

## ANALISA KARAKTERISTIK GERAKAN *HEAVE* MODEL BUATAN *SEMISUBMERSIBLE* BERKAKI 5 DENGAN KONFIGURASI SEGILIMA SAMA SISI

Teguh Herlambang<sup>1</sup>, Kresna Oktafianto<sup>2</sup>, Dinita Rahmalia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sistem Informasi Universitas Nahdlatul Ulama Surabaya

<sup>3</sup>Prodi Matematika FMIPA Universitas PGRI Ronggolawe

<sup>4</sup>Universitas Islam Darul Ulum Lamongan

<sup>1</sup>teguh@unusa.ac.id, <sup>2</sup>kresnaoktafianto@unirow.ac.id

**Abstrak**– Dewasa ini produktivitas minyak dan gas bumi dalam negeri cenderung menurun. Bahkan antara persediaan gas dan bumi dengan kebutuhan sangat jauh berbeda. Hal ini karena banyak potensi sumber daya alam minyak dan gas bumi yang belum dieksplorasi, khususnya di daerah perairan dalam (lepas pantai). *Semisubmersible* merupakan salah satu fasilitas anjungan lepas pantai terapung yang sering dipakai. Kelebihan dari *semisubmersible* adalah karakteristik gerakannya yang cukup stabil di perairan dalam. Namun, sangat perlu dicermati bahwa desain *semisubmersible* harus sesuai dengan keadaan perairan yang nanti akan diaplikasikan. Kesesuaian itu ditunjukkan dari karakteristik gerak *semisubmersible* di gelombang Reguler dan selanjutnya dilakukan analisa spektra untuk mengetahui karakteristik gerakan di atas gelombang acak. Dalam paper ini, penulis mencoba menganalisa model rancangan secara mandiri *semisubmersible* berkaki lima dengan konfigurasi segilima sama sisi. Gambar 1 berikut merupakan *general arrangement* yang telah dibuat untuk merepresentasikan konfigurasi kaki dari *semisubmersible* (segi lima sama sisi) dengan titik datum kartesian (origin) berada pada daerah buritan *semisubmersible*. Tiap kaki terdiri dari 2 silinder tegak yang berbeda diameter. Silinder bagian bawah berdiameter 20 meter, dan silinder atas berdiameter 16 meter. Panjang *semisubmersible* adalah 100 meter.

**Kata Kunci** – *Semisubmersible* Berkaki Lima, Karakteristik Gerakan, *Heave*, Konfigurasi Segilima Sama Sisi.

### I. PENDAHULUAN

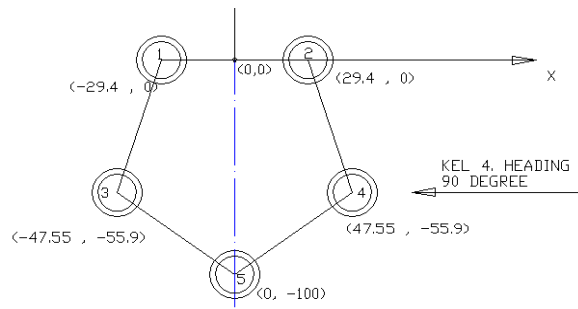
Produktivitas minyak dan gas bumi dalam negeri cenderung menurun pada akhir-akhir

ini. Bahkan antara persediaan gas dan bumi dengan kebutuhan sangat jauh berbeda. Hal ini karena banyak potensi Sumber daya alam minyak dan gas bumi yang belum dieksplorasi, khususnya di daerah perairan dalam (lepas pantai) [1,2]. Hal ini menuntut dibutuhkannya inovasi dalam merancang fasilitas bangunan pendukung lepas pantai yang tangguh untuk beroperasi di wilayah perairan yang cukup ganas. Inovasi dalam merancang fasilitas pengeboran lepas pantai terapung sangat menentukan produktivitas minyak dan gas bumi nantinya.

*Semisubmersible* merupakan salah satu fasilitas anjungan lepas pantai terapung yang sering dipakai. Kelebihan dari *semisubmersible* adalah karakteristik gerakannya yang cukup stabil di perairan dalam [3]. Namun, sangat perlu dicermati bahwa desain *semisubmersible* harus sesuai dengan keadaan perairan yang nanti akan diaplikasikan. Kesesuaian itu ditunjukkan dari karakteristik gerak *semisubmersible* di gelombang Reguler dan selanjutnya dilakukan analisa spektra untuk mengetahui karakteristik gerakan di atas gelombang acak [4].

Dalam paper ini, penulis mencoba menganalisa model rancangan secara mandiri *semisubmersible* berkaki lima dengan konfigurasi segilima sama sisi. Gambar 1 berikut merupakan *general arrangement* yang telah dibuat untuk merepresentasikan konfigurasi kaki dari *semisubmersible* (segi lima sama sisi) dengan titik datum kartesian

(origin) berada pada daerah buritan *semisubmersible*. Tiap kaki terdiri dari 2 silinder tegak yang berbeda diameter. Silinder bagian bawah berdiameter 20 meter, dan silinder atas berdiameter 16 meter. Panjang *semisubmersible* adalah 100 meter. Untuk kasus khusus ini, penulis ingin mengetahui gerakan *Heave* dari anjungan ini, apabila diberi eksitasi gelombang dari arah 90 derajat atau dengan kata lain gelombang sisi. Sesuai dengan arah gelombang datan yaitu dari sisi, sehingga sumbu kartesian arah x harus diputar sedemikian rupa sehingga sejajar dengan arah datang gelombang sisi (arah 90 derajat) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. beberapa tujuan pada paper ini diantaranya, Penulis ingin mengetahui bagaimana karakteristik gerakan *heave* *semisubmersible* berkaki 5 dengan konfigurasi segilima sama sisi apabila diberi eksitasi gelombang arah 90 derajat (gelombang sisi), Dari karakteristik gelombang reguler Penulis ingin mengetahui bagaimana karakteristik gerakan *heave* *semisubmersible* berkaki 5 dengan konfigurasi segilima sama sisi apabila diberi eksitasi gelombang acak dengan tinggi gelombang signifikan 4 meter, dengan batasan penelitian diantaranya adalah Gerakan yang dianalisa hanya untuk gerakan translasional untuk gerakan *heave*, formulasi Spektra yang dipakai adalah ITTC/ISSC 1970, Arah gelombang adalah gelombang sisi dari arah 90 derajat, dan  $\zeta_0 =$  amplitudo gelombang ditetapkan sebesar 1.0 m (unity).



**Gambar 2:** Arah datang gelombang 90 derajat (gelombang sisi)

**RAO (Response Amplitude Operators)**

*Response-Amplitude Operator* (RAO) adalah fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai struktur. Hal ini dikarenakan RAO adalah alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur. Menurut Djatmiko (2012), respon gerakan RAO terbagi menjadi dua yaitu:

1. Respon gerakan RAO untuk gerakan translasi yaitu *surge*, *sway*, dan *heave* (k = 1, 2, 3 atau x, y, z), merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakannya dibanding dengan amplitudo gelombang (dalam satuan panjang). Pers. (1) digunakan untuk menentukan RAO gerakan translasi.

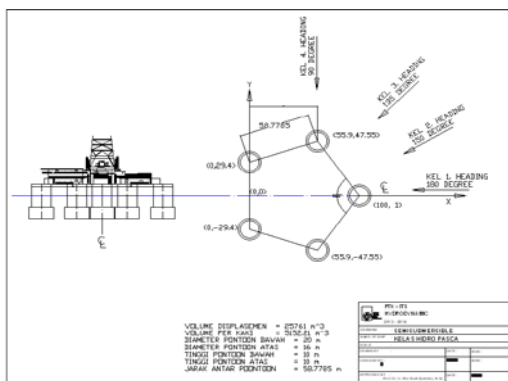
$$RAO = \frac{\zeta_{ko}}{\zeta_0} (m/m) \dots\dots\dots (1)$$

2. RAO untuk gerakan rotasi yaitu *roll*, *pitch*, dan *yaw* (k = 4, 5, 6 atau  $\theta, \phi, \psi$ ) adalah merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi dengan kemiringan gelombang (hasil kali antara angka gelombang dengan amplitudo gelombang insiden). Pers. (2) digunakan untuk menentukan RAO gerakan rotasi.

$$RAO = \frac{\zeta_{ko}}{\zeta_0} = \frac{\zeta_{ko}}{(\omega^2 / g)\zeta_0} (rad / rad) \dots\dots(2)$$

**Spektrum Gelombang Dan Gaya Eksitasi**

Spektrum gelombang yang dipakai dalam laporan ini adalah spektrum ITTC (*International Towing Tank Conference*) (1975). Pada acara ITTC (*International Towing Tank Conference*) ke-14 tahun 1975 di kota Ottawa, Kanada, Mirokhin dan Kholodilin (1975) telah mengajukan suatu



**Gambar 1:** General Arrangement *semisubmersible*

formula baru untuk spectra gelombang, dengan mempertimbangkan data mutakhir pada saat itu. Formulasi spectra ITTC dalam buku Djatmiko (2012) dapat ditulis sesuai dengan Pers. (4.3) [4].

$$\zeta(\omega) = \frac{0.0081 \cdot g^2}{\omega^5} \cdot \exp\left(\frac{-3.11}{Hs^2 \omega^2}\right) \dots\dots\dots (3)$$

Hal yang sangat menarik, meskipun secara konstanta dalam persamaan berbeda, namun ternyata hasil kurva spectra dari ITTC/ISSC 1975 ini sama dengan Bretschneider (1959) dan beberapa yang lain, Djatmiko (2012).

Perhitungan gaya eksitasi membutuhkan beberapa hal yang harus diperhatikan, seperti yang berikut ini:

Persamaan gerakan struktur di atas gelombang reguler: (RAO dihitung untuk gelombang reguler)

$$M\ddot{z} + B\dot{z} + K_z z = F_{0z} e^{-i\omega t} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana  $M\ddot{z}$  adalah *inertia Force*,  $B\dot{z}$  adalah *damping force* dan  $K_z z$  adalah *restoring force*.

- Untuk penyederhanaan permasalahan gaya redaman sementara ini diabaikan.
- Gaya pengembali mudah diselesaikan. Berhubungan dengan kekakuan.
- Gaya inersia akan diselesaikan sebagai berikut:

1. Gaya tekanan dinamis (*pressure force*).

Persamaan untuk gaya tekanan adalah:

$$F_p = \rho g \zeta_0 e^{-k\omega x} A \cos(k_\omega x - \omega t) \dots\dots\dots (5)$$

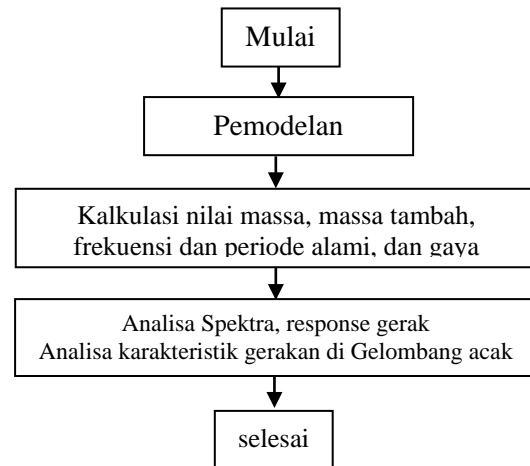
2. Gaya percepatan (partikel gelombang) (*acceleration force*).

Persamaan untuk gaya percepatan adalah:

$$F_A = -m_{az} \cdot \zeta_0 \cdot \omega^2 \cdot e^{-k\omega x} \cdot \cos(k_\omega x - \omega t) \dots\dots\dots (6)$$

Dalam penelitian ini ada beberapa tahapan yang dilakukan sebagai *sequence* dalam analisa karakteristik gerakan bangunan apung. Gambar 3 menjelaskan urutan pengerjaan tugas ini. Pengerjaan dimulai dari tahapan pemodelan *semisubmersible* yang ditunjukkan dengan konfigurasi kaki, dan masing-masing koordinat kartesiannya. Kemudian dilakukan kalkulasi RAO sebagai representasi dari karakteristik gerakan *semisubmersible* di atas gelombang reguler. Apabila telah diperoleh nilai RAO maka dilakukan analisa Spektra yang nantinya akan

menghasilkan Spektra respons yang merupakan karakteristik gerakan di gelombang acak. Apabila spektra respons telah didapat harga-harga stokastik seperti nilai gerakan signifikan, nilai gerakan ekstrim bisa didapat.



Gambar 3: Diagram Alir Penelitian

II. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertama-tama kita perlu mengetahui data utama dari dimensi *semisubmersible* yang dijelaskan pada Tabel 1 berikut ini. Data-data ini merupakan hal mendasar dari analisa gerakan *Heave* di atas gelombang reguler sesuai dengan gambar konfigurasi kaki *semisubmersible* pada Gambar 1.

Tabel 1: Data utama *Semisubmersible* kaki lima

D <sub>1</sub>	16	m
D <sub>2</sub>	20	m
h <sub>1</sub>	10	m
h <sub>2</sub>	10	m
Hs	4	m
ρ	1.025	ton/m <sup>3</sup>
g	9.81	m/s <sup>2</sup>
ζ <sub>o</sub>	1	m
Arah	90	°
π	3.14159	

Sesuai gambar yang ditunjukkan pada Gambar 2 dengan arah datang gelombang sisi yaitu 90 derajat. Maka kita dapat menentukan koordinat dari masing-masing kaki *semisubmersible*. Koordinatnya adalah ditunjukkan pada Tabel 2.

Dari dimensi-dimensi utama yang ditunjukkan pada Tabel 1. kita bisa menentukan massa silinder, kekakuan, massa tambah *heave* dan dalam hal tertentu kita juga memerlukan nilai natural frekuensi serta periode naturalnya. Nilai natural frekuensi nantinya bisa dikorelasikan dengan geometri grafik *Response Amplitude Operator*, yaitu pada nilai tertinggi (puncak). Harga –harga tersebut dapat dilihat pada Tabel 3. pada tabel tersebut terlihat bahwa semakin besar massa atau luas permukaan yang terjadi, semakin besar nilai kekakuan yang ada dalam struktur terapung. Hal yang menarik adalah frekuensi dan periode natural, baik untuk 1 kaki dan untuk seluruh kaki pada *semisubmersible* mempunyai harga yang sama. Hal ini kemungkinan disebabkan karena keseragaman bentuk dan massa dari masing-masing kaki di *semisubmersible*.

**Tabel 2:** Koordinat masing-masing kaki *semisubmersible*

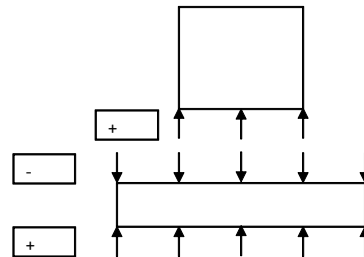
kaki 1	x	=	-29.4
	y	=	0
kaki 2	x	=	29.4
	y	=	0
kaki 3	x	=	-47.55
	y	=	-55.9
kaki 4	x	=	47.55
	y	=	-55.9
kaki 5	x	=	0
	y	=	-100

**Tabel 3:** Nilai-nilai massa, massa tambah, periode dan frekuensi alami *semisubmersible*

	$K_z$ ( $\text{ton/s}^2$ )	$m_1$ (ton)	$m_2$ (ton)	$m_{AZ1}$ (ton)	$m_{AZ2}$ (ton)	$m_{TOTAL}$ (ton)	$m_{AZ\ total}$ (ton)	$T_n$ (detik)	$V_n$ ( $\text{rad/s}$ )
1 kaki	2021.72797	2010.619	3141.593	699.7333	2733.333	5152.212	3433.067	12.94779	0.485271
seluruh kaki	10108.6398	10053.2	15707.96	3498.667	13666.67	25761.06	17165.33	12.94779	0.485271

Untuk memperoleh harga gerakan di atas gelombang *Reguler*, kita perlu mengetahui nilai-nilai gaya tekanan di tiap kaki *semisubmersible*. Dimana dengan memanfaatkan persamaan (4.5), koordinat X masing-masing kaki *semisubmersible* yang ada di Tabel 2. dan *free body* diagram seperti pada Gambar 4 berikut

Perhitungan gaya tekanan



**Gambar 4:** *Free Body* diagram perhitungan gaya tekanan kaki *semisubmersible*

Maka didapat nilai gaya tekanan tiap kaki sebagaimana disajikan pada Tabel 4 berikut:

**Tabel 4:** nilai persamaan gaya tekanan tiap kaki *semisubmersible*

Gaya tekanan pada kaki 1		$K_z$	0.002294
si-1(+)	$2021.728 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4)$	$\cdot \text{cos}(Kw \cdot x \cdot t)$	
si-2(-)	$-3158.95 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4)$	$\cdot \text{cos}(Kw \cdot x \cdot t)$	
si-2(+)	$3158.95 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4 + N5)$	$\cdot \text{cos}(Kw \cdot x \cdot t)$	
Total	$-1137.22 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4)$	$\cdot \text{cos}(Kw \cdot x \cdot t)$	$+ 3158.95 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4 + N5)$

Gaya tekanan pada kaki 2			
si-1(+)	$2021.728 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4)$	$\cdot \text{cos}(Kw \cdot x \cdot t)$	
si-2(-)	$-3158.95 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4)$	$\cdot \text{cos}(Kw \cdot x \cdot t)$	
si-2(+)	$3158.95 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4 + N5)$	$\cdot \text{cos}(Kw \cdot x \cdot t)$	
Total	$-1137.22 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4)$	$\cdot \text{cos}(Kw \cdot x \cdot t)$	$+ 3158.95 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4 + N5)$

Gaya tekanan pada kaki 3			
si-1(+)	$2021.728 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4)$	$\cdot \text{cos}(Kw \cdot x \cdot t)$	
si-2(-)	$-3158.95 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4)$	$\cdot \text{cos}(Kw \cdot x \cdot t)$	
si-2(+)	$3158.95 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4 + N5)$	$\cdot \text{cos}(Kw \cdot x \cdot t)$	
Total	$-1137.22 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4)$	$\cdot \text{cos}(Kw \cdot x \cdot t)$	$+ 3158.95 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4 + N5)$

Gaya tekanan pada kaki 4			
si-1(+)	$2021.728 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4)$	$\cdot \text{cos}(Kw \cdot x \cdot t)$	
si-2(-)	$-3158.95 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4)$	$\cdot \text{cos}(Kw \cdot x \cdot t)$	
si-2(+)	$3158.95 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4 + N5)$	$\cdot \text{cos}(Kw \cdot x \cdot t)$	
Total	$-1137.22 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4)$	$\cdot \text{cos}(Kw \cdot x \cdot t)$	$+ 3158.95 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4 + N5)$

Gaya tekanan pada kaki 5			
si-1(+)	$2021.728 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4)$	$\cdot \text{cos}(Kw \cdot x \cdot t)$	
si-2(-)	$-3158.95 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4)$	$\cdot \text{cos}(Kw \cdot x \cdot t)$	
si-2(+)	$3158.95 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4 + N5)$	$\cdot \text{cos}(Kw \cdot x \cdot t)$	
Total	$-1137.22 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4)$	$\cdot \text{cos}(Kw \cdot x \cdot t)$	$+ 3158.95 \cdot \text{EXP}((v^2)/NB^4 + N5)$

Pada Tabel 4 di nilai total masih terdapat variabel  $\omega$ , x, dan t. Hal ini merupakan proses nilai input dari koordinat x kaki *semisubmersible*, nilai variasi frekuensi yang nantinya akan tersaji dalam grafik RAO yang mewakili daerah kritis, sub kritis da super kritis, serta nilai t yang merupakan waktu ke berapa yang merupakan determinasi nilai puncak gelombang *reguler*.

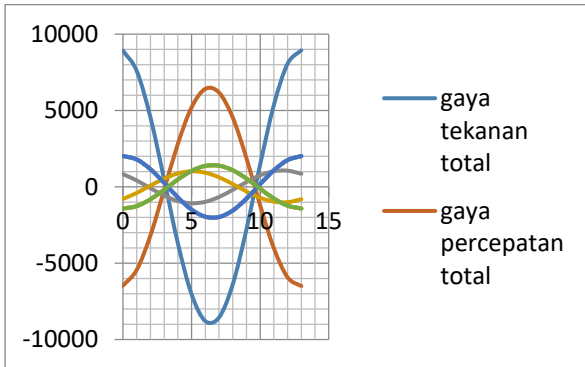




No	KAKI 1		KAKI 2		KAKI 3		KAKI 4		KAKI 5		Total
	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1.56	0	1.56	0	1.56	0	1.56	0	1.56	0	1.56
3	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56
4	0	1.56	0	1.56	0	1.56	0	1.56	0	1.56	1.56
5	-1.56	1.56	-1.56	1.56	-1.56	1.56	-1.56	1.56	-1.56	1.56	-1.56
6	-1.56	0	-1.56	0	-1.56	0	-1.56	0	-1.56	0	-1.56
7	-1.56	-1.56	-1.56	-1.56	-1.56	-1.56	-1.56	-1.56	-1.56	-1.56	-1.56
8	0	-1.56	0	-1.56	0	-1.56	0	-1.56	0	-1.56	-1.56
9	1.56	-1.56	1.56	-1.56	1.56	-1.56	1.56	-1.56	1.56	-1.56	1.56
10	1.56	0	1.56	0	1.56	0	1.56	0	1.56	0	1.56

Tabel 12: Kalkulasi RAO

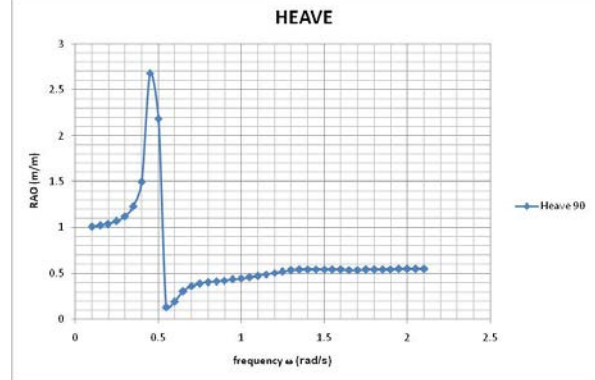
ω (rad/s)	fp TOTAL	fa TOTAL	F <sub>0z</sub>		ζ <sub>z</sub>	RAO
			(kN)	(kN/m)		
0.1	10055.549	-307.393	9748.1557	10108.64	0.956597222	1.008093
0.15	9988.4722	-688.906	9299.5661	10108.64	0.90234375	1.019525
0.2	9893.6407	-1217.56	8676.0789	10108.64	0.826388889	1.038595
0.25	9770.936	-1887.17	7883.7697	10108.64	0.728732639	1.07022
0.3	9621.2285	-2688.96	6932.2673	10108.64	0.609375	1.125377
0.35	9446.9221	-3611.44	5835.4849	10108.64	0.468315972	1.232666
0.4	9252.3901	-4640.51	4611.8803	10108.64	0.305555556	1.493121
0.45	9044.1888	-5760.21	3283.9773	10108.64	0.12109375	2.682784
0.5	8830.9515	-6954.01	1876.9438	10108.64	0.085069444	2.182654
0.55	8622.8991	-8206.75	416.15402	10108.64	0.312934028	0.131555
0.6	8430.9587	-9507.11	1076.1545	10108.64	0.5625	0.18926
0.65	8265.5576	-10850.3	2584.7906	10108.64	0.833767361	0.306682
0.7	8135.2402	-12240.8	4105.5126	10108.64	1.126736111	0.360456
0.75	8045.3292	-13693.5	5648.1663	10108.64	1.44140625	0.38764
0.8	7996.8947	-15235.1	7238.214	10108.64	1.777777778	0.402774
0.85	7986.29	-16902.2	8915.8923	10108.64	2.135850694	0.412954
0.9	8005.4439	-18738	10732.516	10108.64	2.515625	0.422049
0.95	8042.9714	-20786.9	12743.921	10108.64	2.917100694	0.432174
1	8085.9911	-23087.7	15001.671	10108.64	3.340277778	0.444288
1.05	8122.3562	-25665.7	17543.322	10108.64	3.78515625	0.458496
1.1	8142.8615	-28526.4	20383.57	10108.64	4.251736111	0.474265
1.15	8142.9332	-31651.3	23508.402	10108.64	4.740017361	0.490626
1.2	8123.3718	-34997.5	26874.132	10108.64	5.25	0.506387
1.25	8089.9048	-38502.4	30412.497	10108.64	5.781684028	0.520361
1.3	8051.592	-42093.4	34041.771	10108.64	6.335069444	0.531579
1.35	8018.4272	-45700.7	37682.294	10108.64	6.91015625	0.539457
1.4	7998.7299	-49272.1	41273.412	10108.64	7.506944444	0.543894
1.45	7997.0127	-52784.8	44787.809	10108.64	8.125434028	0.545281
1.5	8012.9151	-56252.1	48239.228	10108.64	8.765625	0.544408
1.55	8041.509	-59722.2	51680.72	10108.64	9.427517361	0.542299
1.6	8074.8845	-63267.7	55192.8	10108.64	10.111111111	0.539996
1.65	8104.5322	-66968.3	58863.812	10108.64	10.81640625	0.53836
1.7	8123.7869	-70891.2	62767.42	10108.64	11.54340278	0.537908
1.75	8129.577	-75073.2	66943.66	10108.64	12.29210069	0.538754
1.8	8122.957	-79512.5	71389.5	10108.64	13.0625	0.540649
1.85	8108.3162	-84170.6	76062.272	10108.64	13.85460069	0.543103
1.9	8091.607	-88986.8	80895.179	10108.64	14.66840278	0.545566
1.95	8078.262	-93898.1	85819.882	10108.64	15.50390625	0.547588
2	8071.5413	-98859.9	90788.366	10108.64	16.361111111	0.54894
2.05	8071.8457	-103858	95786.38	10108.64	17.24001736	0.549634
2.1	8077.1308	-108911	100833.85	10108.64	18.140625	0.549872



Gambar 6: grafik 1 panjang gelombang pada akumulasi gaya percepatan dan gaya tekanan pada frekuensi kritis 0.48 rad/s

Pada gambar diatas menunjukkan harga gaya tekanan dan gaya percepatan di tiap kaki semisubmersible. Yang kemudian diakumulasi menjadi gaya tekanan total dan gaya percepatan total, dan kemudian diplot pada grafik tersebut. Panjang gelombang sengaja dibuat dalam bentuk 1 gelombang. Untuk mengetahui bagaimana waktu yang dibutuhkan untuk membentuk 1 puncak dan 1 lembah atau dengan kata lain 1 panjang gelombang. Dengan nilainya yaitu sekitar 20 meter apabila mengadopsi persamaan konsep panjang gelombang laut dalam yaitu  $1,56 T^2$ .

Selanjutnya Kalkulasi RAO dilakukan dengan variasi frekuensi dari frekuensi 0 sampai dengan 2 rad/s dengan rentang  $\Delta\omega$  adalah 0.05 rad/s. Harga-harga dari gaya percepatan total dan gaya tekanan total di tiap frekuensi disajikan dalam tabel untuk kepentingan kalkulasi RAO. Sehingga didapatkan tabel kalkulasi RAO sebagai berikut :



Gambar 7: Grafik RAO gerakan Heave dengan Eksitasi Gelombang di Arah 90 derajat

Grafik RAO di atas menunjukkan karakteristik gerakan Heave Semisubmersible dengan arah eksitasi gelombang 90 derajat atau gelombang sisi. Dari Grafik di atas dapat terlihat bahwa

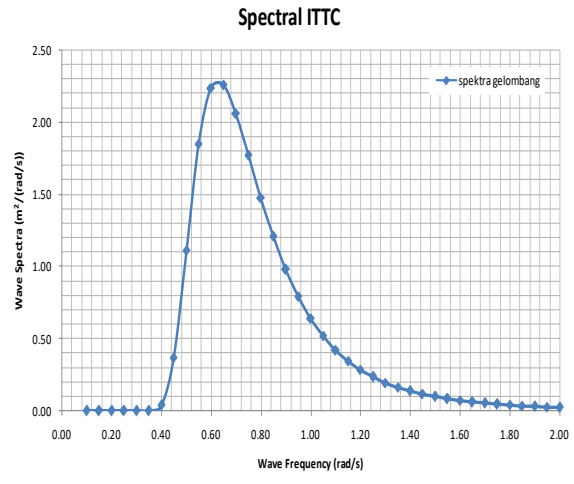
karakteristik gerakan heave terjadi kenaikan gerakan di frekuensi kritis yaitu pada 0.48 rad/s. Dan kemudian turun drastis di frekuensi berikutnya dan berangsur-angsur stabil. Nilai yang ditunjukkan memang cukup besar, karena mempunyai harga puncak sebesar 2.5 m/m.

Selanjutnya nilai RAO yang ada pada tabel 12 akan digunakan untuk kepentingan analisa spektra. Analisa Spektra merupakan representasi dari karakteristik gerakan di atas gelombang acak. Formulasi Spektra yang dipakai adalah Spektra ITTC/ISSC dengan tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) adalah 4 meter. Tabel 13 berikut merupakan tabel ringkasan dari spektra analisis beserta respon spektranya.

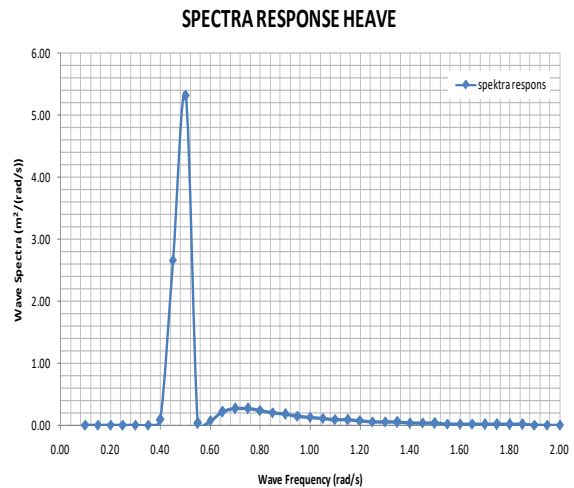
Tabel 13: Kalkulasi RAO

ω (rad/s)	RAO	RAO <sup>2</sup>	Strim (m <sup>2</sup> /rad/s)	Strim <sup>2</sup> (m <sup>4</sup> /rad/s)	Strw <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /s)	Strw <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /s)	Strw <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /s)	Strw <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /s)
0.10	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.15	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.20	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.25	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.30	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.35	0.00035	0.00012	0.00012	0.00012	0.00012	0.00012	0.00012	0.00012
0.40	0.08617	0.00743	0.00743	0.00743	0.00743	0.00743	0.00743	0.00743
0.45	0.36040	0.13000	0.13000	0.13000	0.13000	0.13000	0.13000	0.13000
0.50	1.11254	1.23778	1.23778	1.23778	1.23778	1.23778	1.23778	1.23778
0.55	1.85137	3.42863	3.42863	3.42863	3.42863	3.42863	3.42863	3.42863
0.60	2.23722	5.00718	5.00718	5.00718	5.00718	5.00718	5.00718	5.00718
0.65	2.26126	5.11242	5.11242	5.11242	5.11242	5.11242	5.11242	5.11242
0.70	2.06417	4.26084	4.26084	4.26084	4.26084	4.26084	4.26084	4.26084
0.75	1.77714	3.15847	3.15847	3.15847	3.15847	3.15847	3.15847	3.15847
0.80	1.48006	2.19040	2.19040	2.19040	2.19040	2.19040	2.19040	2.19040
0.85	1.21064	1.46563	1.46563	1.46563	1.46563	1.46563	1.46563	1.46563
0.90	0.98163	0.96350	0.96350	0.96350	0.96350	0.96350	0.96350	0.96350
0.95	0.79353	0.63569	0.63569	0.63569	0.63569	0.63569	0.63569	0.63569
1.00	0.64181	0.41173	0.41173	0.41173	0.41173	0.41173	0.41173	0.41173
1.05	0.52051	0.27093	0.27093	0.27093	0.27093	0.27093	0.27093	0.27093
1.10	0.42384	0.17968	0.17968	0.17968	0.17968	0.17968	0.17968	0.17968
1.15	0.34679	0.12015	0.12015	0.12015	0.12015	0.12015	0.12015	0.12015
1.20	0.28524	0.08110	0.08110	0.08110	0.08110	0.08110	0.08110	0.08110
1.25	0.23588	0.05549	0.05549	0.05549	0.05549	0.05549	0.05549	0.05549
1.30	0.19613	0.03863	0.03863	0.03863	0.03863	0.03863	0.03863	0.03863
1.35	0.16396	0.02681	0.02681	0.02681	0.02681	0.02681	0.02681	0.02681
1.40	0.13779	0.01890	0.01890	0.01890	0.01890	0.01890	0.01890	0.01890
1.45	0.11638	0.01348	0.01348	0.01348	0.01348	0.01348	0.01348	0.01348
1.50	0.09879	0.00976	0.00976	0.00976	0.00976	0.00976	0.00976	0.00976
1.55	0.08424	0.00710	0.00710	0.00710	0.00710	0.00710	0.00710	0.00710
1.60	0.07217	0.00520	0.00520	0.00520	0.00520	0.00520	0.00520	0.00520
1.65	0.06209	0.00385	0.00385	0.00385	0.00385	0.00385	0.00385	0.00385
1.70	0.05364	0.00287	0.00287	0.00287	0.00287	0.00287	0.00287	0.00287
1.75	0.04652	0.00214	0.00214	0.00214	0.00214	0.00214	0.00214	0.00214
1.80	0.04050	0.00163	0.00163	0.00163	0.00163	0.00163	0.00163	0.00163
1.85	0.03538	0.00125	0.00125	0.00125	0.00125	0.00125	0.00125	0.00125
1.90	0.03102	0.00096	0.00096	0.00096	0.00096	0.00096	0.00096	0.00096
1.95	0.02728	0.00074	0.00074	0.00074	0.00074	0.00074	0.00074	0.00074
2.00	0.02407	0.00058	0.00058	0.00058	0.00058	0.00058	0.00058	0.00058
2.05	0.02129	0.00045	0.00045	0.00045	0.00045	0.00045	0.00045	0.00045
2.10	0.01890	0.00035	0.00035	0.00035	0.00035	0.00035	0.00035	0.00035

Nilai  $RAO^2 * \zeta(\omega)$  merupakan fungsi transfer dari harga RAO *heave* menuju harga spektra respon  $\zeta_r$  dimana nantinya luasan di bawah kurva spektra respon merupakan nilai dari  $m_0$ . Gambar 8 berikut merupakan grafik Spektra ITTC/ISSC 1970 pada  $H_s$  4m. Dan Gambar 9 merupakan gambar kurva spektra respon gerakan *heave* pada arah 90 derajat (gelombang sisi).



Gambar 8: Spektra Gelombang ITTC / ISSC dengan tinggi gelombang signifikan = 4 meter



Gambar 9: Respon Spektra gerakan Heave semisubmersible pada arah gelombang 90 derajat

Dari luasan di bawah kurva spektra response tersebut diambil nilai-nilai harga momen, yang selanjutnya diambil harga stokastiknya seperti yang disajikan pada tabel 14.



**Tabel 24:** Nilai harga momen dan harga stokastik di bawah luasan kurva gerakan spektra response

$m_{r0}$ =	0.48	
$m_{r1}$ =	0.29	
$m_{r2}$ =	0.21	
$m_{r4}$ =	0.20	
$Z_s$ =	1.39 m	(Significant Heave Ampl)
$T_0$ =	13.10 secs	(Modal period)
$T_p$ =	7.91 secs	(Peak period)
$T_z$ =	12.02 secs	(Zero up-crossing period)
$\omega_0$ =	0.48 rad/s	(Modal frequency)
$\omega_p$ =	0.79 rad/s	(Peak frequency)
$\omega_z$ =	0.52 rad/s	(Zero up-crossing frequency)
$Z_{av}$ =	0.87 m	(Average Heave Ampl)
$Z_{1/10}$ =	1.77 m	(One-tenth heave ampl)
$Z_{ext}$ =	2.61 m	(Most probable extreme heave ampl)
$Z(\alpha=0.01)$ =	3.36 m	(Extreme heave ampli w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence)

Dari tabel 6-10 dapat terlihat karakteristik gerakan *semisubmersible* di atas gelombang acak. Bahwa nilai signifikan gerakan heave adalah 1.39 m (*single amplitude*). Nilai gerakan ekstrimnya adalah 2.61 meter.

### III. KESIMPULAN

Karakteristik gerakan *Heave Semisubmersible* ini di gelombang reguler cukup baik. Namun perlu di perhatikan pada frekuensi di zona kritis yaitu 0.48 rad/s karena mempunyai lonjakan gerakan yang cukup tajam yaitu dengan nilai RAO 2.7 m/m. Yang ternyata memang itu adalah frekuensi alami dari *semisubmersible*.

Karakteristik gerakan *Heave* dari *semisubmersible* di gelombang acak ternyata cukup baik. Karena letak puncak Spektra gelombang yang cukup jauh dari puncak RAO, tidak terlalu banyak mempengaruhi gerakan. Sehingga gerakan di gelombang acak bisa dibilang stabil. Dengan harga signifikan yaitu 1.39 m dan gerakan ekstrimnya adalah 2.61 m.

### REFERENSI

- [1] Herlambang, T., Nurhadi H and Subchan., 2014. "Preliminary Numerical Study on Designing Navigation and Stability Control Systems for ITS AUV", *Applied Mechanics and Materials*, Trans Tech Publications, Switzerland. Vol. 49, pp. 420-425
- [2] Oktafianto, K., Herlambang T., Mardlijah, Nurhadi H., 2015, "Design of Autonomous Underwater Vehicle Motion Control Using Sliding Mode Control Method", *International Conference on Advance Mechatronics, Intelligent Manufactre,*

*and Industrial Automation (ICAMIMIA)*-IEEE Surabaya Indonesia, 15 – 16 Oktober 2015.

- [3] Herlambang, T., Adrianto, D., Oktafianto, K., Rahmalia, D. 2020. Analisa Karakteristik Struktur Kombinasi Kolom Silinder dan Ponton Kotak Persegi Panjang. *MathVision : Jurnal Matematika*. Vol. 2, No.2, pp. 44-51.
- [4] Djatmiko, E.B., 2012, "Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak", ITS-Press. Surabaya. Inonesia