. Spektrum energy gelombang JONSWAP di perairan Teluk Meksiko pada Tp 14 detik

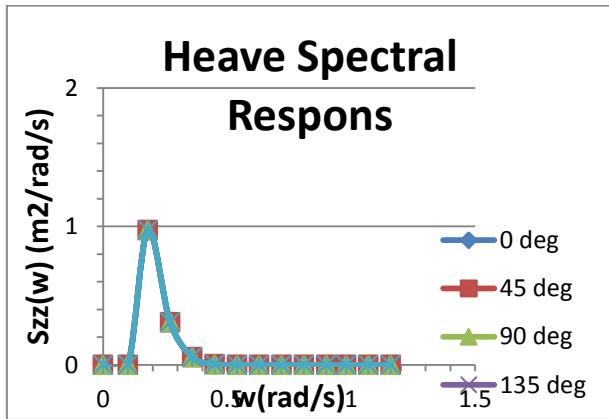
Dengan melakukan komputasi menggunakan transfer function pada persamaan (6) maka didapatkan spectra respon seperti terlihat pada gambar 9 s.d 15 sebagai berikut :



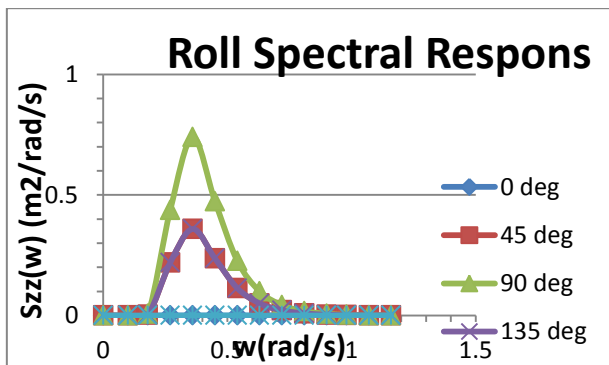
Gambar 11. Spektra respons gerakan surge rasio 130%dh



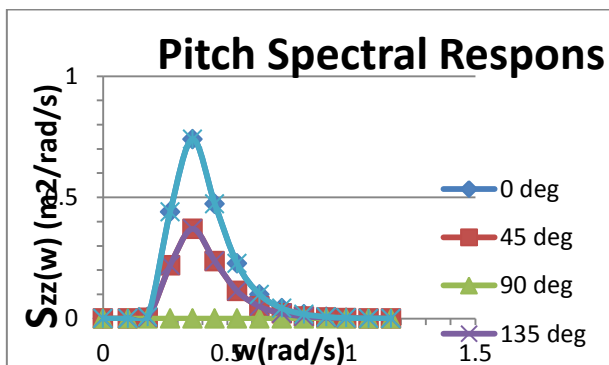
Gambar 12. Spektra respons gerakan sway rasio 130%dh



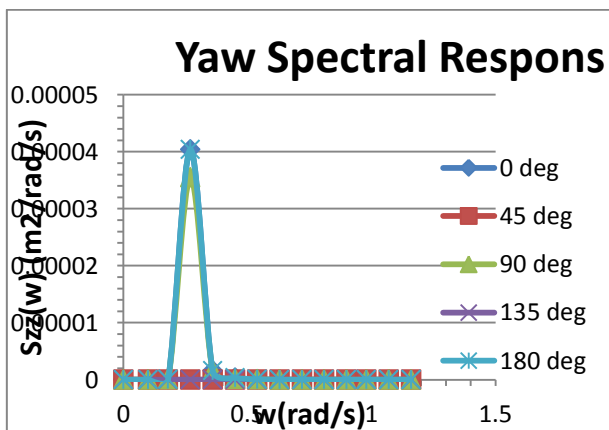
Gambar 13. Spektra respons gerakan heave rasio 130%dh



Gambar 14. Spektra respons gerakan roll rasio 130%dh

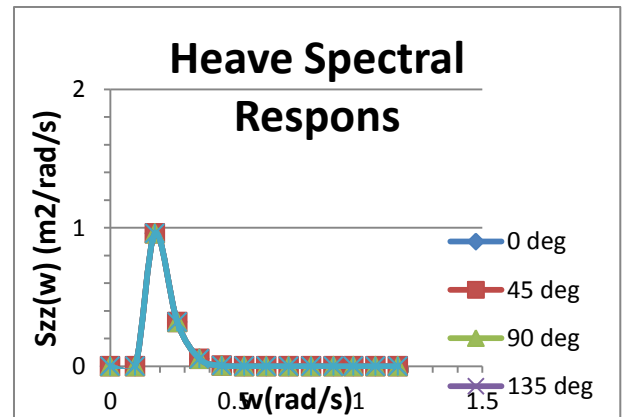


Gambar 15. Spektra respons gerakan pitch rasio 130%dh

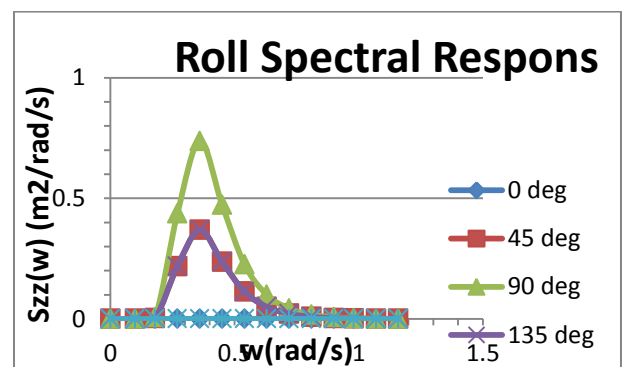


Gambar 16. Spektra respons gerakan yaw rasio 130%dh

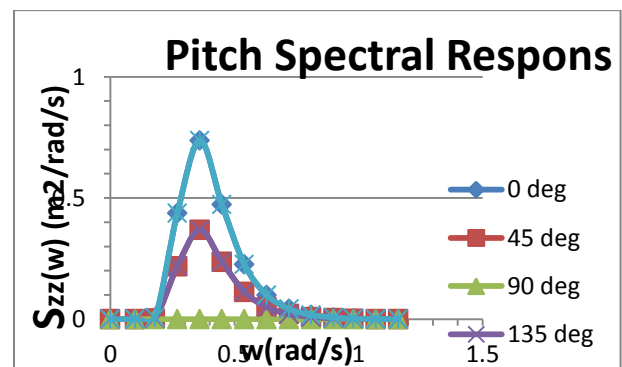
Sementara pada variasi jarak didapatkan spectra respon gerakan terbaik pada jarak 16 meter. Semakin pendek jarak antar heave plate akan berdampak pada added mass karena jarak yang terlalu dekat.



Gambar 17. Spektra respons gerakan heave rasio 130%dh 16 m



Gambar 18. Spektra respons gerakan roll rasio 130%dh 16 m



Gambar 14. Spektra respons gerakan pitch rasio 130%dh 16 m

IV KESIMPULAN

1. Perilaku gerak struktur SPAR dengan variasi rasio diameter dan jarak berdampak terdiri dari gerakan translasi *surge*, *sway* dan *heave* serta gerakan rotasional *roll* dan *pitch*, sedangkan untuk gerakan rotasional *yaw* sangat kecil. Gerakan *yaw* yang kecil atau mendekati nol.

2. Hasil analisis variasi rasio diameter *heave plate* dan variasi jarak antar *heave plate* menunjukkan bahwa penambahan rasio diameter *heave plate* dan jarak antar *heave plate* pada struktur SPAR secara umum akan memperkecil respon gerakan *heave*. Akan tetapi tidak berpengaruh terhadap gerakan surge.
3. Nilai *amplitude maksimum* untuk *heave* terkecil diperoleh pada SPAR dengan ratio diameter 130% Diameter hull dengan nilai 0.97 meter. Untuk jarak nilai *amplitude maksimum* untuk *heave* terkecil diperoleh pada SPAR dengan jarak antar *heave plate* 16 meter dengan nilai 0.96 meter.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L.Tao. B.Molin. Y-M Scolan. K.Thiagarajan 2007. “*Spacing effect on hydrodynamics of heave plates on offshore structure*”. Journal of fluid and structures 23 (2007) 1119-1136.
- [2] S.Sudhakar dan S.Nallayarasu. 2003. “*Hydrodynamic Response of Spar with Single and Double Heave Plate in Regular Wave*”. International Journal of Ocean Engineering 3(4) (2013) 188-208.
- [3] Froude, W., “On the Rolling of Ships”, *Transactions of INA*, Vol 2, 1861.
- [4] Krylov, A.N., —A New Theory of the Pitching Motion of Ships on Waves and of the Stresses Produced by This Motion”, *Transactions of INA*, Vol. 37, 1896.
- [5] Chan et al., —Structural Loading Aspects in the Design of SWATH ships”, *Proceedings of the 5th Symposium on PRADS’92*, Newcastle upon Tyne, UK, May, 1992.
- [6] Det Norsle Veritas, 2010, *Recommended Practice DNV-RP-F205 Global Performance Analysis of Deepwater Floating Structure*, Det Norske Veritas, Oslo.
- [7] St. Denis, M., Pierson, W. J., Jr., 1953, “On the Motions of Ships in Confused Seas”, *Transactions of SNAME*, Vol. 61, pp. 280 – 357.