

Analisa Seakeeping pada Offshore Supply Vessel 56 Meter

Dimas Berifka Brillin., Agoes Santoso, Irfan Syarif Arief
Jurusan Teknik Sistem Prekapalan, Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

Abstrak—Dalam pengoperasian OSV di tengah ketidakpastian tinggi gelombang laut, perlu dilakukan analisa seakeeping. Untuk mengerucutkan masalah pada tugas akhir ini, analisa yang dilakukan hanya pada kondisi gelombang laut (*sea state*) skala 3 dan kecepatan angin beufort skala 4 dengan tujuan untuk memperoleh hasil dari RAO maksimum dan minimum yang bisa menyebabkan OSV mengalami *capsizing* pada gerakan *heave*, *pitch*, dan *roll*. Dari data – data yang diperoleh, akan didapatkan hasil RAO maksimum pada frekuensi *encounter* dan sudut hadap sebesar 0.993 rad/s dan 90° (*heave*), 0.981 rad/s dan 45° (*pitch*), serta 0.806 rad/s dan 90° (*roll*) dengan variasi kecepatan. Sedangkan untuk hasil RAO minimum semua gerakan pada kecepatan, sudut hadap, dan frekuensi *encounter* sebesar 7 knots, 135°, dan 0.985 rad/s serta 0.996 rad/s; 10 knots, 135°, dan 1.058 rad/s serta 1.071 rad/s; 10 knots, 135°, dan 1.12 rad/s, 1.134 rad/s, 1.148 rad/s.

Kata Kunci: *Seakeeping*, OSV, *Sea State*, Beufort, RAO

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan berbagai jenis kapal yang begitu tinggi memacu bangsa Indonesia untuk membangun kapal, salah satunya adalah OSV (*Offshore Supply Vessel*). Makin banyaknya *oil rig* dan dibangunnya bangunan lepas pantai di tengah laut, dibutuhkan kapal yang bisa menampung hasil pengeboran secara maksimal dan mendistribusikannya secara tepat dan lancar. Namun, untuk mencapai tujuan tersebut OSV akan mengalami beberapa kendala tentang ketidakpastian kondisi lingkungan sekitar gelombang laut yang bisa menjadi baik ketika cuaca baik atau gelombang laut yang besar ketika cuaca memburuk hingga munculnya badai.

Ketika beroperasi, OSV akan menghadapi gelombang air laut dan arah yang tidak menentu dan pada saat itulah OSV akan memberikan respons berupa olah gerak pada tiap enam derajat kebebasan (*heaving*, *yawing*, *surgings*, *rolling*, *swaying*, dan *pitching*)

Bila pengoperasian OSV direncanakan dengan baik dalam menghadapi arah dan besar gelombang air laut, olah gerak kapal akan dapat diatur dengan sedemikian rupa agar mendapatkan nilai respon seminimal mungkin. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisa agar dalam pengopersian tersebut dapat dijalankan dengan aman.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Hal terpenting dalam menganalisa kondisi transportasi bangunan laut atau bangunan apung adalah dengan mengetahui kondisi lingkungan dimana alat transportasi akan beroperasi. Data – data yang menggambarkan kondisi lingkungan sebenarnya sangat

perlu untuk diketahui sebelum menentukan apakah alat transportasi ini layak beroperasi atau tidak. [5]

Data terukur atau data penyusun model seharusnya dianalisa secara statistik agar dapat memberikan gambaran dari kondisi lingkungan normal yang ekstrim seperti di bawah ini:

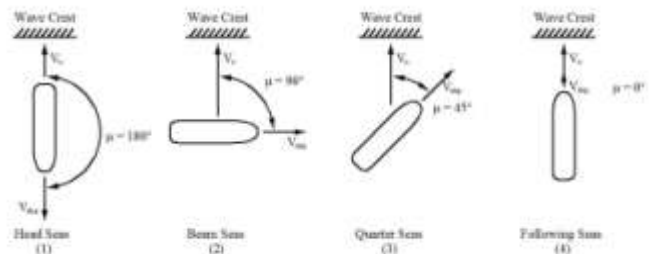
1. Kondisi lingkungan normal (kondisi yang diharapkan terjadi secara teratur selama masa operasi struktur) sangat penting bagi kekuatan konstruksi terlebih pada saat operasi.
2. Kondisi ekstrim (kondisi yang munculnya sangat jarang terjadi selama operasi struktur) sangat penting untuk merumuskan desain bahan pada struktur. [5]

Pengetahuan akan cuaca yang cocok dibutuhkan dalam memastikan keamanan struktur selama transportasi. [5]

Sea state dimana kapal beroperasi sudah ditetapkan. Kebutuhannya mungkin akan spesifik mengingat kapal akan beroperasi pada rute tertentu dan pada musim tertentu dalam satu tahunnya. Statistik gelombang di laut bisa dipergunakan untuk menentukan batasan tinggi gelombang, periode, dan arah yang mungkin akan dihadapi untuk beberapa waktu tertentu. [5]

Hal ini merupakan cara untuk menentukan berapa hari dalam setahun kapal tersebut mengalami kondisi gelombang tertentu dan itu dapat diwakili dengan spektrum gelombang yang mendekati, misal dengan mengadopsi formulasi yang disarankan ITTC. [5]

Sudut hadap merupakan besar sudut yang dibentuk oleh arah gerak kapal dengan arah gerak gelombang. Pengertian ini ditunjukkan pada gambar 2.4.1 Dari penjelasan ini dapat diartikan bahwa akan banyak sekali macam sudut hadap yang bisa dibentuk oleh tongkang terhadap arah gerak gelombang.



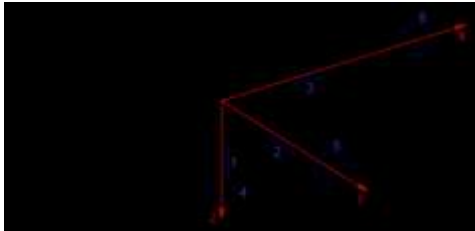
Gambar 2.4.1 *Heading Angle*

Namun, cukup empat jenis sudut hadap saja yang diambil sebagai contoh dalam analisa karena mampu menggambarkan gerakan tongkang yang ekstrim [5]. Keempat jenis sudut hadap itu antara lain:

1. *Head Seas*, arah gerak tongkang dan arah gerak gelombang membentuk sudut 180°.

2. *Beam Seas*, arah gerak tongkang dan arah gerak gelombang membentuk sudut 90°.
3. *Quartering Seas*, arah gerak tongkang dan arah gelombang membentuk sudut 45°.
4. *Following Seas*, arah gerak tongkang dan arah gerak gelombang membentuk sudut 0° [1]

Solusi pada enam derajat kebebasan dalam kondisi gelombang yang tak tentu (*irregular*) sangat dibutuhkan dalam analisa. Dari kesemuanya, hanya tiga gerakan kapal yang mengalami gaya pengembali, yaitu *heave*, *pitch*, dan *roll*. Ketiga jenis gerakan ini sering dijadikan acuan dalam berbagai perhitungan kondisi keamanan pada proses transportasi kapal. [5]



Gambar 2.5.1 Enam derajat kebebasan [4]

Ada empat faktor yang mempengaruhi nilai dari respon kapal [5]:

1. Tingkat keparahan dari kondisi laut yang digambarkan dengan tinggi gelombang signifikan, frekuensi terjadinya dan durasi dari masing - masing kondisi laut pada keparahan yang berbeda.
2. Bentuk spektrum gelombang untuk masing – masing kondisi laut.
3. Sudut masuk kapal terhadap gelombang pada kondisi laut tertentu.
4. Kecepatan kapal untuk sudut masuk kapal dan kondisi laut tertentu.

Gerakan *rolling* sebagian besar merupakan fungsi dari tinggi metasenter. Kapal dengan nilai GM besar (misal 2 meter atau lebih) akan mempunyai periode *rolling* yang pendek dengan percepatan yang tinggi dan tidak nyaman, kapal nilai GM (misal dibawah 2 meter) akan lebih nyaman dengan percepatan yang rendah namun dengan amplitudo *rolling* yang lebih besar. [5]

Teori linier menunjukkan bahwa sudut *roll* yang besar dapat terjadi ketika frekuensi *encounter* gelombang yang bekerja secara beamseas ($\mu = 90^\circ$) mempunyai nilai yang berdekatan dengan frekuensi *roll* natural kapal. [5]

Perubahan ini bergantung pada variasi pada tinggi metasenter efektif. Ketika kapal berada pada kondisi *following sea* ($\mu = 0^\circ$), variasi metasenter merupakan periode yang lama. Terutama pada kapal yang memiliki *stern transom* datar akan kehilangan stabilitas dan amplitudo pengembali *roll* akan menjadi sangat besar. [5]

Pada *heaving*, gaya ke bawah akibat dari berat kapal membuat kapal tercelup air lebih dalam dan kembali ke awal hingga diperoleh kesetimbangan kapal. Karena gaya *buoyancy* lebih besar akibat kapal tercelup, kapal akan bergerak secara vertikal ke atas, ketika posisi kapal telah setimbang lantas

berhenti akan tetapi tetap naik dikarenakan ada pengaruh momentum. Selanjutnya kejadiannya akan berulang. [5]

Pada kondisi *heaving* ini, kapal hanya bergerak secara vertikal dalam satu arah, yaitu translasi saja.

Berikut adalah persamaan umum dari *heaving* [2]:

$$(M + A_{33})\ddot{\eta}_3 + B_{33}\dot{\eta}_3 + C_{33}\eta_3 + A_{35}\ddot{\eta}_5 + B_{35}\dot{\eta}_5 + C_{35}\eta_5 = F_3 e^{i\omega_e t} \dots (1)$$

Dalam berbagai analisa perhitungan gerakan benda apung mengalami gerakan *angular* seperti benda apung yang mengalami gerakan *rolling* atau *pitching*, maka perhitungan dan analisa terhadap besarnya gaya momen memegang peranan yang lebih penting dibandingkan dengan perhitungan besarnya gaya itu sendiri. [5]

Berikut persamaan umum dari *pitching* [2]:

$$(I_5 + A_{55})\ddot{\eta}_5 + B_{55}\dot{\eta}_5 + C_{55}\eta_5 + A_{53}\ddot{\eta}_3 + B_{53}\dot{\eta}_3 + C_{53}\eta_3 = F_5 e^{i\omega_e t} \dots (2)$$

Dalam prakteknya, kapal tidak mempunyai waktu untuk merespon pada kondisi ini, dan resultan amplitudo *pitch* akan menjadi sudut statis yang dikalikan dengan faktor pengali terhadap rasio frekuensi dari gelombang, kapal, dan sejumlah *damping* yang bekerja ini adalah kurva pengali standar yang dipergunakan dalam studi getaran. Diasumsikan bahwa *damping* dan periode natural kapal diketahui, amplitudo *pitching* dapat diperoleh dari studi gambar dimana kapal dapat bertahan pada berbagai jenis titik di sepanjang profil gelombang. [5 dan 2]

$$P = C_{33} - (m + A_{33})\omega_e^2 + iB_{33}\omega_e \dots (3)$$

$$Q = C_{35} - A_{35}\omega_e^2 + iB_{35}\omega_e \dots (4)$$

$$R = C_{53} - A_{53}\omega_e^2 + iB_{53}\omega_e \dots (5)$$

$$S = C_{55} - (I_{55} + A_{55})\omega_e^2 + iB_{55}\omega_e \dots (6)$$

$$\text{heave response, } Z_3 = \frac{F_5 Q - F_3 S}{QR - PS} = Z_{30} e^{i\epsilon_3} \dots (7)$$

$$\text{pitch response, } Z_5 = \frac{F_5 Q - F_3 S}{QR - PS} = Z_{50} e^{i\epsilon_5} \dots (8)$$

Persamaan dibawah menunjukkan korelasi serta pengaruh sudut hadap dan kecepatan kapal terhadap besarnya simpangan getaran (*heave*, *pitch*, dan *roll*):

$$1. \text{ Frekuensi Encounter, } \omega_e = \omega \left(1 - \frac{\omega}{g} V \cos \mu\right) \dots (9)$$

$$2. \text{ Frekuensi Gelombang, } \omega = \sqrt{\frac{2\pi g}{\lambda}} \dots (10)$$

Persamaan untuk *rolling* pada kondisi air laut tenang dimodifikasi dari persamaannya. Hal ini bisa diperoleh dengan memperhitungkan gaya tekan hidrodinamis yang beraksi pada masing – masing elemen pada badan kapal secara menyeluruh pada permukaan badan kapal yang basah. [5]

Resultan gaya yang bekerja pada partikel permukaan badan kapal harus tegak lurus dengan permukaan gelombang. Adanya panjang gelombang adalah membandingkan dengan lebar kapal, hal ini sangat beralasan jika kita asumsikan sebuah kapal diposisikan pada sebuah resultan gaya normal terhadap “permukaan gelombang efektif” yang diambil sebagai penjumlahan dari seluruh sub permukaan yang bekerja terhadap kapal. [5]

Berikut persamaan umum dari *rolling*:

$$(I_4 + A_{44})\ddot{\eta}_4 + B_{44}\dot{\eta}_4 + C_{44}\eta_4 = F_4 e^{i\omega_e t} \dots (11)$$

Untuk menyelesaikan persamaan di atas bisa diselesaikan dengan rumusan berikut [2]:

$$\eta_4 = \frac{F_4}{\sqrt{(C_{44} - (I_4 + A_{44})\omega_g^2)^2 + B^2\omega_g^2}} \cos(\omega_g t + \varepsilon) \dots (12)$$

Dimana ε adalah fase jeda relatif terhadap fungsi gaya:

$$\tan \varepsilon = \frac{B\omega_g}{C_{44} - (I_4 + A_{44})\omega_g^2} \dots (13)$$

Persamaan berikut berhubungan dengan rasio damping:

1 . koefisien non-dimensional damping:

$$\beta_{44} = \frac{B}{2\sqrt{C_{44}(I_4 + A_{44})}} \dots (14)$$

2 . frekuensi natural dari system

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{C_{44}}{I_4 + A_{44}}} \dots (15)$$

3 . faktor tuning

$$\lambda = \frac{\omega_g}{\omega_0} \dots (16)$$

Fungsi pemindahan roll atau fungsi respon diasumsikan sebagai berikut:

$$RAO_{Roll} = \frac{\eta_4 C_{44}}{F_4} = \frac{1}{\sqrt{(1 - \lambda^2)^2 + 4\beta_{44}^2 \lambda^2}} \dots (17)$$

RAO yang mendapat pengaruh sudut hadap dari gelombang air laut dirumuskan sebagai berikut:

$$RAO_{Roll}(\mu) = RAO_{Roll} \sin(\mu) \dots (18)$$

Parameter yang diperlukan pada rumusan di atas adalah:

$$I_4 = k_{xx} \nabla \rho \dots (19)$$

$$k_{xx} = 0.4 B \text{ (menurut ITTC)} \dots (21)$$

$$A_{44} = 0.3 I_4 \dots (22)$$

$$C_{44} = GM_T \nabla \rho \dots (23)$$

Formulasi dari spektrum Pierson Moskowitz adalah sebagai berikut:

$$S(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp\left(\frac{-B}{\omega^4}\right) \dots (24)$$

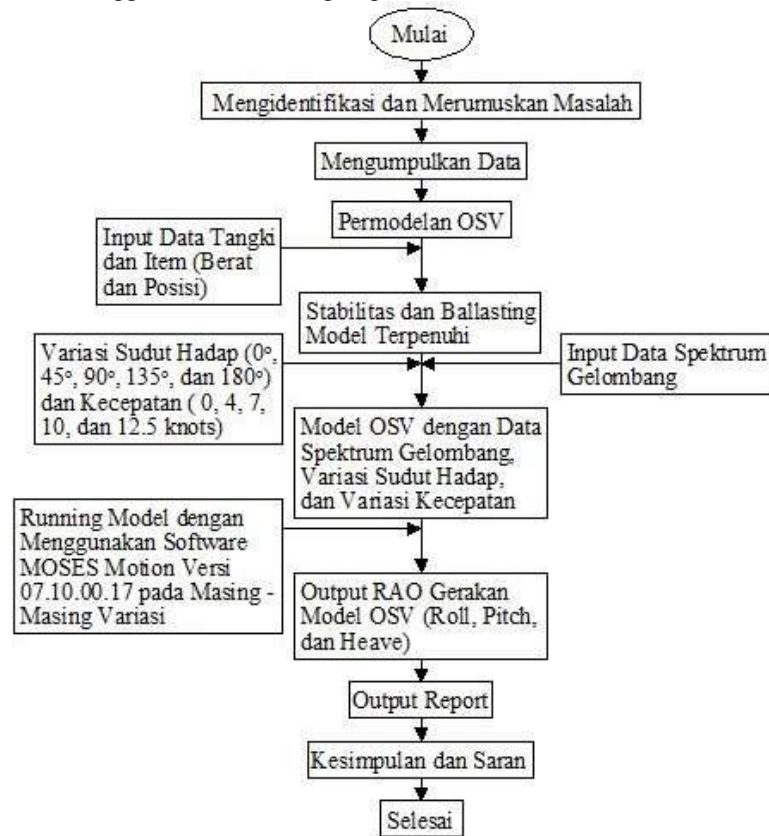
$$\omega = \text{frekuensi gelombang angular} = \frac{2\pi}{T} \dots (25)$$

$$A = 8.11 \times 10^{-3} g^2 \dots (26)$$

$$B = 0.74 g^4 / U_{wind}^4 \dots (27)$$

III. METODOLOGI

Untuk menyelesaikan permasalahan dalam skripsi ini, maka penulis menggunakan metodologi seperti dibawah ini :



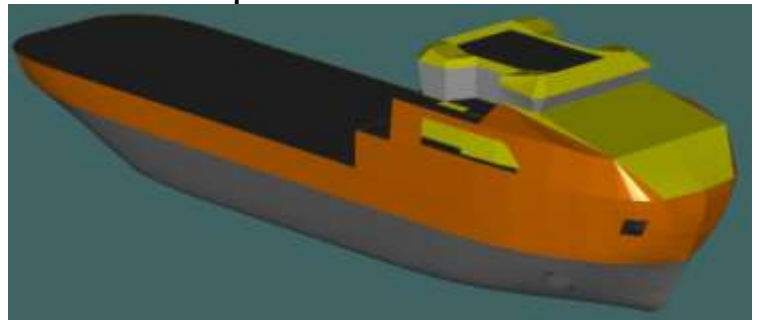
Gambar 3. Flowchart pengerjaan tugas akhir

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Kapal

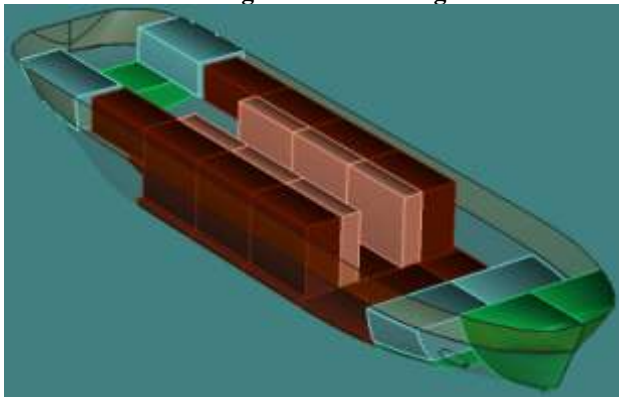
LOA	= 56.3 m
LWL	= 54.68 m
LPP	= 52.35 m
B	= 14 m
H	= 6.25 m
T	= 4 m
Displacement	= 2201.6 tons
Vmax	= 12.5 knots

4.2. Permodelan Kapal



Gambar 4.2.9 OSV 56 m in perspective

4.2. Permodelan Tangki dan Ballasting



Gambar 4.5.1.4 Peletakan tangki 3D

OSV yang telah dimodelkan akan diberikan input data berat dari keseluruhan tangki. Porsi muatan keseluruhan sebisanya harus dibagi secara merata ke masing – masing tangki. Hal tersebut akan menyebabkan terjadinya perubahan sarat rata – rata, berat *displacement*, posisi pusat gravitasi, sudut *roll*, dan sudut *pitch*.

Tabel.4.5.1.1.1 Kondisi sebelum *ballasting*

Data	Nilai	Satuan
<i>Displacement</i>	1950	Ton
Sudut <i>Roll</i>	0.9	°
Sudut <i>Pitch</i>	0.3895	°
Sarat <i>Amidship</i>	3.643	m

Tabel di atas menunjukkan bahwa besar sudut *roll* setelah tangki diberi muatan adalah sebesar 0.9° yang berarti terjadinya kemiringan secara transversal ke arah *starboard*. Sehingga dapat dikatakan bahwa sisi kapal bagian *starboard* lebih banyak tercelup dalam air. Kondisi kapal dengan sudut *roll* seperti itu akan mempengaruhi stabilitas kapal saat beroperasi.

Dengan tujuan agar kondisi OSV memenuhi persyaratan sebelum melakukan operasi, maka perlu dilakukan *ballasting*. *Ballasting* ini dilakukan secara *try dan error* dari segi prosentase volume tangki *ballast*, namun tetap pada dasar logika stabilitas. Dari usaha tersebut, hasil yang diperoleh dijelaskan gambar 4.5.1.2.1, tabel 4.5.1.2.1, dan tabel 4.5.1.2.2.

Tabel 4.5.1.2.1 Kondisi tangki *ballast*

Name	Quantity
BWT1-SB	25.80%
BWT1-PS	25.80%
FPBWT-SB	44.10%
FPBWT-PS	44.10%
APBWT-SB	52.56%
APBWT-PS	82.56%

Tabel 4.5.1.2.2 Kondisi sesudah *ballasting*

Data	Nilai	Satuan
<i>Displacement</i>	2059	Ton
Sudut <i>Roll</i>	0	°
Sudut <i>Pitch</i>	0	°
Sarat <i>Amidship</i>	3.816	m

Dengan munculnya *output* pada *ballast* yang berbeda dengan kondisi sebelum *ballast*, terbukti bahwa pengaturan volume air pada tangki *ballast* sangat menentukan kondisi hidrostatik dari kapal terutama pada *heel* dan *trim*.

4.3. Kondisi Lingkungan

Jenis gelombang yang dipergunakan adalah Pierson Moskowitz. Dengan tinggi gelombang *significant* ($H_{1/3}$) 1.066 m, maka gelombang ini termasuk dalam kategori *moderate breeze* yang dideskripsikan tabel 4.5.2.1 untuk kondisi gelombang air laut dan tabel 4.5.2.2 untuk kondisi angin yang menyebabkan terjadinya gelombang air tersebut.

Tabel 4.5.2.1 Kondisi *sea state* skala 3

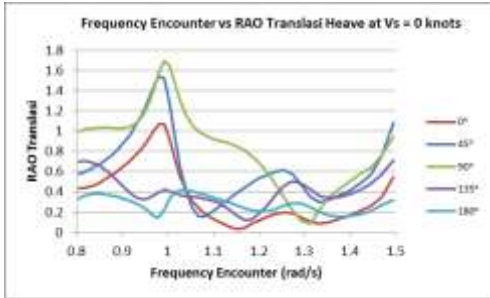
<i>Description</i>	<i>Small wave, becoming larger, fairly frequent white horses</i>	
<i>Height Wave Average</i>	2	<i>feet</i>
<i>Height Wave Significant</i>	3.3	<i>feet</i>
<i>Average 1/10 Highest</i>	1.00585223	m
<i>Significant range of</i>	4.2	feet
<i>Period of Maximum</i>	1.5 - 7.8	<i>seconds</i>
<i>Average Period</i>	5.6	<i>seconds</i>
<i>Average Wave Length</i>	4	<i>seconds</i>
<i>Maximum Fetch</i>	56	m
	40	nmi

Tabel 4.5.2.2 Kondisi beaufort skala 4

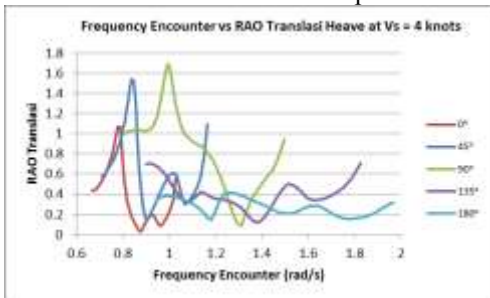
<i>Wind velocity</i>	14	knots
<i>Velocity Range</i>	11 - 16	knots
<i>Description</i>	<i>Moderate Breeze</i>	

Langkah berikutnya setelah mengetahui jenis gelombang yang digunakan dalam analisa perhitungan adalah menentukan bentuk spektrum gelombang. Spektrum gelombang merupakan representasi dari jumlah energi gelombang yang terjadi pada masing – masing variasi frekuensi gelombang. Bentuk dari spektrum gelombang sangat bervariasi, tergantung pada tinggi gelombang, periode yang dibutuhkan, dan kecepatan angin.

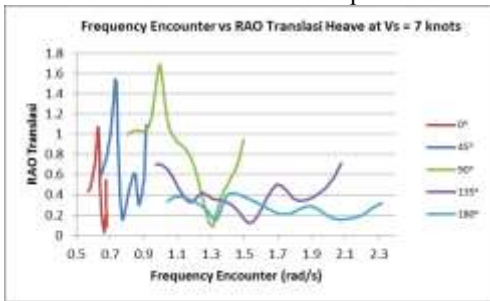
4.4. Analisa Heaving Maksimum



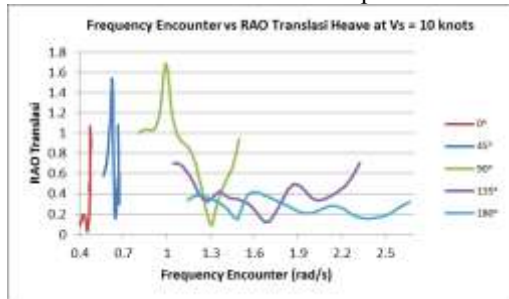
Gambar 4.5.4.1.1 Grafik RAO translasi *heaving* vs frekuensi *encounter* variasi kecepatan 0 knot



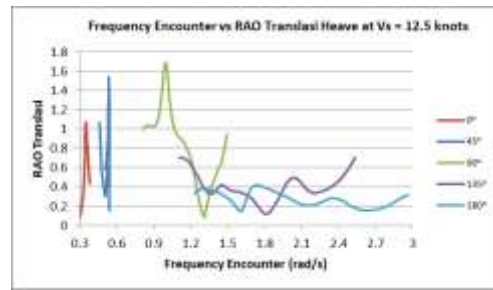
Gambar 4.5.4.1.2 Grafik RAO translasi *heaving* vs frekuensi *encounter* variasi kecepatan 4 knots



Gambar 4.5.4.1.3 Grafik RAO translasi *heaving* vs frekuensi *encounter* variasi kecepatan 7 knots



Gambar 4.5.4.1.4 Grafik RAO translasi *heaving* vs frekuensi *encounter* variasi kecepatan 10 knots

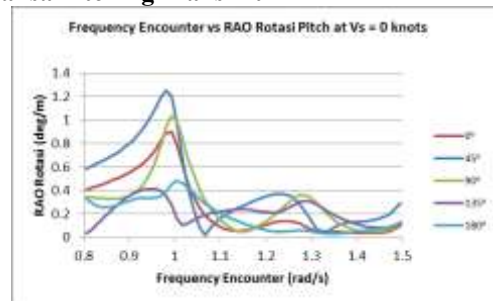


Gambar 4.5.4.1.5 Grafik RAO translasi *heaving* vs frekuensi *encounter* variasi kecepatan 12.5 knots

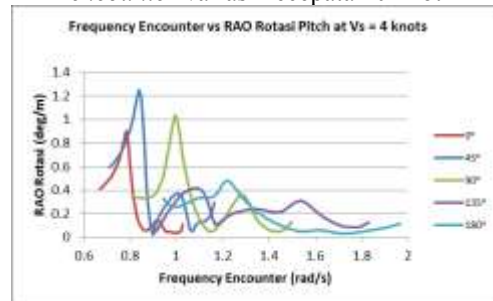
Kecepatan (knots)	Sudut Hadap (°)	Frekuensi <i>Encounter</i> (rad/s)	RAO Translasi <i>Heaving</i>
0	90	0.993	1.697
4	90	0.993	1.697
7	90	0.993	1.697
10	90	0.993	1.697
12.5	90	0.993	1.697

Dari kelima kondisi *heaving* pada masing – masing kecepatan dapat dilihat bahwa kelima variasi kecepatan menunjukkan RAO translasi *heaving* terbesar terjadi saat kapal mengalami *beam seas* (sudut hadap sebesar 90°) di semua variasi kecepatan.

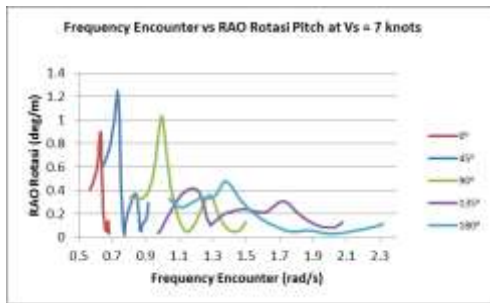
4.5. Analisa Pitching Maksimum



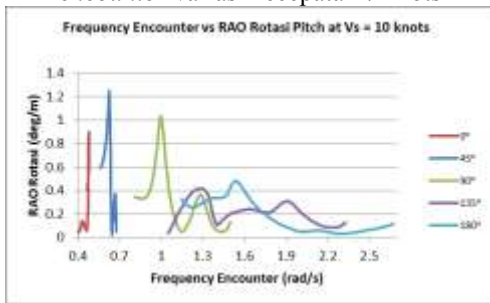
Gambar 4.5.4.2.1 Grafik RAO rotasi *pitching* vs frekuensi *encounter* variasi kecepatan 0 knot



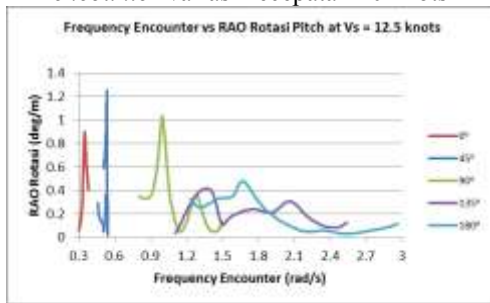
Gambar 4.5.4.2.2 Grafik RAO rotasi *pitching* vs frekuensi *encounter* variasi kecepatan 4 knots



Gambar 4.5.4.2.3 Grafik RAO rotasi *pitching* vs frekuensi *encounter* variasi kecepatan 7 knots



Gambar 4.5.4.2.4 Grafik RAO rotasi *pitching* vs frekuensi *encounter* variasi kecepatan 10 knots

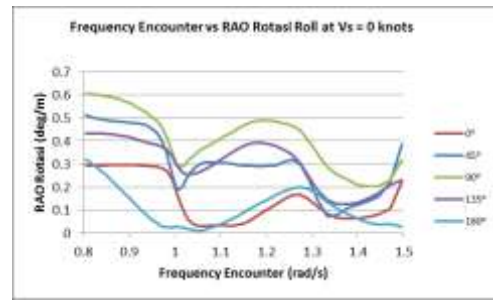


Gambar 4.5.4.2.5 Grafik RAO rotasi *pitching* vs frekuensi *encounter* variasi kecepatan 12.5 knots

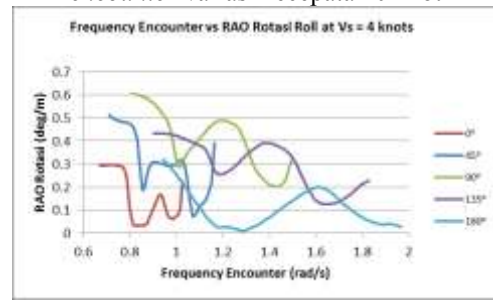
Tabel 4.5.4.2.1 Rekap perbandingan RAO rotasi *pitching*

Kecepatan (knots)	Sudut Hadap (°)	Frekuensi <i>Encounter</i> (rad/s)	RAO Rotasi <i>Pitching</i> (°/m)
0	45	0.981	1.254
4	45	0.838	1.254
7	45	0.731	1.254
10	45	0.624	1.254
12.5	45	0.535	1.254

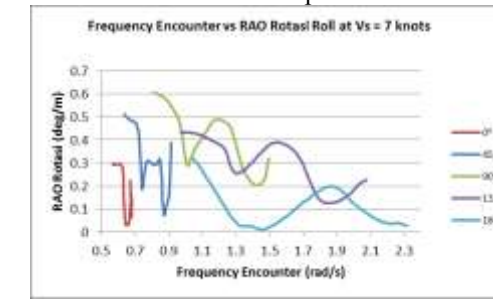
Dari kelima kondisi *pitching* pada masing – masing kecepatan dapat dilihat bahwa kelima variasi kecepatan menunjukkan RAO rotasi *pitching* terbesar terjadi saat kapal mengalami *stern quarter seas* (sudut hadap sebesar 45°) di semua variasi kecepatan.



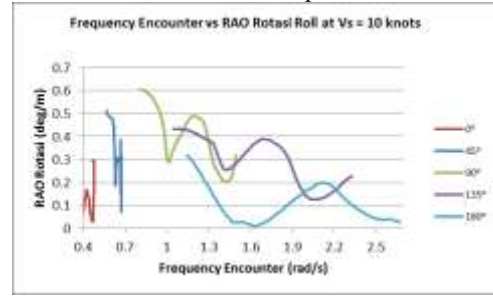
Gambar 4.5.4.3.1 Grafik RAO rotasi *rolling* vs frekuensi *encounter* variasi kecepatan 0 knot



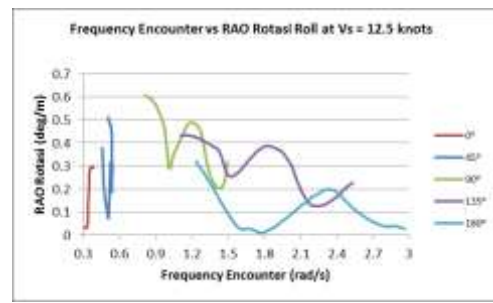
Gambar 4.5.4.3.2 Grafik RAO rotasi *rolling* vs frekuensi *encounter* variasi kecepatan 4 knots



Gambar 4.5.4.3.3 Grafik RAO rotasi *rolling* vs frekuensi *encounter* variasi kecepatan 7 knots



Gambar 4.5.4.3.4 Grafik RAO rotasi *rolling* vs frekuensi *encounter* variasi kecepatan 10 knots



4.6. Analisa Rolling Maksimum

Gambar 4.5.4.3.5 Grafik RAO rotasi *rolling* vs frekuensi *encounter* variasi kecepatan 12.5 knots

Tabel 4.5.4.3.1 Rekap perbandingan RAO rotasi *rolling*

Kecepatan (knots)	Sudut Hadap (°)	Frekuensi <i>Encounter</i> (rad/s)	RAO Rotasi <i>Rolling</i> (°/m)
0	90	0.806	0.606
4	90	0.806	0.606
7	90	0.806	0.606
10	90	0.806	0.606
12.5	90	0.806	0.606

Dari kelima kondisi *pitching* pada masing – masing kecepatan dapat dilihat bahwa kelima variasi kecepatan menunjukkan RAO rotasi *rolling* terbesar terjadi saat kapal mengalami *beam seas* (sudut hadap sebesar 90°) di semua variasi kecepatan.

Tabel 4.5.4.1 Rekap RAO translasi/rotasi maksimum *heave, pitch, dan roll*

Jenis Gerakan	Kecepatan (knots)	Sudut Hadap (°)	Frekuensi <i>Encounter</i> (rad/s)	RAO Translasi / Rotasi
<i>Heaving</i>	0, 4, 7, 10, 12.5	90	0.993	1.697
<i>Pitching</i>	0, 4, 7, 10, 12.5	45	0.981, 0.838, 0.731, 0.624, 0.535	1.254
<i>Rolling</i>	0, 4, 7, 10, 12.5	90	0.806	0.606

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

1. Kondisi ekstrim OSV saat RAO *heaving* terjadi adalah saat sudut hadap kapal terhadap gelombang sebesar 90° (*beam seas*) di kelima variasi kecepatan, frekuensi *encounter* sebesar 0.993 rad/s. Kemudian kondisi ekstrim OSV saat RAO *pitching* terjadi adalah pada saat sudut hadap kapal terhadap gelombang sebesar 45° (*quarter stern seas*) di kelima variasi kecepatan, frekuensi *encounter* masing – masing sebesar 0.981, 0.838, 0.731, 0.624, dan 0.535 rad/s. Sedangkan kondisi ekstrim OSV saat RAO *rolling* terjadi adalah pada saat sudut hadap kapal terhadap gelombang sebesar 90° (*quarter stern seas*) di kelima variasi kecepatan, frekuensi *encounter* sebesar 0.806 rad/s.
2. Kondisi teraman kapal untuk beroperasi adalah pada kecepatan 7 knots, sudut hadap 135° (*quarter bow seas*), dan frekuensi *encounter* sebesar 0.985 dan 0.996 rad/s. OSV ini juga akan aman dalam beroperasi pada kecepatan 10 knots, sudut hadap 135° (*quarter bow seas*), dan frekuensi *encounter* sebesar 1.058 dan 1.071 rad/s. Begitu pula dengan kecepatan 10 knots, sudut hadap 135° (*quarter bow seas*), dan frekuensi *encounter* sebesar 1.12, 1.134, dan 1.148 rad/s

B. Saran

1. Penulis harus menyadari bahwa parameter dalam redraw gambar bukan hanya *displacement* saja.
2. Analisa akan menjadi lebih komplis jika dibandingkan dengan menghitung secara manual.
3. Saat mengoperasikan kapal sebisa mungkin harus menghindari kondisi ekstrim dari RAO *heaving, pitching, dan rolling*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis ucapkan kepada kedua orang tua yang selalu memberikan semangat, doa, dan dukungan baik moril maupun materiil. Kepada bapak Agoes Santoso yang telah membantu menyediakan data – data tugas akhir ini dan pak Indra yang telah membantu kemudahan penggunaan software di lab MMD. Ucapan terimakasih juga ditujukan kepada Bapak Dr. Ir. A.A. Masroeri, M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan yang telah memberikan manajemen yang baik sehingga penelitian ini dapat diselsesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bhattacharaya, R. 1978. **Dynamics of Marine Vehicle**. New York: John Willey & Son
- [2] Bentley Systems. 2014. **Maxsurf Motions Program & User Manual**
- [3] <https://io.wikipedia.org/wiki/Amplitudo>
- [4] <http://www.3dmetrologyworld.net/six-degrees-of-freedom/>
- [5] Imansyah, Nuril. 2009. **Analisa Seakeeping Tongkang pengangkut Perlengkapan Bangunan Lepas Pantai pada Seastate Tiga**. Surabaya