

Analisa *Greenwater* Akibat Gerakan *Offshore Security Vessel*

Maulidya Octaviani Bustamin, Mas Murtedjo, dan Eko Budi Djatmiko
Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: mas@oe.its.ac.id

Abstrak—Analisa Tugas Akhir ini, terdiri atas beberapa tahapan. Yang pertama yaitu perancangan struktur *Offshore Security Vessel* (OSV) dengan bantuan software MAXSURF guna mendapatkan Lines Plan. Offset data yang diperoleh digunakan dalam pemodelan menggunakan MOSES, kemudian dilakukan analisa gerak OSV dalam gelombang regular dan dinyatakan dalam grafik RAO. Analisa gerak relatif vertikal haluan dihitung dari RAO gerakan, dan kemudian melakukan evaluasi perilaku di gelombang acak dengan analisis spektra gelombang. Dari analisa spektra didapatkan parameter *greenwater* sehingga dapat dihitung peluang, intensitas dan tekanan *greenwater*. Dari hasil analisa diperoleh RAO gerak vertikal *Offshore Security Vessel* (OSV) pada gelombang regular yang dipengaruhi oleh kecepatan, kondisi muatan dan arah gelombang. Peluang terjadinya *greenwater* terbesar terjadi pada sudut datang gelombang following sea (0°) dimana harga terbesar terjadi pada $\omega = 0.2$ rad/sec dengan periode 29 detik mencapai 0.477. Intensitas *greenwater* terbesar terjadi pada saat sudut datang gelombang following sea (0°) adalah sebanyak 59.265 per jam dan 0.378 per detik. Tekanan *greenwater* terbesar terjadi pada saat sudut datang gelombang head sea (180°) sebesar 1678×10^{-6} MPa. Dengan nilai tersebut, deck mampu menahan beban akibat tekanan *greenwater*.

Kata Kunci—*Greenwater*, *Offshore Security Vessel*, RAO.

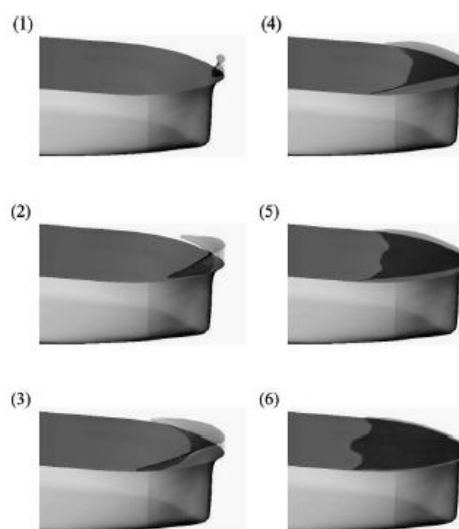
I. PENDAHULUAN

Ketika kapal berlayar di laut, gerakan-gerakan kapal akan timbul karena adanya gelombang yang akan menimbulkan tahanan maupun gaya-gaya yang bekerja pada kapal. Khususnya pada kondisi cuaca yang buruk ataupun gelombang di laut yang besar antara lain akan mengakibatkan masuknya air ke geladak (*greenwater*) dan selanjutnya dapat mengakibatkan rusaknya muatan atau bagian-bagian konstruksi badan kapal. Melalui fenomena tersebut, kenyamanan para penumpang dan awak kapalnya yang ada di atas kapal menjadi berkurang, juga berkurangnya stabilitas kapal sehingga hal ini kemungkinan dapat mengakibatkan kapal tenggelam [1].

Dalam hukum pengapungan, Hukum Archimedes mengatakan bahwa apabila sebuah benda sebagian atau seluruhnya terbenam ke dalam air, maka benda tersebut akan mendapat gaya tekan yang mengarah ke atas yang besarnya sama dengan berat air yang dipindahkan oleh bagian benda yang terbenam tersebut [2].

Greenwater pada kapal disebabkan terutama karena gerak relatif deck, terutama gerak relatif deck haluan pada permukaan gelombang, tetapi juga tergantung pada ketinggian freeboard. Gerak deck relatif adalah regular didalam gelombang yang meningkat teratur dan acak didalam sebuah jalur laut acak. Jika kapan saja gerak deck relatif menjadi negatif, ketika gerakan haluan buritan deck dan gerakan gelombang diukur dari SWL (Still Water Level), *greenwater* masuk ke dalam deck. Peristiwa ini dapat diprediksi jika swell-up dari gelombang baik statik dan dinamik dapat dipertanggungjawabkan sejak modifikasi fenomena aktual freeboard dari kapal. Peluang gerak relatif deck dapat dipertimbangkan berbeda untuk aktual dan efektif freeboard, khususnya pada kecepatan tinggi. Dalam hal ini, semakin besar freeboard yang sebenarnya, semakin kering kapal tersebut [3].

Berikut dibawah ini, visualisasi kejadian aliran *greenwater* pada deck haluan kapal, dimulai ketika saat gelombang masuk hingga saat aliran air ketika terjadinya *greenwater* masuk ke dalam deck haluan kapal. Peristiwa *greenwater* ini terjadi ketika tinggi gelombang laut yang besar melampaui tinggi freeboard kapal sehingga terjadilah peristiwa *greenwater*.



Gambar 1. Visualisasi aliran *greenwater* pada deck kapal [4]

II. METODE PENELITIAN

Metode yang dipakai dalam analisa *greenwater* pada

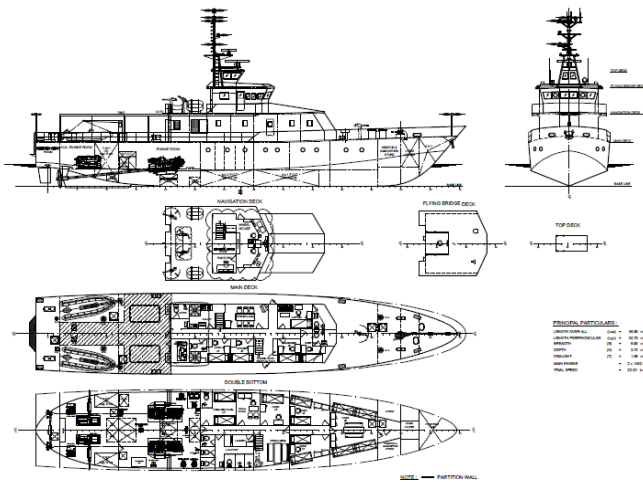
penelitian ini adalah dengan menggunakan metode numeris yang dilakukan untuk analisa gerak kapal. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut

A. Mengumpulkan data teknis dan lingkungan

Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data teknis dan studi literatur. Data teknis yang diperlukan antara lain *General Arrangement Offshore Security Vessel* dan data lingkungan yang meliputi data gelombang yang nantinya akan digunakan sebagai masukan beban lingkungan dalam penelitian ini. Tabel 1 menunjukkan data utama dari *Offshore Security Vessel*

Tabel 1. Data utama Offshore Security Vessel

Parameter	Data	Satuan
Loa	36.5	m
Breadth	6.9	m
Height	3.7	m
Draft	1.85	m
Displacement	176.606	ton
A midship	7.8246	m ²
WPA	183.9673	m ²
WSA	231.8876	m ²



Gambar 2. General Arrangement Offshore Security Vessel [5]

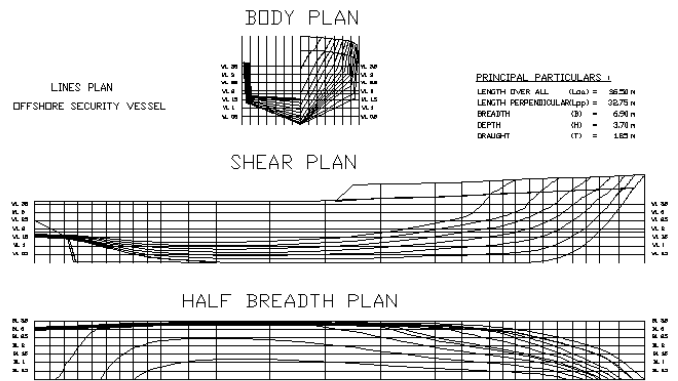
Tabel 2. Data lingkungan

Parameter	Nilai	Satuan
Kedalaman Perairan	120	meter
Tinggi Gelombang Significant (Hs)	2.5 – 4	meter
Periode Gelombang	5.5 – 7	detik
Spektrum Gelombang	Jonswap ($\gamma=2.5$)m	

B. Pemodelan Numeris Offshore Security Vessel

Pertama adalah membuat *Lines plan* berdasarkan pada General Arrangement dengan menggunakan perangkat lunak MAXSURF. Selanjutnya *Lines plan* tersebut dijadikan acuan untuk pemodelan berikutnya. Hasil *Lines plan* ditunjukkan

seperti pada Gambar 3 yang merupakan hasil dari keluaran perangkat lunak MAXSURF.



Gambar 3. Lines plan Offshore Security Vessel

C. Validasi Model Numeris Offshore Security Vessel

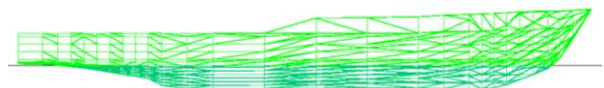
Validasi dilakukan untuk membandingkan data hidrostatik yang telah ada dengan hasil data hidrostatik pada model numeris dari *Offshore Security Vessel*. Toleransi pada validasi ini adalah kurang dari 5%. Pada Tabel 3, menunjukkan hasil validasi model dengan data hidrostatik yang sudah ada. Hasil ini yang akan digunakan untuk pemodelan selanjutnya.

Tabel 3. Validasi model numeris dengan tabel hidrostatik

Parameter	Data	Model	Satuan	Selisih (%)
Breadth	6.9	6.587	m	4.5362
Draft	1.85	1.849	m	0.0541
Displacement	176.606	167.867	ton	4.9483
A midship	7.8246	7.736	m ²	1.1323
WPA	183.9673	177.734	m ²	3.3883
WSA	231.8876	229.508	m ²	1.0262

D. Pemodelan numeris untuk analisa gerakan

Selanjutnya setelah dilakukan validasi model numeris dengan tabel hidrostatik yang telah memenuhi kriteria validasi, maka selanjutnya dilakukan pemodelan numeris untuk analisa gerakan dengan memasukkan data lingkungan yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan hasil pemodelan numeris yang didapatkan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Model numeris untuk analisa gerakan

E. Validasi model numeris untuk analisa gerakan

Sebelum dilakukan analisa gerakan, model numeris di validasi lagi untuk mendapatkan model yang sesuai

Validasi = $\frac{\text{displ keluaran model numeris} - \text{displ data}}{\text{displ data}} \times 100 \%$

$$\begin{aligned} & \text{displ data} \\ & = \frac{174.3 - 176.6}{176.6} \times 100 \% = 1.31 \% < (5\%) \text{ memenuhi} \end{aligned}$$

F. Analisa Gerakan Offshoe Security Vessel

Dengan menggunakan bentuk model geometri di bawah permukaan air, distribusi tekanan potensial pada setiap panel diberikan dengan linearisasi persamaan Bernoulli [6]

$$\rho = -\rho (gz + \delta\phi) \tag{1}$$

- δt
- dengan,
- ρ = massa jenis fluida
- g = percepatan gravitasi
- z = kedalaman
- ϕ = kecepatan potensial

Dengan mengintegrasikan tekanan pada seluruh body, akan didapatkan gaya hidrodinamis pada body. Pada tahap ini dihitung matriks dari added mass damping yang akan melengkapi properti hidrodinamis. Properti hidrodinamis dihitung dengan menggunakan teori difraksi tiga dimensi [7].

Berdasarkan gaya hidrodinamis, linear motion pada enam derajat kebebasan diperkirakan dalam bentuk *Response Amplitude Operator* (RAO). Hal ini dilakukan dengan menggunakan persamaan gerak (2)

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\ddot{\xi}_k + B_{jk}\dot{\xi}_k + C_{jk}\xi_k] = F_j e^{i\omega t}, j=1 \tag{2}$$

- dengan,
- M_{jk} = komponen matriks massa kapal
- A_{jk}, B_{jk} = matriks koefisien massa tambah dan redaman
- C_{jk} = koefisien-koefisien gaya hidrostatis pengembali
- F_j = amplitudo gaya eksitasi dalam besaran kompleks

RAO disajikan dalam bentuk diagram transfer fungsi dengan menyelesaikan terlebih dahulu persamaan gerak di atas pada setiap frekuensi. Bentuk umum dari persamaan RAO dalam fungsi frekuensi dapat dituliskan dalam persamaan (3)

$$\text{RAO}(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \tag{3}$$

- dengan,
- $X_p(\omega)$ = amplitudo struktur
- $\eta(\omega)$ = amplitudo gelombang

Respon yang didapatkan dalam bentuk RAO merupakan respon linear, selanjutnya RAO yang telah diperoleh dapat dikalikan dengan spektrum gelombang sehingga akan didapatkan spektrum respon. Spektrum gelombang yang digunakan adalah JONSWAP. Spektrum gelombang tersebut diformulasikan [7]:

$$S_{\zeta}(\omega) = \alpha g^2 (4)^5 \exp\left\{-1.25(\omega/\omega_0)^4\right\} \gamma^{\exp\left\{\frac{(\omega-\omega_0)^2}{2\tau\omega_0^2}\right\}}$$

- (4)
- dengan,
- γ = parameter ketinggian (*peakness parameter*)
- τ = parameter bentuk (*shape parameter*)
- α = parameter rentang frekuensi

Spektrum respon didefinisikan sebagai respons kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Spektrum respons merupakan perkalian antara spektrum gelombang dengan

RAO kuadrat, secara matematis dalam persamaan (5) [7]:
 $S_r(\omega) = [\text{RAO}(\omega)]^2 S(\omega)$ (5)
 dengan,
 $S_r(\omega)$ = spektrum respon
 $S(\omega)$ = spektrum gelombang

G. Analisa Gerakan Vertikal Haluan

Gerakan vertikal merupakan gerakan di setiap titik sepanjang Bangunan Apung di atas gelombang reguler. Dalam gelombang regular persamaan gerak heaving dan pitching dinyatakan dalam bentuk seperti pada persamaan (6) dan (7) di bawah ini:

$$Z = Z_a \cos(\omega_e t + \epsilon_z) \tag{6}$$

$$\theta = \theta_a \cos(\omega_e t + \epsilon_\theta) \tag{7}$$

- dengan,
- ϵ_z = sudut fase gerakan heaving terhadap gelombang.
- ϵ_θ = sudut fase gerakan pitching terhadap gelombang.
- Sehingga gerakan haluan (Z_b) dapat dituliskan menjadi:

$$Z_b = (Z_b)_a \cos(\omega_e t + \epsilon_b) \tag{8}$$

- dengan,
- Z_b = gerakan relatif gabungan (m)
- $(Z_b)_a$ = amplitudo gerak titik b (m)
- ϵ_b = sudut fase terkait (rad)

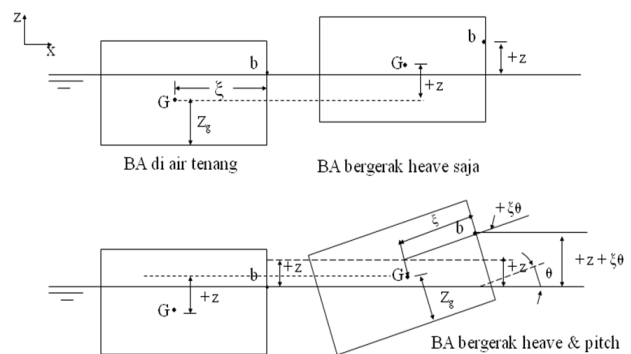
Dimana

$$(Z_b)_a = \sqrt{Z_a^2 + (\xi\theta_a)^2 + 2Z_a\xi\theta_a \cos(\epsilon_z - \epsilon_\theta)} \tag{9}$$

Dan

$$\tan \epsilon_b = \frac{Z_a \sin \epsilon_z + \xi\theta_a \sin \epsilon_\theta}{Z_a \cos \epsilon_z + \xi\theta_a \cos \epsilon_\theta} \tag{10}$$

Untuk lebih jelasnya seperti pada Gambar 5 di bawah ini



Gambar 5. Gerakan Vertikal Bangunan Apung [8]

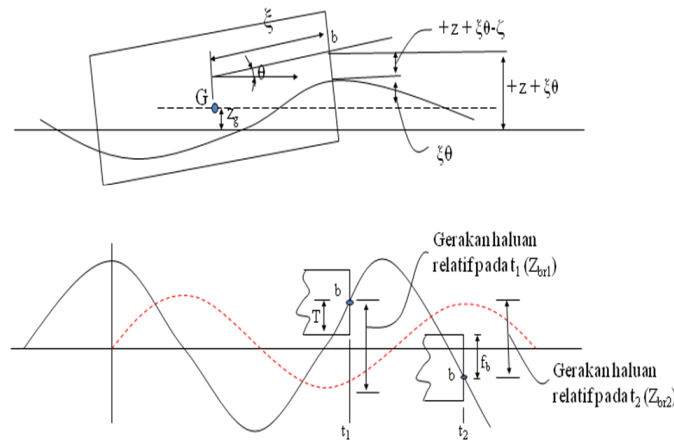
H. Analisa Gerakan Vertikal Haluan Relatif

Penelitian tentang gerak relative haluan adalah salah satu hal yang menarik dalam seakeeping pada kapal dikarenakan dapat diprediksi terjadinya greenwater on deck maupun slamming. Gerakan ini ditentukan dari jarak vertikal antara permukaan gelombang pada satu titik baik pada buritan maupun pada haluan dengan garis air pada area yang sama. Ketika amplitudo dan sudut fase dari gerakan heaving dan pitching diketahui hubungannya dengan permukaan gelombang maka gerak relative haluan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$(Zbr)_a = \sqrt{(Zb)_a^2 + (\zeta a)^2 - 2(Zb)_a \xi \theta_a \cos(\epsilon_z - \epsilon_\theta)} \tag{11}$$

dengan,

- $(Z_{br})_a$ = amplitudo Gerak haluan relatif
- $(Z_b)_a$ = amplitudo gerak titik b
- ζ_a = amplitudo gelombang
- k_e = angka gelombang efektif
- ε_b = Sudut fase gerakan vertikal haluan



Gambar 6. Definisi gerakan haluan relatif (terhadap gelombang) [8].

I. Perhitungan Greenwater

Probabilitas greenwater dihitung dengan menggunakan persamaan seperti pada rumus (12) [3]:

$$P\{s \geq f'(t)\} = e^{-f'(t)^2 / 2m_{0R}} \tag{12}$$

Persamaan (12) dapat diinterpretasikan sebagai berapa kali kapal mengalami greenwater pada saat melaju di atas N siklus gelombang acak yang terjadi dalam operasi selama T jam.

Untuk menghitung intensitas atau jumlah peluang kejadian per jam terjadinya greenwater dapat menggunakan persamaan :

$$N_T = \frac{\text{Peluang Greenwater}}{\text{Periode rata-rata}} \times 3600 = \frac{P_T}{T} \times 3600 \tag{13}$$

dengan,

- N_T = jumlah kejadian greenwater dalam 1 jam
- P_T = peluang kejadian greenwater
- T = periode gelombang (dapat diasumsikan sebagai T_0)

Dan untuk menghitung kejadian greenwater setiap detik dapat menggunakan rumus :

$$N_w = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2m_{0R}}{2m_{2R}}} \times \text{peluang kejadian greenwater} \tag{14}$$

Tekanan yang masuk ke dalam haluan kapal akibat adanya gelombang greenwater yang besar dapat juga diperhitungkan, untuk menghitung besar tekanan dari greenwater yang terjadi dapat menggunakan persamaan [9]:

$$P_{wet} = \frac{F_{wet}}{L_{wet} * B_b} \tag{15}$$

$$F_{wet} = A_{wet} * B_b * 1.025 * a_r \tag{16}$$

dengan,

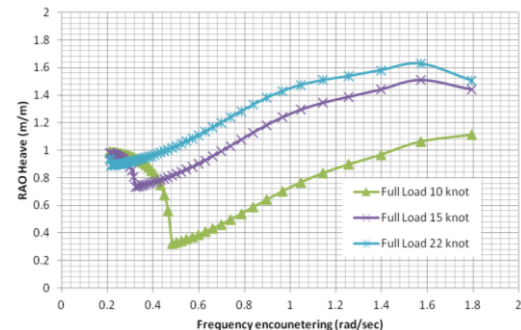
- P_{wet} = tekanan deck (KN/m²)
- F_{wet} = gaya greenwater di atas deck (KN/m²)
- L_{wet} = panjang area deck wetness
- B_b = lebar area deck wetness
- A_{wet} = area deck wetness

a_r = percepatan vertikal relatif

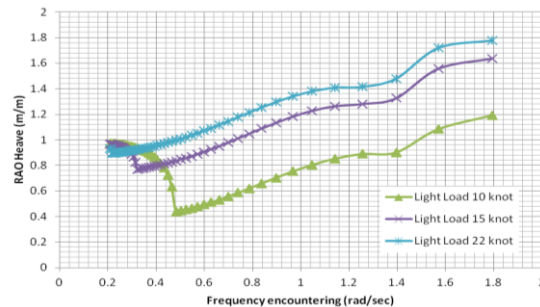
III. HASIL DAN DISKUSI

A. Analisa Respon Gerak di Gelombang Reguler

Analisa respon gerakan *Offshore Security Vessel* dilakukan dengan membandingkan respon gerakan yang terjadi pada beberapa kondisi pembebanan. Analisa respon gerak hanya dilakukan pada dua jenis gerakan yaitu heave dan pitch. Ada empat kondisi pembebanan dalam penelitian ini, kondisi pertama yaitu kondisi *full load* dengan arah gelombang *following sea* (0°). Kondisi kedua yaitu kondisi *full load* dengan arah gelombang *head sea* (180°). Kondisi ketiga yaitu kondisi *light load* dengan arah gelombang *following sea* (0°). Dan kondisi keempat yaitu kondisi *light load* dengan arah gelombang *head sea* (180°). Selain itu kecepatan kapal yang digunakan sebanyak 3 kecepatan, yaitu kecepatan 10, 15, dan 22 knot. Respon gerak heave di gelombang reguler terbesar terjadi pada kondisi pada saat kecepatan kapal 22 knot. Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan grafik *Response Amplitude Operator* (RAO) gerakan *Heave* maksimum dari kondisi arah gelombang *following sea* (0°) dengan kondisi beban penuh dan kosong.



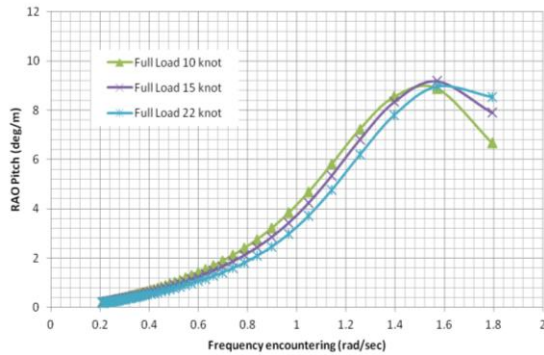
Gambar 7. RAO Heave OSV di gelombang buritan (0°) pada kondisi beban penuh



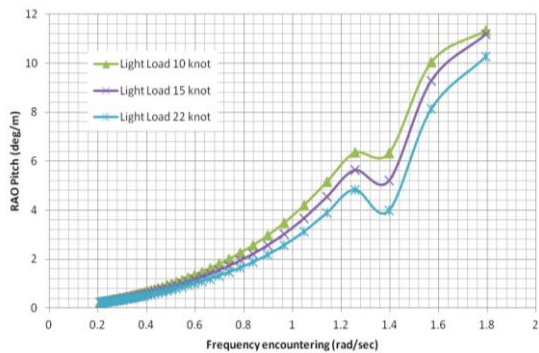
Gambar 8. RAO Heave OSV di gelombang buritan (0°) pada kondisi beban kosong

Dari Gambar 7 di atas pada arah pembebanan 0° nilai gerakan heaving maksimum terjadi pada saat kecepatan kapal 22 knot dengan nilai sebesar 1.628 m/m pada frekuensi 1.5708

rad/sec. Dengan kecepatan yang sama, pada Gambar 8 dengan arah pembebanan 0° heaving maksimum sebesar 1.779 m/m pada frekuensi 1.7952 rad/sec. Sedangkan pada gerakan *Pitch*, respon gerak di gelombang reguler terbesar terjadi pada saat kecepatan kapal 10 knot seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. RAO Pitch OSV di gelombang haluan (180°) pada kondisi beban penuh



Gambar 10. RAO Pitch OSV di gelombang haluan (180°) pada kondisi beban kosong

Dari Gambar 9 dengan arah pembebanan 180° pitching maksimum sebesar 8.878 deg/m pada frekuensi 1.5708 rad/sec saat kecepatan kapal 22 knot. Dengan kecepatan yang sama, pada Gambar 10 dengan arah pembebanan 180° pitching maksimum sebesar 11.326 deg/m pada frekuensi 1.7952 rad/sec.

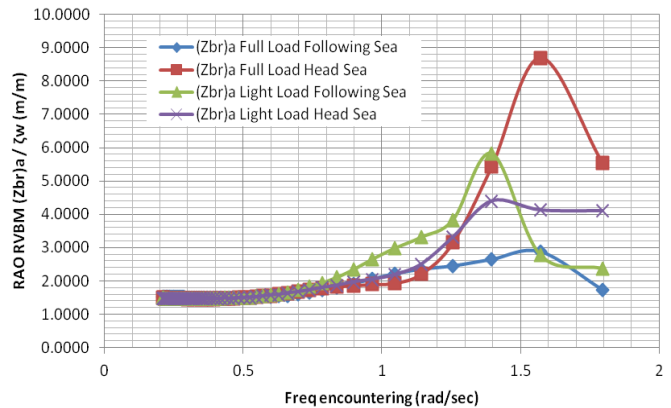
B. Analisa Gerakan Vertikal Haluan Relatif

Gerakan haluan relatif terhadap gelombang disimbolkan dengan Zbr dengan amplitudo gerarakan vertikal haluan relatif yang disimbolkan dengan $(Zbr)a$. Berikut ini adalah grafik pada Gambar 11 menunjukkan hasil analisa gerak relatif haluan terhadap frekuensi, analisa dilakukan untuk *Relative Vertical Bow Motion* (RVBM) pada kecepatan maksimum, yakni 22 knot dengan kondisi muatan penuh dan kosong pada sudut arah datang gelombang 0° dan 180° .

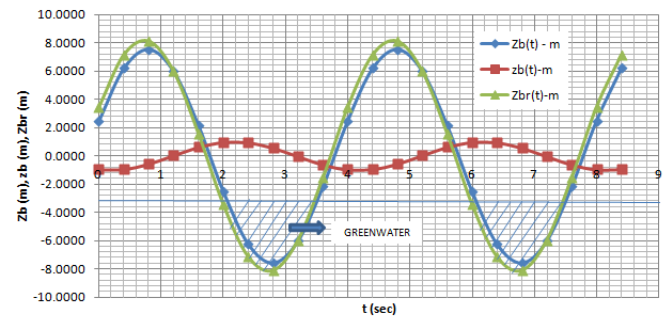
Dengan mengambil titik dari gerakan *Heaving* dan *Pitching* sepanjang Bangunan Apung diatas gelombang reguler, maka greenwater dapat diprediksi. Hasil dari analisa gerakan untuk kondisi ketika OSV di gelombang haluan (180°) ditampilkan seperti pada Gambar 12 dan Gambar 13.

Berdasarkan perhitungan, elevasi full load head sea pada saat $\omega_e = 1.5708$, greenwater terjadi pada saat 2 - 3.2 detik

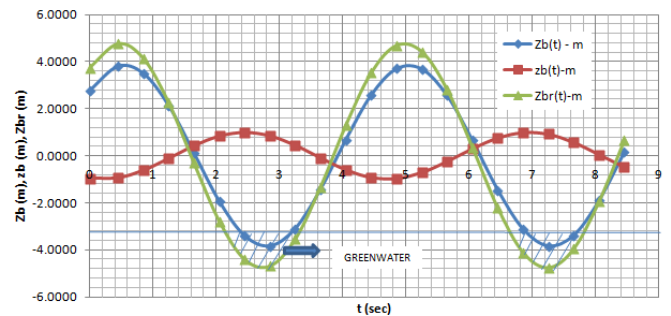
dan 6 - 7.2 detik ketika $(Zbr)a = 8.6922$ m. Kondisi light load head sea saat $\omega_e = 1.3963$, greenwater terjadi pada saat 2.45 - 3.25 detik dan 6.85 - 7.65 detik ketika $(Zbr)a = 4.3983$ m.



Gambar 11. Grafik RAO gerak vertikal haluan relatif 22 knot



Gambar 12. Grafik elevasi vertikal relatif haluan (180°) saat kondisi penuh ($\omega_e = 1.5708$)



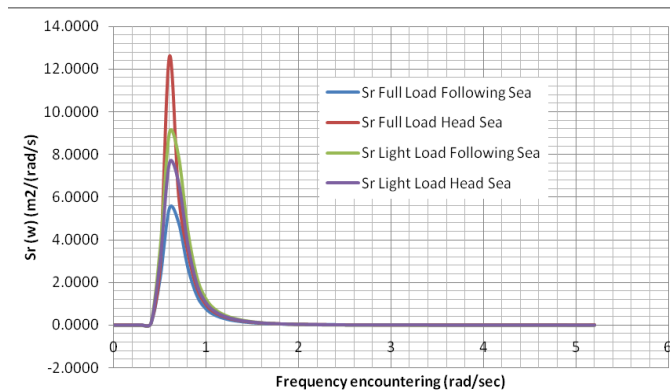
Gambar 13. Grafik elevasi vertikal relatif haluan (180°) saat kondisi kosong ($\omega_e = 1.3963$)

C. Analisa Respon Gerakan di Gelombang Acak

Respon gerak Offshore Security Vessel di atas gelombang acak dilakukan dengan menstransformasikan spektrum gelombang menjadi spektrum respon gerakan. Hal ini dapat dilakukan dengan mengalikan harga pangkat dua dari RAO *Offshore Security Vessel* (OSV) dengan spektrum gelombang. Pada penelitian ini spektrum gelombang yang digunakan adalah spektrum JONSWAP dengan nilai tinggi gelombang significant $H_s = 4$ meter.

Gambar yang ditunjukkan pada Gambar 14 merupakan grafik spektrum gerakan dari keempat kondisi pembebanan

dengan kecepatan yang paling tinggi, yaitu kecepatan pada saat 22 knot.



Dari Gambar 14 di atas pada arah pembebanan 0° nilai respon *Relative Motion* (RM) terbesar terjadi pada kondisi muatan penuh sebesar 5.49 m²/(rad/s) pada frekuensi 0.6 rad/sec. Saat arah pembebanan 180° muatan kosong respon RM terbesar terjadi pada 7.6040 m²/(rad/s). Ketika arah pembebanan 0° nilai respon RM terbesar terjadi pada muatan kosong sebesar 9.0058 m²/(rad/s). Dan saat arah pembebanan 180° nilai respon RM terbesar terjadi pada kondisi muatan penuh sebesar 12.5813 m²/(rad/s) pada frekuensi yang sama.

D. Perhitungan Greenwater

Tabel 4. Perhitungan Greenwater pada saat 180°

P (peluang)	N _r (intensitas/jam)	N _w (intensitas/detik)	F _{wet} (KN/m ²)	P _{wet} (KN/m ²)
1.000	120.000	0.760	0.000	0.000
0.228	27.814	0.359	0.012	0.000
0.477	59.265	0.378	0.091	0.002
0.228	28.790	0.121	0.913	0.016
0.477	61.382	0.190	1.438	0.026
0.228	29.837	0.072	7.007	0.125
0.477	63.655	0.126	7.256	0.129
0.149	20.293	0.034	34.532	0.615
0.386	53.515	0.077	29.434	0.524
0.149	21.089	0.026	94.243	1.678
0.386	55.656	0.061	71.789	1.278
0.149	21.950	0.022	210.135	3.741

Dengan menggunakan rumus persamaan (12) sampai dengan persamaan (16), maka greenwater terbesar dapat dihitung seperti yang terlihat pada Tabel 4 pada saat 180°.

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa peluang, intensitas, dan tekanan terjadi karena gelombang head sea (180°) yang terjadi pada kecepatan maksimum *Offshore Security Vessel* sebesar 22 knot. Peluang mencapai 0.149, intensitas terjadinya greenwater sebesar 21.089/jam atau 0.026/detik, tekanan yang didapatkan sebesar 1.678 KN/m² atau 1678 x 10⁻⁶ MPa yang terjadi ketika frekuensi mencapai 0.9 rad/sec dan periode 25.5 detik.

Dari perhitungan kekuatan deck, pada BKI [10], maka dapat dihitung nilai kekuatan deck akibat greenwater

$$Pd = 0.7 \times Po$$

$$= 0.7 \times 2.324 = 1.680 \text{ KN/m}^2$$

$$= 1680 \times 10^{-6} \text{ MPa}$$

dimana,

Pd = kekuatan pada deck

Berdasarkan hasil di atas, nilai perhitungan kekuatan deck lebih dari 1678 x 10⁻⁶ MPa, dengan hasil ini maka dapat dikatakan deck mampu menahan beban akibat greenwater.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

RAO (*Response Amplitude Operator*) pada gerakan Heave terbesar pada kondisi muatan kosong Following Sea (0°) dan pada gerak Pitch terbesar saat kondisi Head Sea (180°) muatan kosong. Elevasi RAO *Relative Motion* terbesar terjadi pada kondisi Full Load Head Sea (180°) dan respon spektrum terbesar pada kondisi Full Load Head Sea (180°). Tekanan terbesar juga pada sudut datang gelombang 180°. Didapatkan dari hasil perhitungan, deck mampu menahan beban akibat greenwater terbesar pada saat sudut datang gelombang 180° tersebut.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis M. O. B. mengucapkan terima kasih kepada PT.CITRA MAS yang telah berkenan memberikan data-data yang dibutuhkan untuk menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Murtedjo, *Teori Gerak*, Surabaya: Penerbit Fakultas Teknologi Kelautan ITS (1990)
- [2] M. Murtedjo dan Rochani, *Modul Kuliah Teori Bangunan Apung*, Penerbit Jurusan Teknik Kelautan FTK - ITS, Surabaya.
- [3] R. Bhattacharyya, *Dynamics of Marine Vehicles*. New York: John Wileys & Sons (1972).
- [4] Kristian Bendix Nielsen dan Stefan Mayer, "*Numerical prediction of green water incident*," Denmark: Technical University of Denmark, (2004)
- [5] *General Arrangement of Offshore Security Vessel*, PT.Citra Mas. Surabaya (2010).
- [6] Truls Jarand Larsen, "*Modelling of Wave Induced Motion of a SPAR Bouy in MOSES*". Project Thesis Departemen of Marine Hydrodynamic, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norwegia (2002).
- [7] S. K. Chakrabarti, *Hydrodynamics of Offshore Structures*, Bostom: Computational Mechanics Publications Southampton (1978).
- [8] E. B. Djatmiko, *Perilaku Bangunan Apung di Atas gelombang*. Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya (2003).
- [9] E. B. Djatmiko, M. Murdjito, dan Prasetyawan. "*Operability Analysis of an FPSO on the basis of its slamming and green water performances*". belum dipublikasikan.
- [10] *Rules for Classification and Construction of Seagoing Steel Ship*, BKI Volume II. Indonesia (2006).