



TUGAS AKHIR - MN141581

**ANALISIS PENGIKATAN DAN GERAKAN PADA DOK
APUNG AKIBAT GAYA LUAR DENGAN VARIASI DESAIN
PENGIKATAN DI PERAIRAN DANGKAL TERBUKA**

AHMAD CHARIZZAKA
NRP. 4112 100 049

Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.
Teguh Putranto, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



FINAL PROJECT - MN141581

**MOORING AND MOTIONS ANALYSIS OF FLOATING
DOCK DUE TO EXTERNAL FORCE WITH DESIGN
VARIATIONS IN OPEN SHALLOW WATERS**

AHMAD CHARIZZAKA
NRP. 4112 100 049

Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M. Sc. Ph.D.
Teguh Putranto, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institut of Technology
Surabaya
2016

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS PENGIKATAN DAN GERAKAN PADA DOK APUNG
AKIBAT GAYA LUAR DENGAN VARIASI DESAIN PENGIKATAN
DI PERAIRAN DANGKAL TERBUKA

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Hidrodonamika Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

AHMAD CHARIZZAKA
N.R.P 4112100049

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

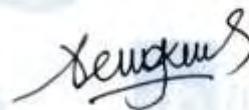
Dosen Pembimbing I



Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc, Ph.D.
NIP. 19670406 199203 1 001



Dosen Pembimbing II



Teguh Putranto, ST, MT.
NIP. 19900513 201 404 1 001

SURABAYA, JULI 2016

LEMBAR REVISI

ANALISIS PENGIKATAN DAN GERAKAN PADA DOK APUNG AKIBAT GAYA LUAR DENGAN VARIASI DESAIN PENGIKATAN DI PERAIRAN DANGKAL TERBUKA

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan– Hidrodinamika Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

AHMAD CHARIZZAKA
N.R.P 4112100049

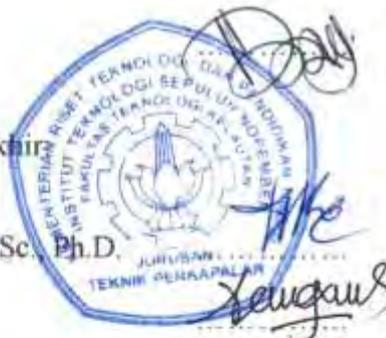
Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T.
2. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.
2. Teguh Putranto, S.T., M.T.



SURABAYA, JULI 2016

ANALISIS PENGIKATAN DAN GERAKAN PADA DOK APUNG AKIBAT GAYA LUAR DENGAN VARIASI DESAIN PENGIKATAN DI PERAIRAN DANGKAL TERBUKA

Nama : Ahmad Charizzaka
NRP : 4112 100 049
Jurusan / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc. Ph. D.
2. Teguh Putranto, S.T., M.T.

ABSTRAK

Perkembangan maritim tidak lepas dari kapal sebagai sarana transportasi. Hal itu menyebabkan kebutuhan akan dok sebagai tempat pembuatan dan reparasi kapal semakin meningkat. Semakin mahalnya harga lahan dan berbagai kelebihan yang ditawarkan membuat dok apung kian diminati sebagai solusi. Dok apung sendiri sebagai suatu struktur apung tidak lepas dari pengaruh gaya luar seperti gelombang, angin, dan arus. Tugas akhir ini bermaksud untuk melakukan analisis terhadap respon gerakan dok apung akibat gaya luar, tegangan yang terjadi pada rantai pengikatan, serta tingkat kenyamanan dari dok apung itu sendiri. Analisa dilakukan dengan pemodelan secara numerik menggunakan perangkat lunak Maxsurf dan Ansys Aqwa. Pada penelitian ini, dilakukan percobaan terhadap 3 kondisi dok apung yakni saat kosong, saat kapal naik dok, dan saat kondisi balas penuh, serta dengan 3 variasi sudut datang gelombang yakni 0° , 45° dan 90° . Juga divariasikan konfigurasi pengikatan dok apung yakni menyilang dan menyebar. Setelah dilakukan analisis disimpulkan bahwa nilai tegangan rantai pada kondisi kosong dan kapal naik dok berada di bawah batas *breaking load*, sedangkan pada kondisi balas penuh tegangan yang terjadi melebihi batas *breaking load* baik pada desain pengikatan menyebar maupun pengikatan menyilang. Pengikatan menyilang memiliki nilai tegangan maksimum yang lebih besar dibandingkan dengan pengikatan menyebar. Tingkat ketidaknyamanan (*Motion Sickness Incidence*) gerakan dok apung adalah *not uncomfortable* atau dapat dikatakan nyaman dengan percepatan *heave* 0.208 m/s^2 . Serta gerakan dok apung yang masih memenuhi kriteria dari biro klasifikasi.

Kata Kunci: Dok Apung, *Motion Sickness Incidence*, Respon Gerakan, Konfigurasi Pengikatan, Tegangan Rantai Pengikatan.

MOORING AND MOTIONS ANALYSIS OF FLOATING DOCK DUE TO EXTERNAL FORCE WITH DESIGN VARIATIONS IN OPEN SHALLOW WATERS

Name : Ahmad Charizzaka
NRP : 4112 100 049
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : 1. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc.Ph.D.
2. Teguh Putranto, S.T., M.T.

ABSTRACT

Maritime development can not be separated from the ships as a means of transportation. That caused the need for the dock as the place of manufacture and ship repair is increasing. Increasingly high price of land and the various advantages offered to make floating dock increasingly popular as a solution. Floating dock itself as a floating structure can not be separated from the influence of external forces such as waves, winds and currents. This final project intends to conduct an analysis of movement responses floating dock due to external forces, the tension that occurs in the binding chains, and the comfort level of the floating dock itself. The Analysis was done by using a numerical modeling software Ansys Aqwa and Maxsurf. In this study, conducted experiments on three conditions of floating dock which is empty condition, ship-docked, and full-ballst condition as well as with third variation of the angle of attack 0° , 45° and 90° . Also varied configuration of the floating dock mooring layout crosswise and spread. After analysis, it was concluded that the chain tension in a empty dock condition and docked ship condition below the limit breaking load, whereas in full-ballast conditions the mooring tension beyond the limit breaking load both on the spread mooring and cross mooring design. Cross desaign have a maximum tesion value greater than the spread mooring. The level of discomfort (Motion Sickness Incidence) movement floating dock is not uncomfortable or can be said to be comfortable with a heave acceleration of $0,208 \text{ m/s}^2$. As well as the movement of floating dock that still meets the criteria of classification bureau.

Keywords: Floating Dock, Motion Sickness Incidence, Response Motions, Mooring Configuration, Mooring Tension.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Perumusan Masalah	2
I.3. Batasan Masalah	2
I.4. Tujuan	2
I.6. Hipotesis	3
BAB II STUDI LITERATUR.....	5
II.1 Gambaran Umum Dok Apung.....	5
II.2 Dasar Teori.....	6
II.2.1 Kondisi Lingkungan Laut	6
II.2.2 Gerak pada Kapal.....	7
II.2.2.1 Response Gerakan pada Gelombang Reguler.....	8
II.2.2.2 Response Gerakan pada Gelombang Irreguler	9
II.2.3 Spektrum Gelombang	9
II.2.4 Pengikatan pada dok apung	10
II.2.5 Tegangan Rantai pengikatan.....	12
II.2.7 3D Diffraction Theory	12
II.2.8 Penggunaan Perangkat Lunak CFD	13
II.2.9 Grid Indepence.....	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	17
III.1 Diagram Alir.....	17
III.2 Studi Literatur.....	18

III.2.1. Tegangan pada Sistem Pengikatan Dok Apung	18
III.2.2. Beban Lingkungan.....	18
III.2.4. Ansys Aqwa.....	19
III.2.5 Validasi RAO dengan Perangkat Lunak Maxsurf	19
III.3 Pengumpulan Data.....	19
III.4 Pemodelan Numerik	21
III.5 Independence Mesh	26
III.6 Analisis <i>Wave Direction</i> dan Frekuensi	26
III.7 Perhitungan RAO	27
III.8 Perhitungan Spektrum Gelombang.....	27
III.9 Perhitungan Numerik Gerakan Dok Apung dengan Ansys Aqwa	28
III.9.1 Sistem Tambat Dok Apung	28
III.9.2 Perhitungan Tegangan Rantai Tambat	29
III.9.3 Kenyamanan	30
III.10 Kesimpulan.....	31
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	33
IV.1 Hasil Pemodelan Numerik Menggunakan Ansys Aqwa	33
IV.2 <i>Independence Meshing</i>	34
IV.4 RAO Dok Apung.....	36
IV.5 Respon Gerakan Dok Apung.....	50
IV.6 Tegangan pada Rantai Pengikatan	60
IV.7 Kenyamanan (<i>Motion Sickness Incidence</i>).....	67
BAB V VALIDASI.....	71
V.1 Proses validasi dengan menggunakan Maxsurf.....	71
V.2 Hasil Validasi RAO Aqwa dengan RAO pada Maxsurf	71
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	75
VI.1 Kesimpulan.....	75
VI.2 Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA.....	xv
LAMPIRAN A	xvi
A.1 Tabel Hasil Penghitungan RAO (<i>Response Amplitude Operator</i>) Sarat Kosong	xvi
A.2 Tabel Hasil Penghitungan RAO (<i>Response Amplitude Operator</i>) Sarat Kapal Docking	xvii

A.3 Tabel Hasil Penghitungan RAO (<i>Response Amplitude Operator</i>) Sarat Balas Penuh	.xix
LAMPIRAN B.....	xxii
B.1 Grafik Gerakan maksimum Konfigurasi Menyalang	xxii
B.2 Grafik Tension Maksimum Konfigurasi Menyebar (90°)	xxiii
B.4 Grafik Tension Maksimum Konfigurasi Menyalang (90°)	xxiv
BIODATA PENULIS.....	xxv

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Persamaan RAO msing-masing gerakan	8
Tabel III.1 Data Ukran Utama Dok Apung.....	19
Tabel IV.1 Pemilihan <i>Meshing</i> yang paling optimum.....	35
Tabel IV.2 Respon gerakan maksimum dok apung kosong (sudut 0 ⁰)	51
Tabel IV.3 Respon gerakan maksimum dok apung kosong (sudut 45 ⁰)	51
Tabel IV.4 Respon gerakan maksimum dok apung kosong (sudut 90 ⁰)	51
Tabel IV.5 Respon gerakan maksimum dok apung saat kapal <i>docking</i> (sudut 0 ⁰)	52
Tabel IV.6 Respon gerakan maksimum dok apung saat kapal <i>docking</i> (sudut 45 ⁰)	53
Tabel IV.7 Respon gerakan maksimum dok apung saat kapal <i>docking</i> (sudut 90 ⁰)	53
Tabel IV.8 Respon gerakan maksimum dok apung kondisi balas penuh (sudut 0 ⁰).....	54
Tabel IV.9 Respon gerakan maksimum dok apung kondisi balas penuh (sudut 45 ⁰).....	54
Tabel IV.10 Respon gerakan maksimum dok apung kondisi balas penuh (sudut 90 ⁰).....	54
Tabel IV.11 Respon gerakan maksimum dok apung kosong (sudut hadap 0 ⁰).....	55
Tabel IV.12 Respon gerakan maksimum dok apung kosong (sudut hadap 45 ⁰).....	56
Tabel IV.13 Respon gerakan maksimum dok apung kosong (sudut hadap 90 ⁰).....	56
Tabel IV.14 Respon gerakan maksimum dok apung saat kapal naik dok (sudut hadap 0 ⁰) ...	57
Tabel IV.15 Respon gerakan maksimum dok apung saat kapal naik dok (sudut hadap 45 ⁰) .	57
Tabel IV.16 Respon gerakan maksimum dok apung saat kapal naik dok (sudut hadap 90 ⁰) .	57
Tabel IV.17 Respon gerakan maksimum dok apung balas penuh (sudut hadap 0 ⁰)	58
Tabel IV.18 Respon gerakan maksimum dok apung balas penuh (sudut hadap 45 ⁰)	58
Tabel IV.19 Respon gerakan maksimum dok apung balas penuh (sudut hadap 90 ⁰)	59
Tabel IV.20 Perbandingan gerakan maksimum dengan standar DNV.....	60
Tabel IV.21 Nilai maksimum tegangan rantai saat sarat kosong	61
Tabel IV.22 Nilai maksimum tegangan rantai saat kapal naik dok.....	62
Tabel IV.23 Nilai maksimum tegangan rantai saat kondisi balas penuh.....	62
Tabel IV.24 Nilai maksimum tegangan rantai saat sarat kosong (<i>cross</i>)	63
Tabel IV.25 Nilai maksimum tegangan rantai saat kapal naik dok (<i>cross</i>).....	64
Tabel IV.26 Nilai maksimum tegangan rantai saat sarat balas penuh (<i>cross</i>).....	64
Tabel IV.27 Rekapitulasi tegangan maksimum rantai pada tiga kondisi dok apung.....	66
Tabel IV.28 Tegangan maksimum (<i>cross</i>) ketika kedalaman menjadi 15 m dan 20 m	67
Tabel IV.31 Percepatan maksimum gerakan dok apung pada kondisi kosong	68
Tabel IV.32 Percepatan maksuimum gerakan dok apung pada saat kapal naik dok.....	68
Tabel IV.33 Percepatan gerakan dok apung pada kondisi balas penuh.....	69
Tabel IV.34 Tingkat keamanan berdasarkan ISO 2631.....	70
Tabel V.1 Koordinat RAO untuk Maxsurf.....	72
Tabel V.2 Koordinat RAO untuk Ansys Aqwa	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Gelombang reguler jenis sinusoidal	7
Gambar II.2 <i>Catenary Mooring</i>	11
Gambar III.1 Diagram alir pengerjaan tugas akhir	18
Gambar III.2 Rencana Umum Dok Apung	20
Gambar III.3 <i>Batimetri</i> Dok Apung	20
Gambar III.4 Pembuatan Model dengan Perangkat Lunak Maxsurf	21
Gambar III.5 Pengaturan sarat kapal naik dok	22
Gambar III.6 Hasil akhir proses geometri	23
Gambar III.7 Pengaturan titik berat dok apung	23
Gambar III.8 Pengaturan sudut datang gelombang	27
Gambar III.9 Analisis RAO pada Ansys Aqwa	27
Gambar III.10 Konfigurasi tambat menyebar (<i>spread</i>) pada dok apung	28
Gambar III.11 Konfigurasi tambat menyilang (<i>cross</i>) pada dok apung	29
Gambar III.12 Adanya gaya dari lingkungan pada dok apung	29
Gambar IV.1 Hasil pemodelan pada Ansys Aqwa	34
Gambar IV.2 Hasil simulasi dok apung menggunakan perangkat lunak Ansys Aqwa	34
Gambar IV.3 Grafik perbandingan <i>yaw</i> dengan perbedaan ukuran <i>mesh</i>	35
Gambar IV.4 RAO gerakan <i>surge</i> untuk sarat kosong	36
Gambar IV.5 RAO gerakan <i>surge</i> untuk sarat saat kapal naik dok	37
Gambar IV.6 RAO gerakan <i>surge</i> untuk sarat balas penuh	38
Gambar IV.7 RAO gerakan <i>sway</i> untuk sarat kosong	39
Gambar IV.8 RAO gerakan <i>sway</i> untuk sarat saat kapal naik dok	40
Gambar IV.9 RAO gerakan <i>sway</i> untuk sarat balas penuh	41
Gambar IV.10 RAO gerakan <i>heave</i> untuk sarat kosong	42
Gambar IV.11 RAO gerakan <i>heave</i> untuk sarat saat kapal naik dok	42
Gambar IV.12 RAO gerakan <i>heave</i> untuk sarat saat kondisi balas penuh	43
Gambar IV.13 RAO gerakan <i>roll</i> untuk sarat kosong	44
Gambar IV.14 RAO gerakan <i>roll</i> untuk sarat saat kapal naik dok	45
Gambar IV.15 RAO gerakan <i>roll</i> untuk sarat saat balas penuh	45
Gambar IV.16 RAO gerakan <i>pitch</i> untuk sarat kosong	46
Gambar IV.17 RAO gerakan <i>pitch</i> untuk sarat saat kapal naik dok	47
Gambar IV.18 RAO gerakan <i>pitch</i> untuk sarat saat kapal balas penuh	47
Gambar IV.19 RAO gerakan <i>yaw</i> untuk sarat kosong	48
Gambar IV.20 RAO gerakan <i>yaw</i> saat kapal naik dok	49
Gambar IV.21 RAO gerakan <i>yaw</i> saat balas penuh	49
Gambar V.1 Perbandingan RAO <i>heave</i> antara Ansys Aqwa dengan Maxsurf	73
Gambar V.2 Perbandingan RAO <i>pitch</i> antara Ansys Aqwa dengan Maxsurf	73
Gambar V.3 RAO <i>Roll</i> antara Ansys Aqwa dan Maxsurf	74

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Perkembangan maritim tidak lepas dari kapal sebagai sarana transportasi. Di Indonesia sebagai salah satu negara maritim banyak terdapat galangan, baik besar maupun kecil sebagai penyedia jasa pembuatan kapal atau reparasi kapal. Terdapat beberapa teknik yang digunakan oleh jasa galangan kapal untuk pembuatan dan peluncuran kapal seperti *graving dock* atau *sliding*. Akan tetapi semakin mahalnya harga lahan di darat menjadi hambatan tersendiri bagi perkembangan industri galangan kapal dengan kedua metode tersebut. Selain itu sulitnya mencari lahan tanah dengan karakteristik yang cocok untuk pembuatan *graving dock* juga menjadi kendala bagi galangan untuk mengembangkan fasilitas pembuatan atau reparasi kapal. Oleh karena itu dok apung menjadi pilihan untuk dikembangkan oleh perusahaan jasa di bidang perkapalan.

Dok apung sendiri sebagai suatu struktur apung tidak lepas dari pengaruh gaya luar seperti gelombang, angin, dan arus. Gaya gaya luar tersebut tentu akan berpengaruh pada dok apung dan membuatnya mengalami gerakan dalam 6 derajat kebebasan. Maka untuk menjaga struktur tetap pada posisinya dibutuhkan sistem pengikatan atau yang biasa disebut dengan tambat. Tali tambat yang digunakan umumnya berupa rantai (*chain*) dan terkadang dikombinasikan dengan kabel *polyester*. Pemilihan sistem tambat didasari pada kemudahan instalasi, kebutuhan tambat dan juga biaya.

Gaya yang bekerja pada dok apung sangat berpengaruh terhadap rantai tambat. Gaya-gaya ini akan menjadi beban-beban mengakibatkan rantai tambat mengalami tegangan atau disebut *tension*. Sehingga, diperlukan suatu analisis terhadap pengaruh gerakan yang timbul akibat gaya luar dari dok apung terhadap tegangan yang terjadi pada rantai pengikatannya serta membandingkannya dengan batas kekuatan rantai tambat tersebut.

Selain tegangan pada rantai pengikat, gerakan pada dok apung juga dapat mengakibatkan ketidaknyamanan pada orang yang berada di atasnya. Hal ini dapat berpengaruh pada orang yang bekerja di atasnya. Sehingga perlu dilakukan pula perhitungan tingkat ketidaknyamanan pada suatu dok apung.

Dalam pemasangannya, konfigurasi rantai tambat pada dok apung memiliki beberapa variasi. Diantaranya *spread straight layout* (lurus) dan *cross layout* (menyilang). Sehingga

diperlukan pula adanya analisis perbandingan pada masing-masing jenis desain layout untuk memilih desain yang lebih sesuai untuk digunakan.

I.2. Perumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang di atas permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah sebagaimana yang terdapat pada poin-poin di bawah ini:

- Berapa beban yang diterima oleh rantai pengikat dok apung akibat gaya luar dari lingkungan?
- Bagaimana perbandingan beban pada tali tambat antara desain layout lurus dan menyilang?

I.3. Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah yang ada dalam tugas akhir ini adalah :

- Obyek yang dilakukan analisis tambat dan *motions* berupa *floating dock*;
- Gaya yang berpengaruh pada obyek berupa eksternal *forces* (beban gelombang, beban arus dan beban angin) yang masing-masing diasumsikan konstan selama pengoperasian;
- Obyek ditempatkan pada daerah perairan dangkal dengan kondisi terbuka;
- Analisis *motions* dilakukan saat dok apung ditambatkan;
- Konfigurasi tambat dengan variasi sistem penambatan *spread* dan *cross*;
- Analisis tambat *tensions* dilakukan pada kondisi ULS yaitu kondisi dimana tambat *line* terpasang secara utuh;
- *Perangkat lunak* yang digunakan untuk menganalisis tambat maupun *motions* adalah Ansys Aqwa 16.0

I.4. Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Mengetahui beban yang diterima oleh rantai dok apung akibat gaya luar dari lingkungan
- Mengetahui perbandingan beban pada tali tambat antara desain layout lurus dan menyilang

I.5. Manfaat

Dari tugas akhir ini, diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut :

- a. Secara akademis, diharapkan dari hasil pengerjaan tugas akhir ini dapat diketahui pengaruh kondisi lingkungan berupa arus, angin, dan gelombang terhadap gerak dan penambatan dok apung.
- b. Secara praktis, diharapkan hasil dari tugas akhir ini dapat berguna sebagai pertimbangan dalam mendesain sistem tambat pada dok apung/ *floating structure*

I.6. Hipotesis

Hipotesis dari tugas akhir ini adalah:

- Adanya gerakan respon pada dok apung yang ditambatkan akibat kondisi lingkungan yang menghasilkan beban pada rantai pengikatnya
- Perbandingan anatara desain layout pada pengikatan dok apung akan menunjukkan adanya perbedaan pada beban yang diterima oleh pengikat jika menggunakan desain layout yang berbeda

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

STUDI LITERATUR

II.1 Gambaran Umum Dok Apung

Dok apung adalah suatu konstruksi yang terdiri dari satu atau beberapa kompartemen kedap air pada sisi-sisinya dan terbuka pada kedua ujungnya. Dok apung dapat ditenggelamkan ke dalam air dengan cara mengisi kompartemen yang ada dengan air sehingga kapal dapat keluar masuk area dok apung tersebut. Kapal akan memasuki area tersebut saat dok apung tenggelam dan akan terangkat ketika dok apung naik ke permukaan dengan cara memompa air di dalam kompartemen ke luar. Pada umumnya dok apung dibuat dengan konstruksi baja. Dok apung dapat dipindahkan dari satu tempat ke tempat lain dengan cara ditarik menggunakan *tugboat*. Sarat dari dok apung juga dapat diatur sesuai kebutuhan dengan mengatur volume air yang ada di dalam kompartemen. Oleh karena itu system pontoon merupakan ciri khas dari dok apung.

Ukuran dari dok apung sendiri bervariasi mulai dari ukuran kecil dengan kapasitas ratusan ton sampai yang berukuran besar dengan kapasitas ribuan ton. Jika dibandingkan dengan pembuatan *graving dock*, pembuatan dok apung cenderung lebih ekonomis meskipun dalam pengoperasian dan perawatannya dok apung menggunakan biaya yang lebih tinggi.

Terdapat dua jenis konstruksi dari dok apung, yaitu:

1. Jenis *Box Dock*, Yaitu sebuah konstruksi pontoon yang tidak terpisah-pisah menjadi beberapa bagian sampai kedua sisi dok apung
2. Jenis *Self Dock* yaitu jenis konstruksi yang terdiri dari beberapa bagian pontoon sehingga salah satu pontoon dapat diambil dan dipisahkan dari dok apung untuk mendapatkan perawatan.

(Cornick, 1968)

Kelebihan dari dok apung antara lain:

1. Lebih fleksibel karena dalam pengoperasiannya dapat menerima kapal trim sampai 3⁰
2. Dapat dipindahkan sesuai kebutuhan
3. Waktu pengerjaan dalam pembuatan konstruksi lebih cepat jika dibandingkan dengan *graving dock*
4. Tidak bergantung pada struktur tanah

Kelemahan dari dok apung antara lain:

1. Cukup banyak persyaratan yang harus dipenuhi dalam pembangunan dok apung, seperti kedalaman, arus, gelombang, dan angin.
2. Membutuhkan pengetahuan khusus dalam perawatan dan pengoperasian suatu dok apung.

II.2 Dasar Teori

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, diperlukan berbagai teori yang mendukung penelitian. Teori berfungsi sebagai landasan dalam melakukan penelitian, petunjuk dalam pengerjaan sarta pendukung hasil yang diperoleh. Dalam tugas akhir ini, digunakan berbagai teori sebagai dasar dalam pengerjaan. Teori-teori tersebut adalah sebagai berikut.

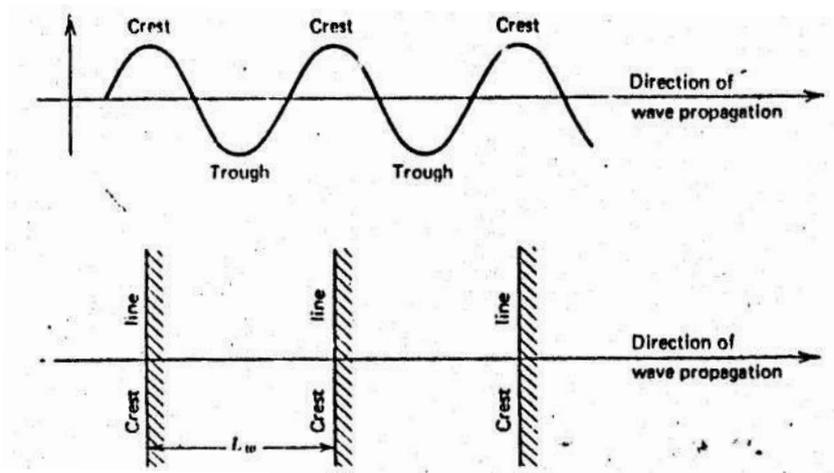
II.2.1 Kondisi Lingkungan Laut

Kondisi lingkungan laut sangat mempengaruhi suatu struktur apung seperti dok apung. Diantara berbagai kondisi lingkungan laut yang ada, gelombang merupakan salah satu aspek yang memiliki pengaruh besar terutama dalam gerakan struktur apung. Gelombang dapat didefinisikan sebagai suatu perubahan bentuk karena gerakan permukaan air. Selanjutnya dalam pembahasan ini setiap gelombang yang dimaksudkan adalah gelombang air laut. Terdapat beberapa istilah yang berhubungan dengan gelombang:

- a) Puncak gelombang (*Crest*) adalah titik dimana permukaan air berada pada elevasi tertinggi.
- b) Lembah gelombang (*Trough*) adalah titik dimana permukaan air berada pada elevasi terendah.
- c) Garis datum adalah garis datar permukaan air (diambil secara statistik) pada waktu air tenang.
- d) Elevasi gelombang (ζ) adalah jarak suatu titik pada permukaan gelombang dengan garis datum pada suatu waktu tertentu.
- e) Amplitudo gelombang (ζ_w) adalah garis vertikal antara titik tertinggi atau titik terendah dengan garis datum.
- f) Panjang gelombang (λ) adalah jarak dari puncak (lembah) gelombang dengan puncak (lembah) gelombang berikutnya.
- g) Kecepatan gelombang (V) adalah jarak yang ditempuh suatu titik per satuan waktu.
- h) Frekuensi gelombang (ω) adalah banyaknya puncak (lembah) gelombang yang dilalui oleh suatu titik per satuan waktu

(Bhattacharyya, 1978)

Laut memiliki kondisi yang berbeda-beda di setiap tempat tergantung dari kondisi alam yang mempengaruhinya. Gelombang laut dipengaruhi oleh dalam atau tidaknya suatu perairan. Oleh karena itu bentuk dan sifat gelombang sangatlah kompleks. Gelombang dibedakan menjadi dua macam, yaitu gelombang *sinusoidal* dan gelombang *trochoidal*. Karena jenis gelombang tersebut sangat kompleks maka untuk melakukan perhitungan ilmiah dilakukan pendekatan agar dapat digambarkan sifat dari gelombang yang kita gunakan. Gelombang *sinusoidal* adalah gelombang harmonik yang mengikuti fungsi sinus, bagian puncak dan lembah gelombang mempunyai bentuk yang sama. Sedangkan gelombang *trochoidal* mempunyai puncak gelombang yang runcing dengan lembah gelombang yang datar dan lebih panjang. Jenis gelombang ini lebih sulit diterapkan dalam perhitungan meskipun bentuknya lebih mendekati bentuk gelombang sesungguhnya. (Bhattacharyya, 1978)



Gambar II.1 Gelombang reguler jenis sinusoidal

(Sumber: Bhattacharyya, 1978)

Selain gelombang, lingkungan lain yang juga berpengaruh terhadap gerakan suatu struktur apung adalah angin. Kecepatan angin yang besar dapat menghasilkan pengaruh yang besar pula terhadap gerakan suatu dok apung. Hal lain yang juga berpengaruh adalah kecepatan arus laut.

II.2.2 Gerak pada Kapal

Secara umum gerak pada kapal dibagi menjadi dua jenis yaitu gerak translasi dan gerak rotasi dan gerak translasi. Gerak translasi adalah gerakan benda searah dengan sumbu gerakan. Sedangkan gerak rotasi adalah gerak suatu benda berputar pada sumbu putar. Karena dok

apung adalah sebuah objek 3 dimensi, maka terdapat tiga sumbu gerakan yaitu sumbu x, y, dan z. Sehingga untuk gerak translasi terdapat 3 gerakan yaitu gerakan naik dan turun searah sumbu z (*heave*), gerakan ke kiri dan ke kanan searah sumbu y (*sway*) dan gerakan maju mundur searah sumbu x (*surge*). Begitu pula dengan gerakan rotasi, terdapat 3 jenis gerakan rotasi yaitu rotasi terhadap sumbu x (*roll*), rotasi terhadap sumbu y (*pitch*) dan rotasi terhadap sumbu z (*yaw*). Sehingga secara keseluruhan terdapat 6 jenis gerakan atau biasa disebut dengan 6 derajat kebebasan (*six degree of freedom*)

Setiap gerakan memiliki sebuah persamaan umum yang didalamnya terdapat beberapa komponen,

$$a\ddot{z} + b\dot{z} + cz = F_0 \cos \omega_e t \dots\dots\dots(2.1)$$

Persamaan diatas menggambarkan gerakan *heaving* dan disebut sebagai *forced heaving motion*. Untuk gerakan translasi lainnya, persamaan tersebut dapat diterapkan dengan mengubah sumbu axis gerakan terhadap sumbu x dan y, dimana a adalah *virtual mass* (massa kapal ditambah dengan *added mass*), b adalah koefisien *damping* (gaya melawan arah gerakan), c adalah koefisien *restoring force* (gaya pengembali ke titik setimbang) dan F_0 adalah *existing force / encountering force* atau gaya luar yang bekerja pada kapal. Jika kapal berada pada kondisi air tenang (*calm water*) maka F_0 adalah nol. (Bhattacharyya, 1978)

II.2.2.1 Response Gerakan pada Gelombang Reguler

Response Amplitude Operator (RAO) juga disebut sebagai *transfer function* suatu struktur pada gelombang reguler. RAO adalah fungsi dari amplitudo gerakan struktur terhadap amplitudo gelombang. (Chakrabarti, 1987) Banyak cara untuk mengetahui RAO, mulai dari tes menggunakan model di *towing tank*, pendekatan numerik maupun analitis baik secara manual ataupun menggunakan program tertentu. Secara matematis persamaan RAO dapat dituliskan seperti ini :

Tabel II.1 Persamaan RAO msing-masing gerakan

No.	Gerakan	RAO
1	<i>Surge</i>	$(x_a/\delta a)^2$
2	<i>Sway</i>	$(y_a/\delta a)^2$
3	<i>Heave</i>	$(z_a/\delta a)^2$
4	<i>Roll</i>	$(\phi_a/\delta a)^2$
5	<i>Pitch</i>	$(\theta_a/\delta a)^2$
6	<i>Yaw</i>	$(\psi_a/\delta a)^2$

II.2.2.2 Response Gerakan pada Gelombang Irregular

Gelombang *irregular* atau gelombang tak beraturan adalah gabungan dari beberapa gelombang beraturan yang dijumlahkan yang masing-masing memiliki frekuensi, tinggi, dan fase gelombang yang berbeda-beda. Dengan mengalikan RAO dengan spektrum gelombang pada gelombang tak beraturan maka akan didapatkan response dari struktur. Spektrum gelombang (ω) sebelumnya harus diubah terlebih dahulu menjadi spektrum *encountered* (ω_e). Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$\omega_e = \omega - \frac{\omega^2 V}{g} \cos \mu \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- ω_e = frekuensi *encounter*
- ω = frekuensi gelombang
- g = percepatan gravitasi
- V = kecepatan kapal
- μ = sudut hadap kapal terhadap gelombang

II.2.3 Spektrum Gelombang

Suatu gelombang timbul karena adanya angin. Semakin tinggi kecepatan angin, semakin lama angin berhembus dan semakin luar area hembusan angin, maka gelombang yang akan timbul juga semakin besar. Spektrum gelombang diperlukan dalam proses merancang kapal maupun bangunan lepas pantai, untuk dapat memperkirakan seberapa besar gelombang maksimum yang ditimbulkan, dimana kapal beroperasi atau di daerah tempat bangunan lepas pantai akan dibangun

Spektrum gelombang yang dipakai dalam tugas akhir ini adalah spektrum JONSWAP untuk perairan tertutup/kepulauan. JONSWAP merupakan singkatan dari Joint North Sea Wave Project, yakni sebuah proyek yang dilakukan secara bersama-sama oleh sejumlah negara untuk melakukan penelitian gelombang di perairan laut utara. Persamaan spektrum JONSWAP merupakan modifikasi dari persamaan spektrum Pierson-Morkowitz yang disesuaikan dengan kondisi laut yang ada. Persamaan spektrum JONSWAP dapat ditulis sebagai berikut :

$$S_j(\omega) = \frac{\alpha g^2}{\omega^5} \exp \left[-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega_p}{\omega} \right)^4 \right] \gamma^\tau \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\tau = \exp \left[\frac{(\omega - \omega_p)^2}{2\sigma^2 \omega_p^2} \right] \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana :

γ = parameter puncak (peakedness parameter)

τ = parameter bentuk (shape parameter)

Formulasi spektra JONSWAP akhir-akhir ini banyak dipakai dalam perancangan analisis bangunan lepas pantai di Indonesia. Hal ini cukup dapat dimengerti karena perairan Indonesia yang berupa kepulauan. Namun disarankan untuk memakai parameter γ yang lebih kecil sekitar 2.0 sampai 2.5 untuk mengurangi dominasi energi yang dikontribusikan oleh frekuensi gelombang tertentu saja (Djatkiko, 2012).

II.2.4 Pengikatan pada dok apung

Permintaan dasar dari desain konstruksi struktur apung adalah tersedianya perngoperasian dok yang aman dan efisien. Keandalan dari suatu sistem tambat suatu floating dock mejadi sangat penting terutama dengan memperhatikan access bridges, yang sifatnya didesain dengan asumsi bahwa sistem tambat yang ada akan mampu menjaga struktur tersebut berada pada area yang diizinkan baik akibat gerakan secara transversal maupun longitudinal. Gaya dari lingkungan serta reaksi dari struktur itu sendiri menjadi pertimbangan dalam mendesain sistem tambat. Oleh karena itu perlu perhitungan yang matang terkait desain dari sistem tambat dari struktur apung termasuk dok apung. (Tsinker, 2004)

Di lapangan secara umum terdapat beberapa jenis desain pengikatan. Antara lain pengikatan dengan 4 tali tambat, pengikatan dengan 8 tali tambat, *single buoy mooring*, Pengikatan menyebar (*spread*), serta pengikatan penyilang. Pada tuga akhir ini dilakukan analisa terhadap 2 jenis pengikatan yakni pengikatan lurus dan menyilang serta membandingkan keduanya terhadap beban pada rantai pengikatan.

Dari segi penambatan, untuk tali tambat pada dok apung umumnya terdapat 2 jenis. Yakni yang tertambat pada daratan (*onshore*) dan yang tertambat pada dasar laut (*offshore*). Untuk tali tambat *onshore* umunya dapat menggunakan *wire rope*, sedangkan pada bagian *offshore* umumnya menggunakan rantai sebagai bahannya. (Tsinker, 2004)

Pengikatan menggunakan rantai bersifat *catenary*, seperti terlihat pada gambar 2.2 di bawah. Gambar tersebut mnunjukkan sketsa ketentuan yang digunakan pada analisis untuk pengikatan yang bersifat *catenary*. Untuk semua titik (x,y), mengikuti persamaan:

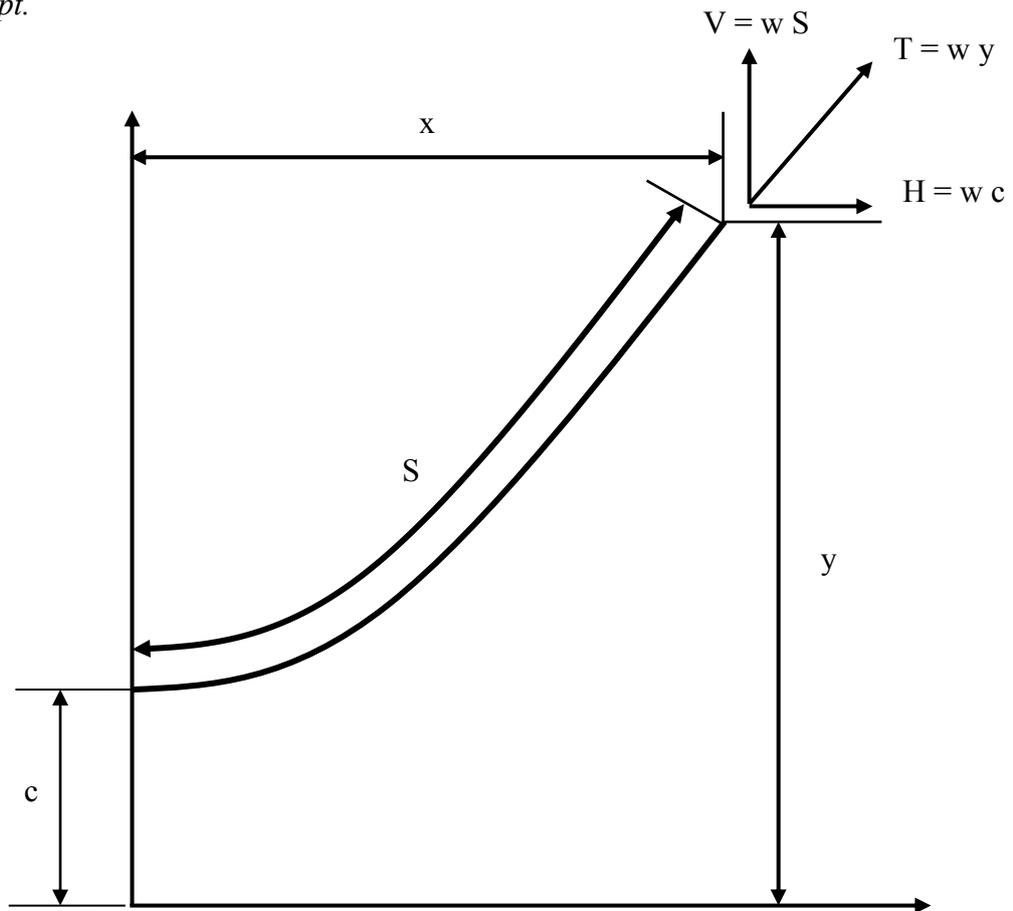
$$V = wS = T \sin \theta$$

$$H = wc = T \cos \theta$$

$$T = wy$$

$$c = \frac{H}{w}$$

Dimana V adalah gaya vertikal pada titik (x,y) , w adalah satuan berat dari rantai yang tercelup, S adalah panjang rantai yang membentuk kurva dari titik $(0,c)$ sampai titik (x,y) , T adalah tegangan (*tension*) tali pada titik (x,y) , θ adalah sudut dari tali tambat secara horizontal, H adalah gaya horizontal pada titik (x,y) dan c adalah jarak dari titik asli (*origin*) ke y -intercept.



Gambar II.2 *Catenary Mooring*
(Tsinker, 2004)

Bentuk dari *catenary* mengikuti persamaan

$$y^2 = s^2 + C^2$$

$$y = c \cosh \frac{x}{c}$$

$$S = c \sinh \frac{x}{c}$$

Atau dapat secara sederhana dituliskan

$$x = c \ln \left[\frac{s}{c} + \sqrt{\left(\frac{s}{c}\right)^2 + 1} \right] \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan catatan dalam persamaan di atas, beban horizontal pada ranatai adalah sama pada setiap titik dan semua pengukuran untuk nilai x, y, dan S mengacu pada *catenary* mula-mula. (Tsinker, 2004)

II.2.5 Tegangan Rantai pengikatan

Adanya gaya luar yang bekerja pada dok apung membuat dok apung bergerak searah gaya yang mengenainya. Untuk menjaga agar dok apung tetap pada jarak yang diinginkan maka digunakan rantai pengikatan yang ujungnya ditempatkan pada dasar laut agar dok apung tetap berada pada area yang diinginkan meskipun terjadi gerakan. Sebagai akibat dari gerakan dok apung tersebut terjadilah gaya tarik antara ujung rantai pada dasar laut dengan ujung lainnya yang terikat pada dok apung sehingga mengakibatkan tegangan pada rantai pengikatannya. Akibatnya rantai menerima beban berupa tegangan di sepanjang rantai. Sedangkan rantai pengikat tersebut memiliki batas beban yang mampu ditahan sampai rantai tersebut putus (*break load*). Sehingga harus dilakukan perhitungan terhadap beban yang diterima oleh rantai akibat gerakan dari dok apung.

Perangkat lunak ansys aqwa dapat membantu melakukan perhitungan beban yang diterima akibat gerakan dari dok apung. Asumsi yang digunakan adalah tumpuan tetap (*fixed*) pada ujung rantai yang ditambatkan pada dasar laut. Perhitungan secara numerik dilakukan dengan lama waktu percobaan minimum selama 3 jam sesau peraturan yang berlaku pada kelas DNV-GL. Sedangkan sebagai acuan kekuatan maksimum rantai adalah pada spesifikasi rantai yang digunakan oleh dok apung produksi dari Anchor Industries yang juga bersertifikat DNV-GL .

II.2.7 3D Diffraction Theory

Metode ini digunakan untuk menganalisis gerakan struktur dengan bentuk sembarang, baik terapung bebas maupun dengan system tambat. Permukaan struktur dibagi dalam sejumlah panel yang cukup kecil sehingga diasumsikan gaya-gaya hidrodinamis yang bekerja adalah sama di tiap panel.

Selanjutnya, sebuah persamaan dibentuk sehingga kecepatan potensial dapat diperoleh. Pada kondisi tenang, persamaan kecepatan potensial total Φ akibat pengaruh kecepatan U adalah sebagai berikut:

$$\Phi(x,y,z;t) = [-Ux + \phi_S(x,y,z)] + \phi_T(x,y,z)e^{-i\omega_e t} \dots\dots\dots(2.6)$$

Di mana x , y dan z menyatakan arah (sistem koordinat). *Wave exciting force* yang bekerja pada tiap panel dihitung dengan formula berikut:

$$F_{kj} = \rho \int_{S_B} \left[\omega_e^2 X_j (\phi_{jc} + i\phi_{js}) + i\omega_e U X_j \frac{\partial}{\partial x} (\phi_{jc} + i\phi_{js}) \right] n_k ds \dots\dots\dots(2.7)$$

Sehingga gerak struktur dapat dihitung dengan persamaan matrik berikut:

$$X_j^0 = F_k^0 x \left[\sum_{j=1}^6 -\omega_e^2 (M_{kj} + A_{kj}) - i\omega_e B_{kj} + C_{kj} \right]^{-1} \dots\dots\dots(2.8)$$

Di mana:

- Xj : amplitudo gerakan struktur
- Mkj : matriks inersia struktur
- Akj : matriks koefisien *added mass*
- Bkj : matriks koefisien *damping*
- Ckj : koefisien inersia statis
- Fk : Amplitudo *wave exciting force* (Djarmiko, 2012)

II.2.8 Penggunaan Perangkat Lunak CFD

CFD merupakan analisis system yang meliputi aliran fluida, *heat transfers*, dan peristiwa sejenisnya seperti reaksi kimia dengan menggunakan computer untuk mensimulasikannya. Prinsipnya adalah suatu ruang yang berisi fluida yang akan dilakukan penghitungan dibagi-bagi menjadi beberapa bagian, hal ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan *meshing*. Bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontrol penghitungan yang akan dilakukan oleh aplikasi atau perangkat lunak. Kontrol-kontrol penghitungan ini beserta kontrol-kontrol penghitungan lainnya merupakan pembagian ruang yang disebutkan tadi atau *meshing*. Nantinya, pada setiap titik kontrol penghitungan akan dilakukan penghitungan oleh aplikasi dengan batasan domain dan boundary condition yang telah ditentukan. Prinsip inilah yang banyak dipakai pada proses penghitungan dengan menggunakan bantuan komputasi komputer. Contoh lain penerapan prinsip ini adalah Finite

Element Analysis (FEA) yang digunakan untuk menghitung tegangan yang terjadi pada benda solid. (Versteeg & Malalasekera, 2007)

Sejarah CFD berawal pada tahun 60-an dan mulai terkenal pada tahun 70-an, awalnya pemakaian konsep CFD hanya digunakan untuk aliran fluida dan reaksi kimia, namun seiring dengan berkembangnya industri di tahun 90-an membuat CFD makin dibutuhkan pada berbagai aplikasi lain. Contohnya sekarang ini banyak sekali paket-paket perangkat lunak CAD menyertakan konsep CFD yang dipakai untuk menganalisa stress yang terjadi pada design yang dibuat. Pemakain CFD secara umum dipakai untuk memprediksi:

- Aliran dan panas.
- Hidrodinamiaka kapal
- Aerodinamika dari pesawat dan kendaraan : *lift and drag*
- Transfer massa
- Perubahan fasa seperti pada proses melting, pengembunan dan pendidihan.
- Reaksi kimia seperti pembakaran.
- Gerakan mekanis seperti piston dan fan.
- Tegangan dan tumpuan pada benda solid.
- Gelombang electromagnet
- Meteorologi: Prakiraan cuaca
- Teknik Biomedis : aliran darah melalui pembuluh arteri dan vena

CFD adalah penghitungan yang mengkhususkan pada fluida, mulai dari aliran fluida, heat transfer dan reaksi kimia yang terjadi pada fluida. Atas prinsip-prinsip dasar mekanika fluida, konservasi energi, momentum, massa, serta species, penghitungan dengan CFD dapat dilakukan. Secara sederhana proses penghitungan yang dilakukan oleh aplikasi CFD adalah dengan kontrol-kontrol penghitungan yang telah dilakukan maka kontrol penghitungan tersebut akan dilibatkan dengan memanfaatkan persamaan-persamaan yang terlibat. Persamaan-persamaan ini adalah persamaan yang dibangkitkan dengan memasukkan parameter apa saja yang terlibat dalam domain. Misalnya ketika suatu model yang akan dianalisa melibatkan temperatur berarti model tersebut melibatkan persamaan energi atau konservasi dari energi tersebut. Inisialisasi awal dari persamaan adalah boundary condition. Boundary condition adalah kondisi dimana kontrol-kontrol perhitungan didefinisikan sebagai definisi awal yang akan dilibatkan ke kontrol-kontrol penghitungan yang berdekatan dengannya melalui persamaan-persamaan yang terlibat.

Sebuah perangkat lunak CFD memberikan penggunanya kekuatan untuk mensimulasikan aliran fluida, perpindahan panas, perpindahan massa, benda-benda bergerak, aliran multifasa, reaksi kimia, interaksi fluida dengan struktur dan sistem akustik hanya dengan pemodelan dalam komputer

II.2.9 Grid Independence

Grid (meshing) digunakan untuk merepresentasikan permasalahan pada metode Computational Fluid Dynamic (CFD) yang didasarkan pada teori *Finite Element Volume*. Sehingga muncul berbagai jenis *grid* komputasi dengan kualitas tinggi pada penggunaan metode CFD. Parameter yang mempengaruhi pemodelan grid pada metode CFD antara lain:

1. Spacing

Pendefinisian grid memerlukan tingkat kerapatan untuk menghasilkan konservasi dari massa dan momentum pada suatu level tertentu. Maka mengurangi ukuran grid mengakibatkan kebutuhan akan kemampuan dan kualitas komputasi yang tinggi pula. Kebutuhan tersebut tergantung pada tipe dari solusi algoritma yang dipilih. Pada permasalahan tertentu, membutuhkan penetapan *time step* yang didasarkan pada ukuran grid (*mesh* kecil membutuhkan *time step* yang lebih kecil).

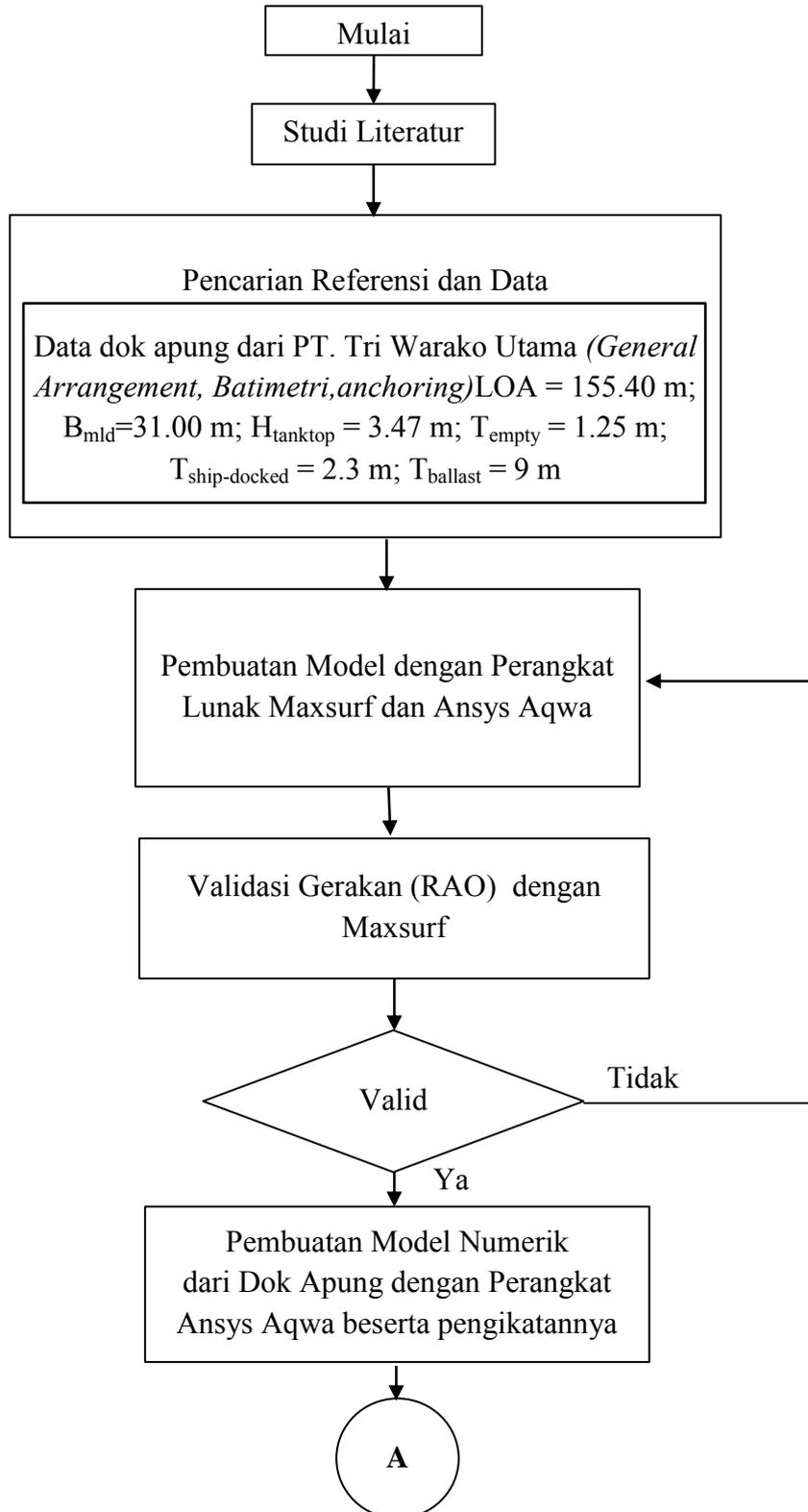
2. Geometry

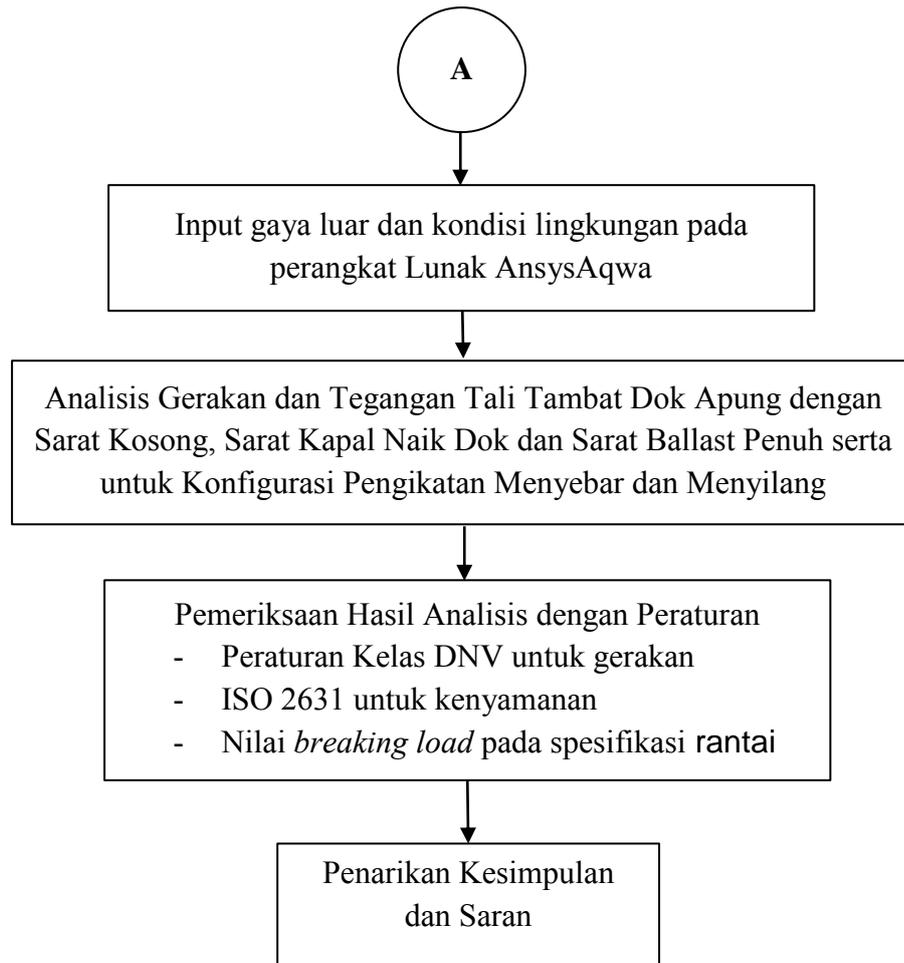
Faktor geometri walaupun tidak termasuk sebagai parameter utama dalam permasalahan pemodelan grid, namun grid harus mampu memberikan representasi tingkat akurasi dari geometri yang digunakan. Hal ini penting ketika ada perubahan ukuran grid dalam bentuk yang kecil pada permukaan (Godderidge, 2006)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Diagram Alir





Gambar III.1 Diagram alir pengerjaan tugas akhir

III.2 Studi Literatur

Dalam melakukan pengerjaan tugas akhir ini, terlebih dahulu dilakukan studi terhadap berbagai literatur yang mendukung tugas akhir ini. Studi literature bertujuan untuk memahami teori-teori yang berkaitan dengan tugas akhir serta menjadi acuan dan bahan rujukan penulis dalam mengerjakan tugas akhir. Berikut adalah beberapa studi literatur yang dilakukan oleh penulis

III.2.1. Tegangan pada Sistem Pengikatan Dok Apung

Pemahaman konsep mengenai tegangan dilakukan dengan cara membaca buku-buku literatur, *paper* dan catatan-catatan yang membahas mengenai dok apung

III.2.2. Beban Lingkungan

Pendalaman teori mengenai beban gelombang dilakukan dengan cara mencari dan membaca buku-buku, *paper* dan catatan yang membahas beban gelombang, arus dan angin.

III.2.4. Ansys Aqwa

Proses dalam penguasaan perangkat lunak Ansys Aqwa yang dipakai adalah dilakukan pembelajaran mengenai cara kerjanya perangkat lunak tersebut. Penulis menggunakan buku yang berisikan tutorial dalam menggunakan Ansys Aqwa, selain itu membaca literatur yang mendukung pembelajaran perangkat lunak tersebut.

III.2.5 Validasi RAO dengan Perangkat Lunak Maxsurf

Proses validasi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah analisis dan keluaran dari perangkat lunak telah valid. Metode validasi yang digunakan yaitu dengan membandingkan hasil dari perangkat lunak lain yang menggunakan pendekatan perhitungan berbeda dengan data hasil program Ansys Aqwa dengan model dan parameter yang sama. Perangkat lunak yang digunakan adalah Maxsurf dan data yang dipakai sebagai perbandingan adalah dok apung hasil model.

Di dalam dalam perangkat lunak Ansys Aqwa perhitungan dilakukan dengan pedekatan *3D diffraction theory*. Permukaan struktur dibagi dalam sejumlah panel yang cukup kecil sehingga diasumsikan gaya-gaya hidrodinamis yang bekerja adalah sama di tiap panel dan terintegrasi. Sedangkan pada Maxsurf pendekatan yang dilakukan menggunakan menggunakan *strip theory* dimana perhitungan dilakukan dengan membuat sejumlah *station* dan melakukan perhiungan pada setiap station. Jika hasil dari kedua perangkat lunak tersebut menghasilkan RAO yang sama atau cukup mendekati dengan hasil RAO pada perangkat lunak tersebut, maka dapat dianggap perangkat lunak tersebut valid untuk melakukan perhitungan

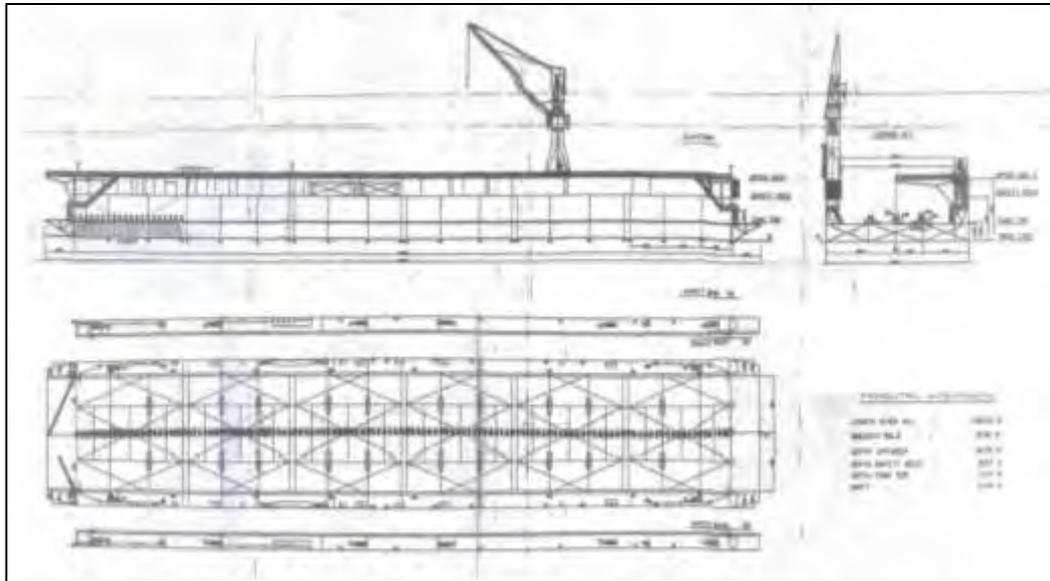
III.3 Pengumpulan Data

Tahap pertama dalam pengerjaan tugas akhir ini setelah dilakukannya studi literatur adalah pengumpulan data. Data untuk dok apung yang digunakan untuk tugas akhir ini adalah dok apung dari PT. Tri Warako Utama yang bertempat di Selat Madura tepatnya di Kabupaten Bangkalan dengan ukuran utama seperti pada table III.3

Tabel III.1 Data Ukran Utama Dok Apung

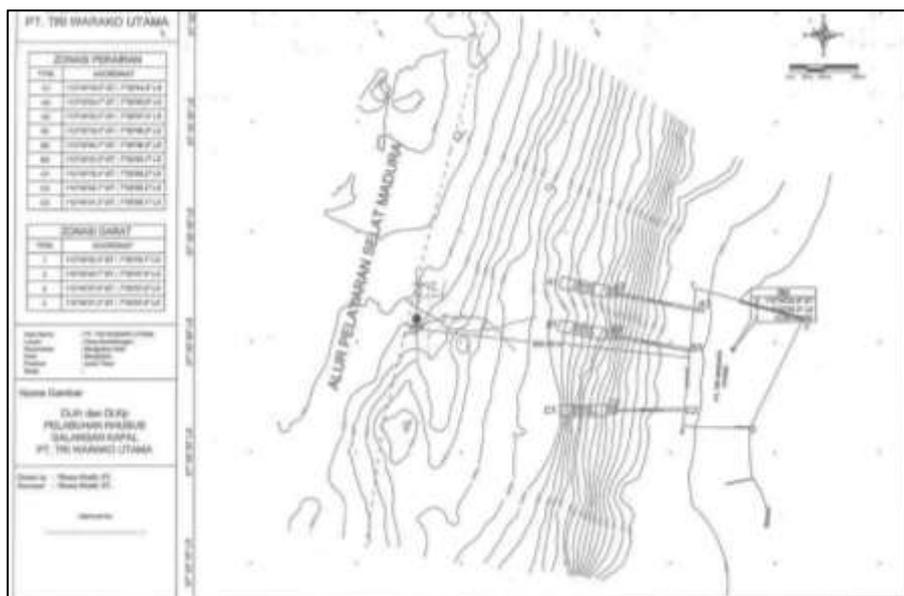
Item	Nilai	Unit
Loa	155.40	m
B _{mld}	31.00	m
H _{tanktop}	3.47	m

Data dok apung yang diperoleh untuk pengerjaan tugas akhir ini adalah rencana umum (*general arrangement*) dan *Batimetri* dok apung seperti gambar di bawah ini:



Gambar III.2 Rencana Umum Dok Apung

Gambar di atas adalah rencana umum dari dok apung yang digunakan untuk tugas akhir ini. Data dok apung tersebut diambil dari galangan milik PT. Tri Waroka Utama yang beroperasi di selat Madura tepatnya di wilayah kabupaten Bangkalan. Dari proses pengumpulan data diperoleh data sebagai kecepatan angin maksimum mencapai 12 knot atau sekitar 6.128 m/s, tinggi gelombang 0.3 m sampai 0.5 m dan kecepatan arus 1 m/s. Diperoleh pula batimetri untuk tempat dok dipasang seperti pada gambar III.4.



Gambar III.3 Batimetri Dok Apung

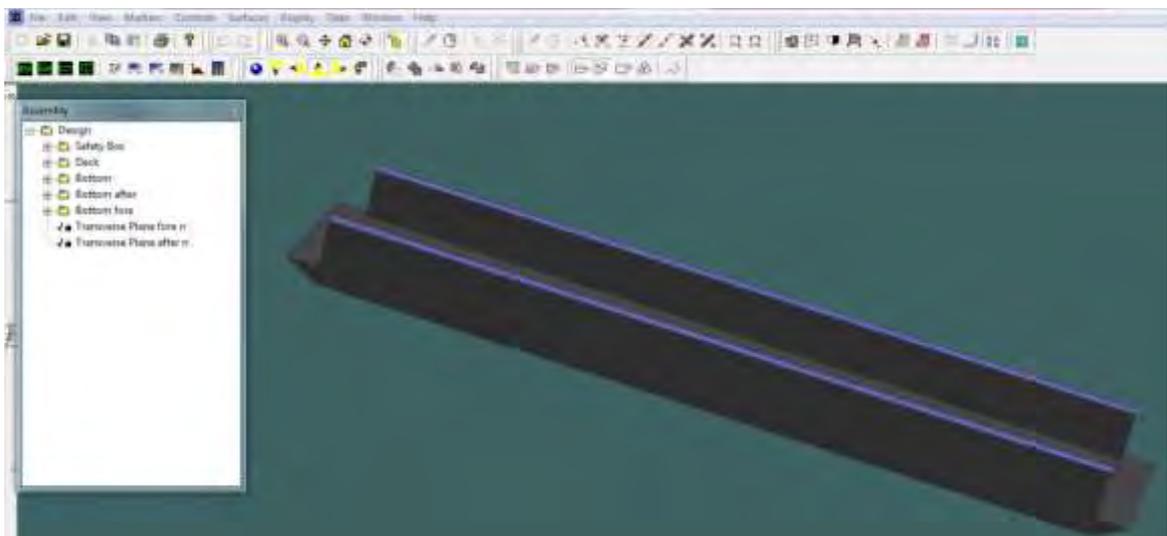
Spesifikasi rantai yang digunakan adalah rantai produksi dari Anchor Industries dengan grade U2. Ukuran rantai adalah 50 mm (2 Inch). *Proof Load* atau beban yang dapat ditahan mencapai 981 kN dan *Breaking Load* dari rantai adalah 1370 kN. Artinya jika tegangan yang terjadi melebihi 1370 kN maka rantai akan putus.

III.4 Pemodelan Numerik

Untuk memudahkan pengerjaan maka digunakan komputer sebagai sarana pendukung. Dalam pengerjaan tugas akhir ini seluruh proses pemodelan dan pengerjaan menggunakan komputer dengan prosesor intel® core™ i5-3470 dengan RAM 4.00 GB CPU @ 3.20 GHz.

Sebelum dilakukan pemodelan pada perangkat lunak Ansys Aqwa dok apung terlebih dahulu dibuat pemodelan numeriknya menggunakan perangkat lunak Maxsurf pro dengan skala 1:1. Koordinat model kapal di program Maxsurf disesuaikan dengan koordinat yang ada berdasarkan gambar dari rencana garis dok apung yang akan dimodelkan. Dasar pembuatan modelnya adalah *surface* yang merupakan bidang permukaan dan dapat dibuat menjadi berbagai bentuk model 3D dengan cara menambahi, mengurangi, merubah koordinat, dan merubah kelenturan control point.

Pembuatan model numerik menggunakan perangkat lunak Maxsurf juga memudahkan untuk memperoleh beberapa data hidrostatis dari model. Diantaranya adalah jarak titik apung model dari lunas. Setelah proses pemodelan dalam perangkat lunak Maxsurf Pro telah selesai, maka model disimpan dalam bentuk .iges untuk proses analisis selanjutnya pada perangkat lunak Ansys Aqwa.

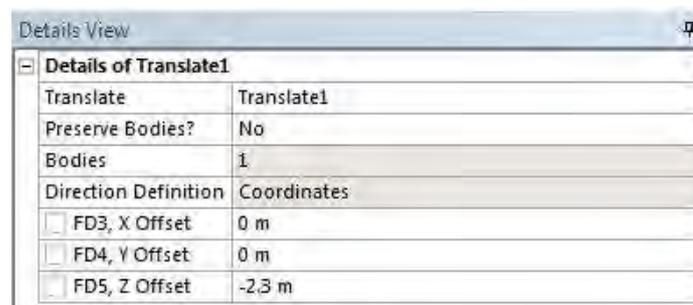


Gambar III.4 Pembuatan Model dengan Perangkat Lunak Maxsurf

Proses geometri dimulai dengan *import model* dari maxsurf dengan skala 1:1 dalam format .iges. Proses import dilakukan dengan memilih menu *file* lalu klik *Import Eksternal Geometri file* lalu selanjutnya klik *generate* atau icon  .

Setelah file maxsurf telah masuk, maka model yang diimpor dari maxsurf harus dalam satu *part*. Karena dalam proses pembuatan model di perangkat luna Maxsurf telah berbentuk satu *part*, maka tidak perlu proses *sew* untuk menyatukan bagian yang masihterpisah. Selanjutnya untuk membuat kapal sesuai dengan koordinat yang diinginkan dilakukan proses *Body Operation* lalu pilih *translate*. Lalu pilih *direction definition* lalu klik *z offsite (vertical)* untuk memasukan sarat kapal.

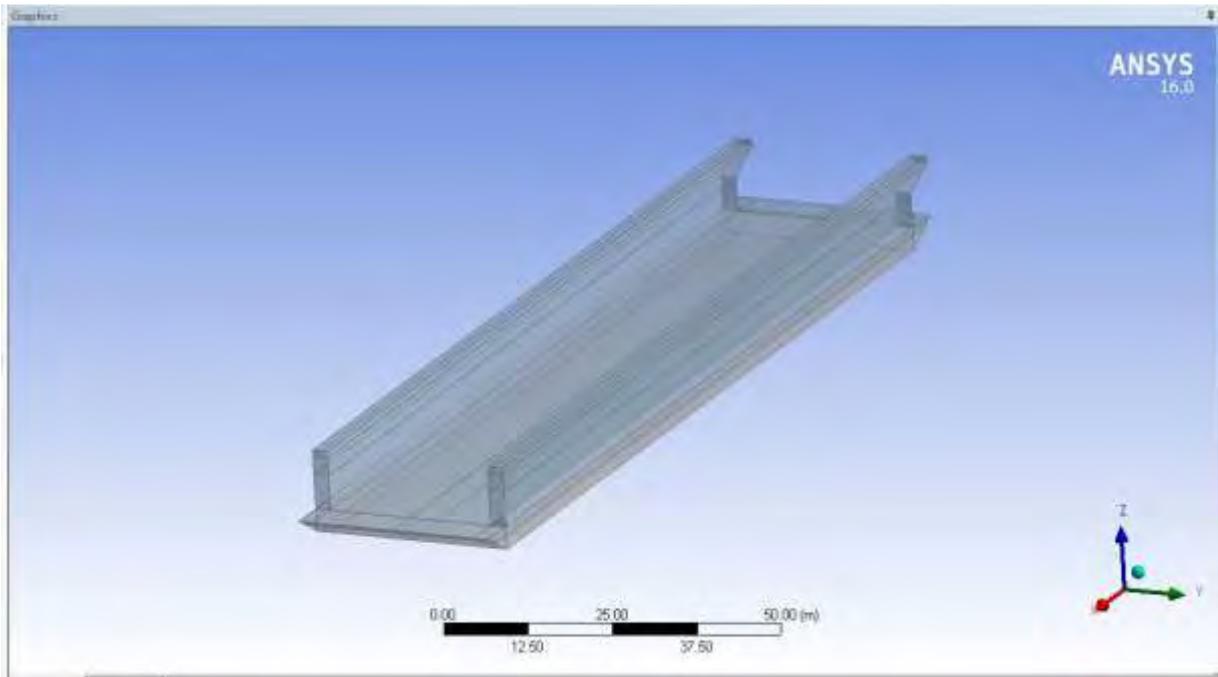
Dalam pengerjaan tugas akhir ini terdapat tiga variasi sarat maka dilakukan pengaturan *translate* yang berbeda untuk masing-masing variasi sarat. Masing-masing sarat mewakili 3 kondisi dari dok apung, yaitu kondisi dok kosong (*empty dock*), kondisi kapal naik dok (*ship-docked*) dan kondisi tangki balas penuh (*full ballast*). Untuk kondisi dok kosong (*empty dock*) saratnya adalah 1.25 m, untuk kondisi kapal naik dok (*ship-docked*) saratnya adalah 2.3 m dan kondisi tangki balas penuh (*full ballast*) saratnya adalah 9 m.



Gambar III.5 Pengaturan sarat kapal naik dok

Setelah dilakukan proses *translate*, maka dilakukan pembagian dok apung menjadi 2 bagian dengan cara membuat potongan di daerah sarat dengan cara klik *Tools* lalu *Freeze* agar kapal bisa dibagi menjadi 2 bagian. Selanjutnya pilih menu *create* lalu pilih *slice* dan pilih *XY plane* untuk memotong dok apung secara memanjang sesuai sarat dok apung

Setelah itu dok apung disatukan kembali dengan cara klik kanan pada *part* lalu pilih *Form new part*. Hasilnya adalah dok apung utuh yang terdiri dari 2 bagian dengan sarat sebagai batasnya. Hasil dari pemodelan geometri pada ansys aqwa ditampilkan pada Gambar III.6 di bawah ini



Gambar III.6 Hasil akhir proses geometri

Setelah proses geometri dilakukan maka proses selanjutnya yaitu masuk ke dalam bagian *Hydrodynamic Diffraction*. Di bagian ditentukan kondisi lingkungan tempat dok apung berada. Diantaranya adalah pengaturan kedalaman yakni 10 m sesuai dengan perairan Selat Madura tempat dok apung berada. Kemudian penentuan besar massa dan radius girasi. Proses input *point mass* dilakukan dengan klik kanan pada menu *add* lalu klik *point mass* sehingga akan muncul tampilan seperti Gambar III.7.

Details	
Details of Point Mass	
Name	Point Mass
Visibility	Visible
Activity	Not Suppressed
<input type="checkbox"/> X	77.7 m
<input type="checkbox"/> Y	0.0 m
<input type="checkbox"/> Z	-1.15 m
Mass Definition	Manual
<input type="checkbox"/> Mass	5746959 kg

Gambar III.7 Pengaturan titik berat dok apung

Gerakan kapal dipengaruhi dua faktor internal dan eksternal. Pada kasus *floating dock motion*, ada beberapa faktor yang mempengaruhi perilaku stabilitas gerak tersebut antara lain: (i) berat *floating dock* dan (ii) jari – jari girasi *floating dock* pada gerakan *rolling, pitching*,

dan yawing. Faktor internal yang mempengaruhi gerakan kapal adalah berat dan momen inersia I_{xx} , I_{yy} , dan I_{zz}

Momen inersia *rolling* diberikan menurut Persamaan 1 dan 2 berikut:

$$I_{xx} = Mk_{xx}^2 = \int dMr_i^2 = \int dM(y_i^2 + z_i^2) \dots\dots\dots 1$$

sehingga,

$$I_{xx} = \frac{1}{g} \sum [w_i(y_i^2 + z_i^2)] + \sum I_i \dots\dots\dots 2$$

dimana,

w_i = berat elemen (kg)

y_i = jarak melintang titik berat elemen CG dari sumbu putarnya (m)

z_i = jarak vertikal titik berat elemen CG dari sumbu putarnya (m)

I_i = momen inersia elemen terhadap titik berat CG-nya (m)

Jari – jari girasi *floating dock* dapat ditentukan dari hubungan antara momen inersia, percepatan gravitasi, dan *volume displacement*. Ketegaran *floating dock* terhadap gerakan *rolling* dipengaruhi oleh besarnya jari – jari girasi dari *floating dock*. Hubungan antara jari jari girasi dengan momen inersia *floating dock* dapat dirumuskan pada Persamaan 3.

$$I_{xx} = \frac{\Delta}{g} k_{xx}^2 = \frac{1}{g} \sum [w_i(y_i^2 + z_i^2)] \dots\dots\dots 3$$

maka, jari – jari girasi *floating dock* gerakan *rolling*, k_{xx} dapat dilihat pada Persamaan 4.

$$k_{xx} = \sqrt{\frac{\sum w_i(y_i^2 + z_i^2)}{\Delta}} \dots\dots\dots 4$$

II.1.2 Jari – Jari Girasi Kondisi Pitching Momen inersia *pitching* diberikan menurut

Persamaan 5 dan 6 berikut:

$$I_{yy} = Mk_{yy}^2 = \int dMr_i^2 = \int dM(x_i^2 + z_i^2) \dots\dots\dots 5$$

sehingga,

$$I_{yy} = \frac{1}{g} \sum [w_i(x_i^2 + z_i^2)] + \sum I_i \dots\dots\dots 6$$

dimana,

w_i = berat elemen (kg)

x_i = jarak memanjang titik berat elemen CG dari sumbu putarnya (m)

z_i = jarak vertikal titik berat elemen CG dari sumbu putarnya (m)

I_i = momen inersia elemen terhadap titik berat CG-nya (m)

Jari – jari girasi *floating dock* pada gerakan *pitching* dapat ditentukan dari hubungan antara momen inersia, percepatan gravitasi, dan *volume displacement*. Hubungan antara jari jari girasi dengan momen inersia *floating dock* dapat dirumuskan pada Persamaan 7.

$$I_{yy} = \frac{\Delta}{g} k_{yy}^2 = \frac{1}{g} \sum [w_i (x_i^2 + z_i^2)] \dots\dots\dots 7$$

maka, jari – jari girasi *floating dock* gerakan *pitching*, k_{yy} dapat dilihat pada Persamaan 8

$$k_{yy} = \sqrt{\frac{\sum w_i (x_i^2 + z_i^2)}{\Delta}} \dots\dots\dots 8$$

II.1.3 Jari – Jari Girasi Kondisi Yawing Momen inersia *yawing* diberikan menurut Persamaan 9 dan 10 berikut:

$$I_{zz} = Mk_{zz}^2 = \int dMr_i^2 = \int dM (x_i^2 + y_i^2) \dots\dots\dots 9$$

sehingga,

$$I_{zz} = \frac{1}{g} \sum [w_i (x_i^2 + y_i^2)] + \sum I_i \dots\dots\dots 10$$

dimana,

w_i = berat elemen (kg)

x_i = jarak memanjang titik berat elemen CG dari sumbu putarnya (m)

y_i = jarak melintang titik berat elemen CG dari sumbu putarnya (m)

I_i = momen inersia elemen terhadap titik berat CG-nya (m) Jari – jari girasi *floating dock* pada gerakan *yawing* dapat ditentukan dari hubungan antara momen inersia, percepatan gravitasi, dan *volume displacement*. Hubungan antara jari jari girasi dengan momen inersia *floating dock* dapat dirumuskan pada Persamaan 11.

$$I_{zz} = \frac{\Delta}{g} k_{zz}^2 = \frac{1}{g} \sum [w_i (x_i^2 + y_i^2)] \dots\dots\dots 11$$

maka, jari – jari girasi *floating dock* gerakan *yawing*, k_{zz} dapat dilihat pada Persamaan 12.

$$k_{zz} = \sqrt{\frac{\sum w_i (x_i^2 + y_i^2)}{\Delta}} \dots\dots\dots 12$$

III.5 Independence Mesh

Proses pemodelan panel-panel pada dok apung menggunakan perangkat lunak Ansys Aqwa ini dilakukan dengan mengoptimalkan proses *meshing*. Dimana proses *meshing* akan menentukan tingkat ketelitian hasil simulasi yang akan dilakukan, maka dari itu perlu dilakukan penentuan jumlah *meshing* yang akan digunakan sebagai acuan untuk melakukan simulasi terhadap model. Semakin tinggi tingkat spesifikasi dari komputer yang digunakan, maka semakin detail pula *meshing* yang dapat dibentuk dari model. Di samping itu semakin banyak jumlah *meshing* yang dibuat maka waktu yang dibutuhkan komputer untuk melakukan perhitungan akan semakin lama.

Berdasarkan penelitian yang membahas tentang studi verifikasi dan validasi pada suatu aplikasi dijelaskan pada sub bab teori analisis error bahwa untuk menentukan acuan dalam *grid independence* atau *independence mesh* dapat digunakan dengan beberapa hasil acuan seperti *pressure*, *force* dan *free surface position*. Pada penelitian tersebut juga didapatkan hasil *grid independence*. Analisis *grid independence* dilakukan untuk mencari nilai *Response Amplitude Operator (RAO)* paling optimal.

Dalam tugas akhir ini dibuat beberapa variasi jumlah *meshing* terhadap model dok apung yang akan disimulasikan. Dalam proses *meshing* ini, dilakukan pencarian jumlah *meshing* yang paling optimal baik dari nilainya, kemampuan komputer yang digunakan maupun lama waktu melakukan proses *running*nya. Output yang digunakan sebagai acuan dalam proses *meshing* ini adalah RAO. Dari simulasi akan menghasilkan nilai RAO yang berbeda dan dilakukan pemilihan nilai *meshing* yang paling optimal. Sehingga tidak banyak waktu untuk melakukan proses *running* program.

III.6 Analisis Wave Direction dan Frekuensi

Analisis *wave direction* dan frekuensi bertujuan untuk menentukan sudut hadap datangnya gelombang dan besarnya frekuensi gelombang yang akan dianalisis. Dalam analisis yang dilakukan menggunakan sudut hadap 0^0 , 45^0 dan 90^0 . Sehingga perlu dilakukan pengaturan sudut hadap kapal dengan cara memilih menu *wave direction* seperti pada gambar III.8 di bawah ini.

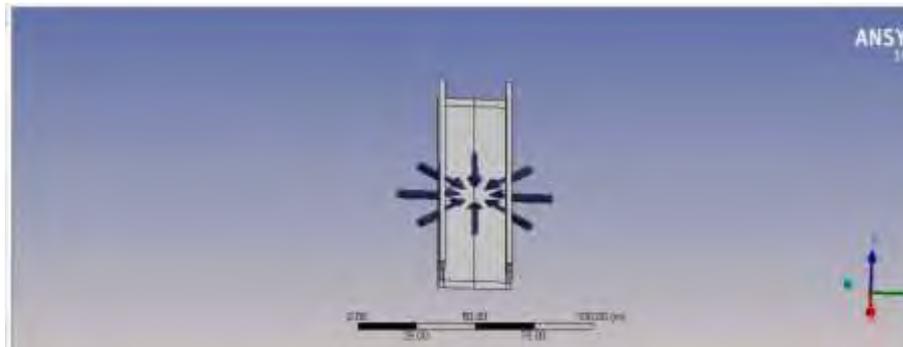
Details	
Details of Wave Directions	
Name	Wave Directions
Type	Range of Directions, No Forward Speed
Required Wave Input	
Wave Range	-180° to 180°
Interval	45°
Number of Intermediate Di...	7
Optional Wave Directions A	
Additional Range	None
Optional Wave Directions B	
Additional Range	None
Optional Wave Directions C	
Additional Range	None
Optional Wave Directions D	
Additional Range	None

Gambar III.8 Pengaturan sudut datang gelombang

Setelah dilakukan proses input sudut hadap selanjutnya dilakukan proses input frekuensi gelombang, dimana frekuensi gelombang yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,1 – 2.8 rad/sec .

III.7 Perhitungan RAO

Setelah proses pengaturan sudut hadap dan frekuensi gelombang, maka proses selanjutnya adalah analisis gerakan kapal yang lebih sering dikenal dengan istilah RAO (*Response Amplitude Operator*). Variasi analisis yang digunakan adalah dengan sudut hadap 0° , 45° dan 90°



Gambar III.9 Analisis RAO pada Ansys Aqwa

Proses perhitungan dilakukan setelah model kapal pada Ansys Aqwa telah selesai dan siap untuk di *running*. RAO dikeluarkan di Ansys Aqwa dengan cara memilih *solution*, kemudian *insert Result – RAOs – Distance/Rotation vs Frequency*.

III.8 Perhitungan Spektrum Gelombang

Dalam tugas akhir ini penulis menganalisis beban gelombang di tempat dok apung di pasang yakni di Selat Madura. Sehingga pengaturan tipe gelombang yang digunakan adalah

gelombang untuk perairan tertutup/kepulauan yakni JONSWAP (*Joint North Sea Wave Project*). Selain itu penulis juga menggunakan sudut hadap yang berbeda-beda yaitu mulai dari 0° , 45° , 90° dengan pertimbangan bentuk simetris dari dok apung. Perhitungan spektrum gelombang merupakan suatu cara yang digunakan untuk mendapatkan gelombang dengan tinggi dan sudut hadap yang bervariasi. Perhitungan spektrum gelombang dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ansys aqwa. Pada pengerjaan kali ini menggunakan spektrum gelombang JONSWAP dengan persamaan sebagai berikut.

$$S_j(\omega) = \frac{\alpha g^2}{\omega^5} \exp \left[-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega_p}{\omega} \right)^4 \right] \gamma^{\tau} \dots\dots\dots 13$$

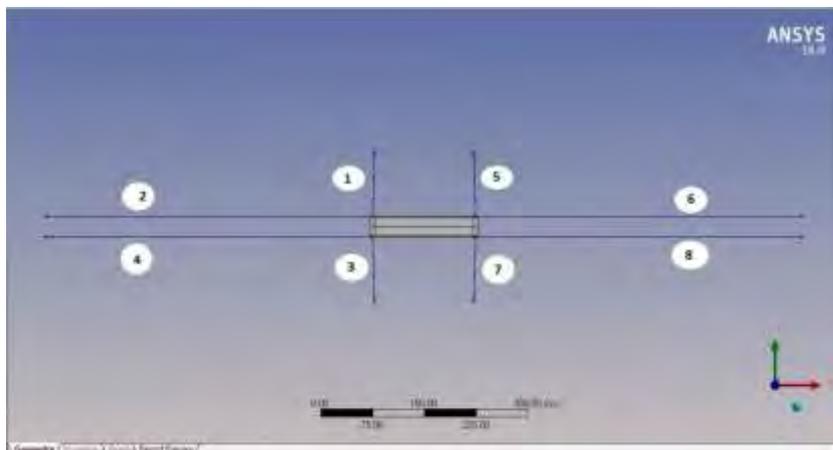
$$\tau = \exp \left[\frac{(\omega - \omega_p)^2}{2\sigma^2 \omega_p^2} \right]$$

Dari sini didapatkan respon gerakan dok apung untuk 6 derajat kebebasan. Untuk pengaturan pada perangkat lunak ansys aqwa adalah dengan *solution*, kemudian *insert Result – Structure Position – RAO Based Response*. Analisis dilakukan dengan lama waktu analisa minimum 3 jam sesuai peraturan yang diberikan oleh DNV-GL

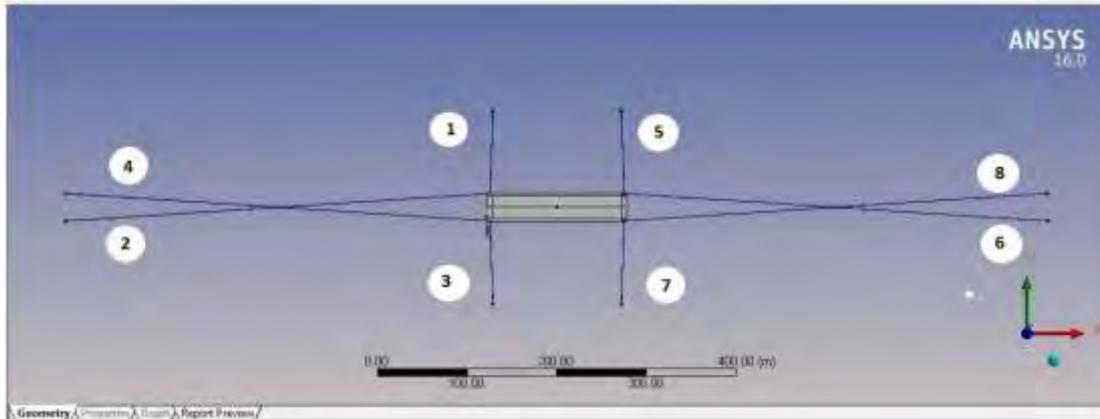
III.9 Perhitungan Numerik Gerakan Dok Apung dengan Ansys Aqwa

III.9.1 Sistem Tambat Dok Apung

Sebelum melakukan perhitungan numerik dengan Ansys Aqwa, model dok apung dibuat terlebih dahulu sistem tambatnya. Sistem tambat yang digunakan untuk dok apung ini adalah sistem tambat dengan variasi menyebar (*spread*) lurus dan menyilang (*cross*) di bagian dok yang terbuka. Dok memiliki 8 rantai tambat dengan 4 titik tambat pada dok apung dan 8 titik tambat pada dasar laut.



Gambar III.10 Konfigurasi tambat menyebar (*spread*) pada dok apung

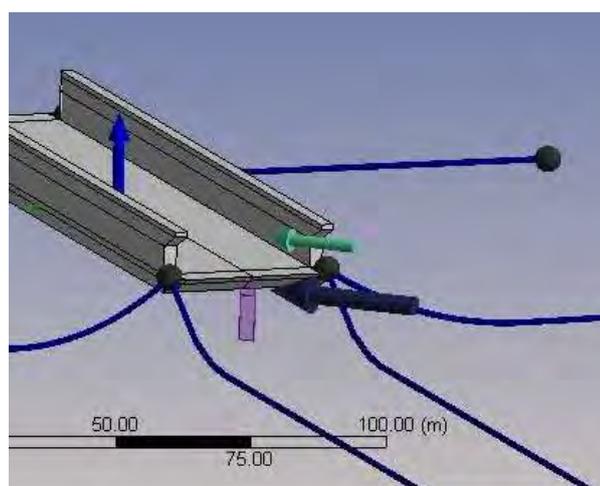


Gambar III.11 Konfigurasi tambat menyalang (*cross*) pada dok apung

Tali tambat (*mooring lines*) adalah rantai produksi Anchor Industries yang telah bersertifikat DNV-GL. Ujung ratai pada dasar laut diasumsikan *fixed* sehingga letak titik rantai di dasar laut dianggap tetap. Panjang rantai tambat adalah tiga kali panjang panjang struktur sesuai dengan peraturan yang berlaku untuk bangunan apung.

III.9.2 Perhitungan Tegangan Rantai Tambat

Setelah desain rantai tambat selesai dibuat selanjutnya memasukkan kondisi lingkungan. Kondisi lingkungan yang berpengaruh terhadap gerakan dari dok apung ini adalah kecepatan arus laut kecepatan angin, tinggi gelombang. Ketiga faktor tersebut menjadi input untuk gelombang tipe JONSWAP. Untuk perairan selat Madura berdasarkan data dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) kecepatan angin adalah 12 knot atau 6.1728 m/s. Sedangkan untuk kecepatan arus laut adalah 1.5 m/s dan tinggi gelombang 0.5 m.



Gambar III.12 Adanya gaya dari lingkungan pada dok apung

Akibat dari kondisi lingkungan di atas adalah respon gerakan dari dok apung berupa gerakan translasi yaitu *surge*, *sway*, dan *heave* serta gerakan rotasi yaitu *roll*, *pitch*, dan *yaw*.

Akibat dari gerakan tersebut adalah adanya gaya berupa tarikan terhadap rantai pengikat yang salah satu ujungnya terpasang *fixed* di dasar laut, sehingga yang terjadi adalah ketegangan dari rantai pengikat tersebut.

Perangkat lunak Ansys Aqwa digunakan untuk mengetahui berapa nilai tegangan yang terjadi pada rantai pengikat saat terjadi gerakan pada dok apung. Sehingga dari hasil pengujian numerik ini dapat diketahui apakah rantai pengikat mampu menerima beban berupa tegangan yang terjadi. Hal tersebut dapat dilihat melalui nilai tegangan maksimum yang terjadi pada masing-masing rantai tambat dan membandingkannya dengan tegangan maksimum (*breaking load*) yang terdapat pada katalog dari rantai tambat yang digunakan. Rantai yang digunakan adalah rantai dengan grade U2 dengan luasan melintang 50 mm. Jika nilai tegangan maksimum yang terjadi kurang dari tegangan izin (*breaking load*) dari rantai tambat maka desain yang ada telah memenuhi kriteria. Tetapi jika sebaliknya, yakni nilai tegangan yang terjadi melebihi nilai tegangan izin maka artinya tegangan yang terjadi tidak dapat diterima sehingga harus dilakukan perancangan sistem tambat ulang dengan mengubah beberapa variabel seperti konfigurasi pengikatan atau ukuran rantai tambat, dan sebagainya.

III.9.3 Kenyamanan

Selain ketegangan tali tambat, akibat dari gerakan kapal adalah berkurangnya kenyamanan dari dok apung sendiri. Tentu hal ini perlu menjadi perhatian karena akan berpengaruh pada pekerja yang bekerja di atas dok apung. Sehingga perlu dilakukan perhitungan apakah gerakan dari dok apung memenuhi batas yang diizinkan oleh biro klasifikasi.

Kenyamanan di atas dok apung erat kaitannya dengan *motion sickness incidence*. *Motion sickness incidence* dipengaruhi oleh factor utama yakni percepatan dari gerakan dok apung itu sendiri. Batas percepatan adalah nilai maksimum dari percepatan gerak dok apung. Sehingga diharapkan nilai percepatan dari dok apung tidak melebihi batas maksimum dari standar.

Perangkat lunak Ansys Aqwa dapat digunakan untuk melakukan perhitungan percepatan dari keenam gerakan struktur apung (*surge, sway, heave, roll, pitch, dan yaw*). Pemeriksaan dilakukan terhadap tiga variasi sudut hadap yaitu sudut 0° , 45° , dan 90° . Nilai percepatan maksimum dari masing-masing sudut hadap kemudian dibandingkan dengan batas yang diizinkan oleh ISO 2631 untuk mengetahui tingkat kenyamanannya.

III.10 Kesimpulan

Pada tahapan selanjutnya yaitu penyusunan kesimpulan dari keseluruhan penelitian yang dilakukan mulai dari awal hingga akhir. Kesimpulan berfungsi untuk membandingkan hipotesis awal apakah terbukti atau tidak serta jawaban dari permasalahan yang ada meliputi ketercapaian tujuan penelitian. Termasuk di dalamnya penyusunan laporan tugas akhir yang merupakan keseluruhan laporan dari penelitian yang telah dikerjakan.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

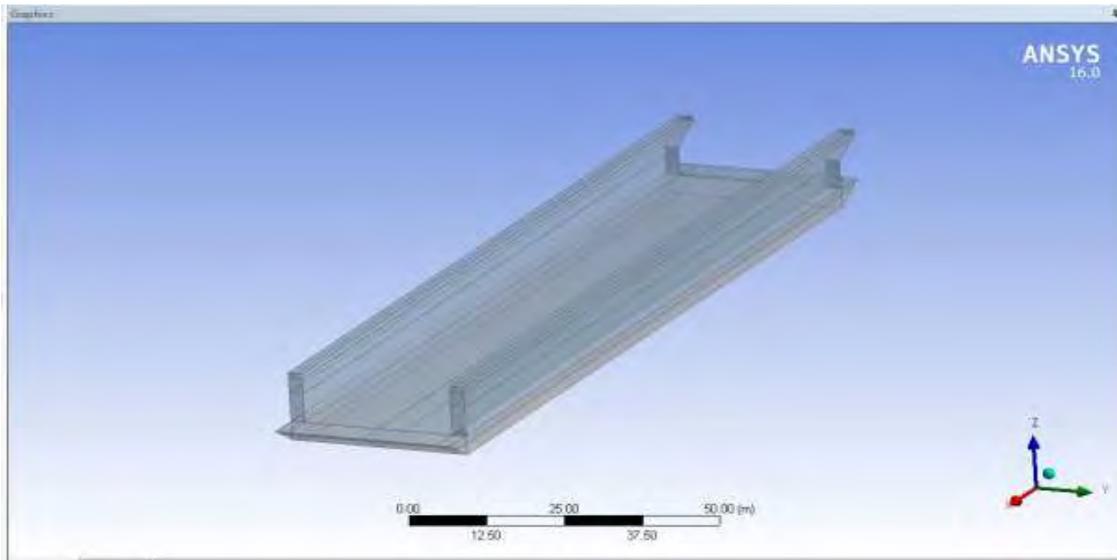
BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil Pemodelan Numerik Menggunakan Ansys Aqwa

Setelah mendapatkan model dari perangkat lunak Maxsurf, selanjutnya dok apung dimodelkan pada perangkat lunak ansys aqwa untuk dilakukan perhitungan terhadap gerakan serta tegangan yang terjadi pada rantai pengikatannya. Untuk itu dilakukan input data yang diperlukan sebagai berikut:

- Untuk sarat kosong
COG : $X = 77.7 \text{ m}$; $Y = 0 \text{ m}$; $Z = 0.625 \text{ m}$
COB : $X = 77.7 \text{ m}$; $Y = 0 \text{ m}$; $Z = 0.624 \text{ m}$
- Untuk sarat kapal sedang naik dok
COG : $X = 77.7 \text{ m}$; $Y = 0 \text{ m}$; $Z = 1.15 \text{ m}$
COB : $X = 77.7 \text{ m}$; $Y = 0 \text{ m}$; $Z = 1.142 \text{ m}$
- Untuk sarat balas penuh
COG : $X = 77.7 \text{ m}$; $Y = 0 \text{ m}$; $Z = 6.376 \text{ m}$
COB : $X = 77.7 \text{ m}$; $Y = 0 \text{ m}$; $Z = 5.024 \text{ m}$
- Massa = 5746959 kg
- $K_{xx} = 12.086$; $K_{yy} = 41.5461$; $K_{zz} = 42.6453$
- $I_{xx} = 8.39 \times 10^8 \text{ kg.m}^2$; $I_{yy} = 9.92 \times 10^9 \text{ kg.m}^2$; $I_{zz} = 1.04 \times 10^{10} \text{ kg.m}^2$
- Variasi frekuensi : 0.1rad/s – 2.83 rad/s

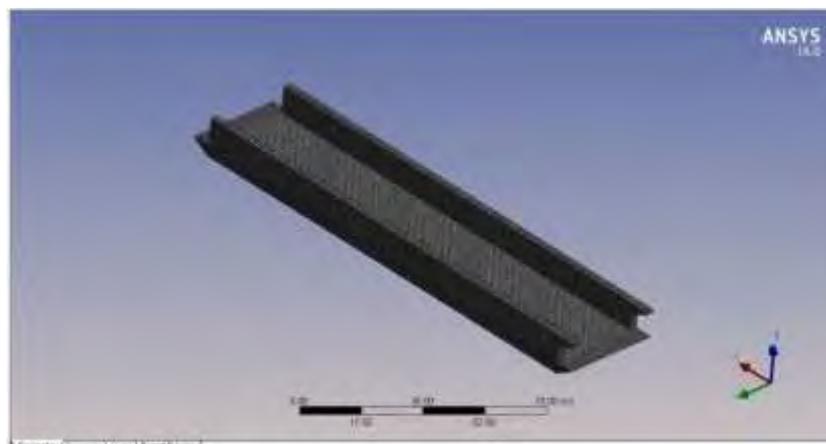


Gambar IV.1 Hasil pemodelan pada Ansys Aqwa

Dok apung seperti terdapat pada gambar diatas telah dimodelkan pada perangkat lunak Ansys Aqwa. Proses pemodelan telah sesuai dengan prosedur pemodelan perangkat lunak Ansys Aqwa. Adapun model diatas telah sesuai ukurannya seperti pada ukuran data kapal yang telah dicantumkan pada pembahasan sebelumnya

IV.2 Independence Meshing

Dalam penelitian ini untuk mengetahui hasil perhitungan *response amplitude operator (RAO)* telah valid, maka dibuatlah proses meshing dengan ukuran panel-panel yang bervariasi. Dan pada penelitian ini dibuat 6 macam jumlah *meshing* terhadap model dok apung yang akan disimulasikan. Dimana selanjutnya dapat ditentukan jumlah *meshing* yang paling optimal terhadap model kapal perang. Dan digunakan sebagai acuan untuk melakukan proses *meshing* dan *running*.

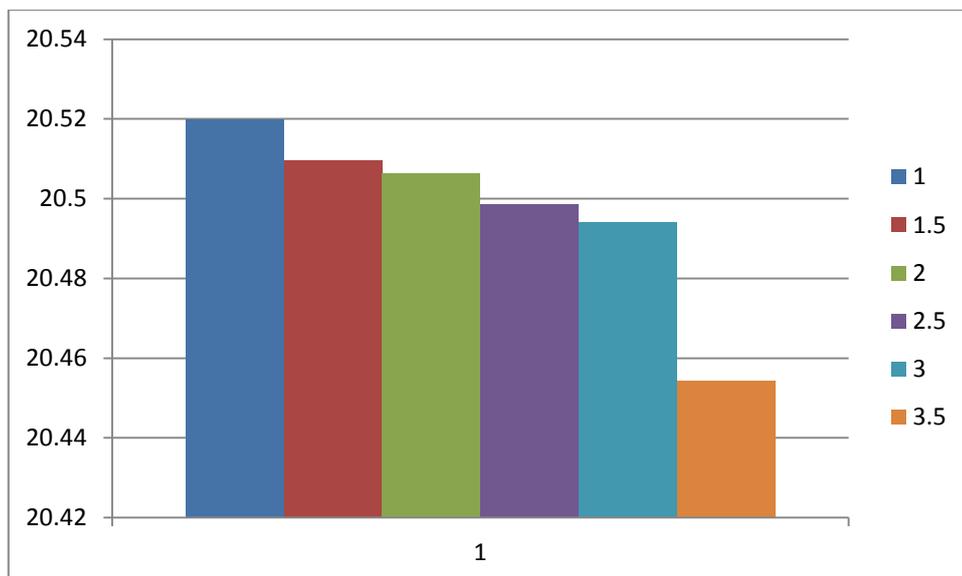


Gambar IV.2 Hasil simulasi dok apung menggunakan perangkat lunak Ansys Aqwa

Tabel IV.1 Pemilihan *Meshing* yang paling optimum

Simulasi	Ukuran elemen	RAO Gerakan Yaw	Prosentase perbedaan
A	3.5	20.4542	1.347 %
B	3	20.494	0.527 %
C	2.5	20.4985	0.438 %
D	2	20.5063	0.278 %
E	1.5	20.5097	0.208 %
F	1	20.5198	

Proses *meshing* bertujuan untuk menemukan jumlah *meshing* yang paling optimal. Sehingga menghasilkan nilai yang akurat tetapi tidak mebebani computer melebihi kapasitas kemampuannya, serta memiliki waktu pengerjaan yang efisien. Hasil yang digunakan sebagai acuan dalam proses *meshing* ini adalah RAO gerakan Yaw dengan sudut 180° . Dari simulasi yang telah dilakukan, didapatkan nilai RAO yang berbeda-beda. Dan dari nilai tersebut kemudian dilakukan pemilihan nilai *meshing* yang paling optimal.



Gambar IV.3 Grafik perbandingan *yaw* dengan perbedaan ukuran *mesh*

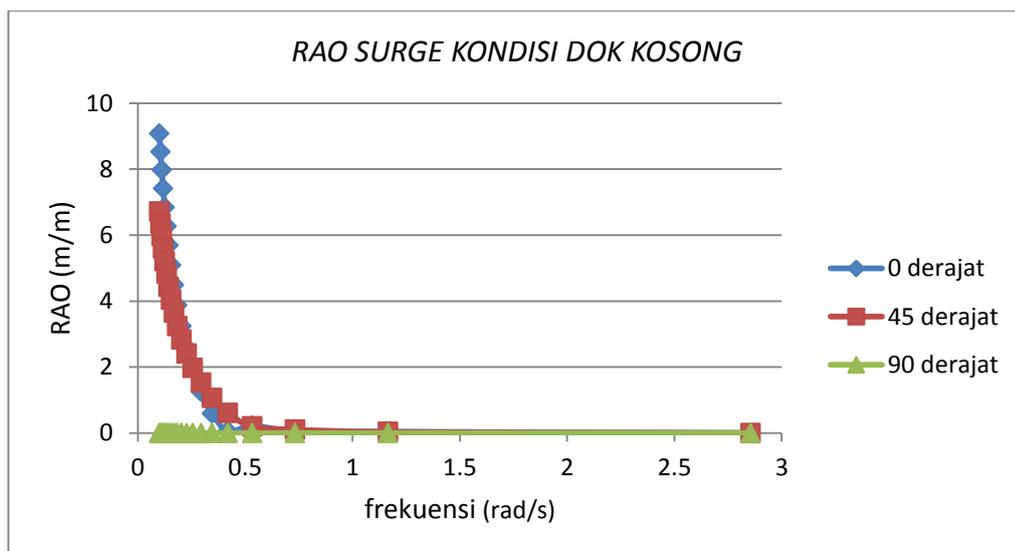
Dari Grafik diatas menunjukkan bahwa mulai pada simulasi 2 *trendline* menunjukkan bahwa tidak lagi menunjukkan perubahan nilai yang signifikan. Dengan kata lain pada model

kapal Perang yang dihasilkan pada simulasi 2 merupakan hasil *meshing* yang paling optimal, sehingga tidak banyak waktu untuk melakukan proses *running* program dan computer tidak menerima beban kerja yang terlalul berat. Sehingga untuk ananlisis dok apung ini menggunakan ketentuan *meshing* sebagai berikut :

- a. *Local element size* : 1.5 m
- b. *Number of nodes* : 16468
- c. *Number of element* : 16498
- d. *Number of nodes (diffraction bodies)* : 5584
- e. *Number of element(diffraction bodies)* : 5410

IV.4 RAO Dok Apung

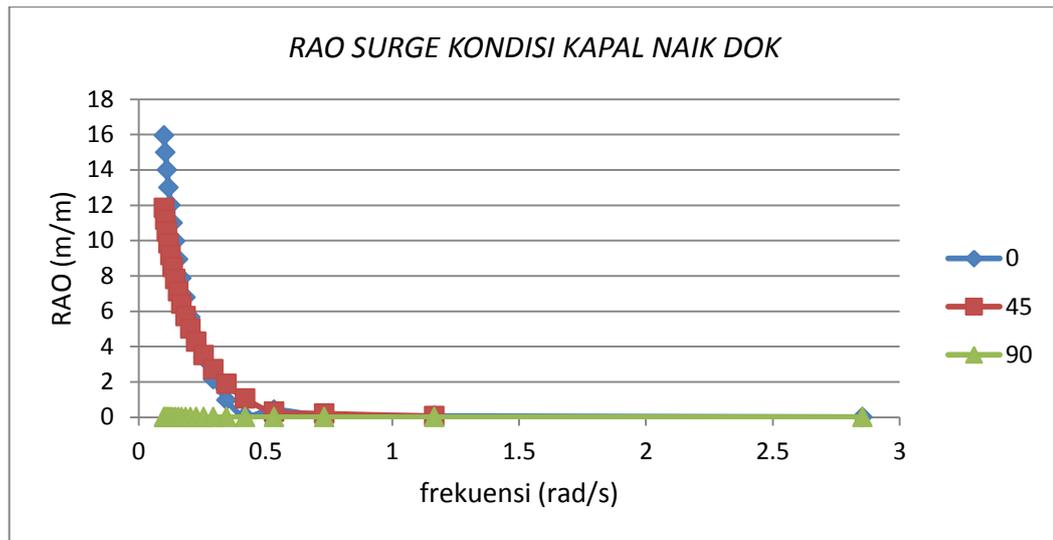
Proses validasi untuk model dok apung telah menunjukkan bahwa model tersebut valid. Artinya model tersebut dapat digunakan untuk mensimulasikan dok apung yang sebenarnya pada perangkat lunak Ansys Aqwa. Nilai RAO dihitung mulai dari sudut -180° sampai dengan sudut 180° dengan jarak analisis setiap 45° . Akan tetapi pada tugas akhir ini digunakan 3 sudut yakni sudut 0° , 45° , serta 90° karena sudut lain memiliki nilai yang sama/identik dengan ketiga sudut tersebut sehingga ketiga sudut tersebut dianggap telah mewakili nilai dari sudut yang lainnya. Grafik hasil percobaan numerik dapat di lihat pada grafik-grafik di bawah ini (Gambar IV.7-IV.18).



Gambar IV.4 RAO gerakan *surge* untuk sarat kosong

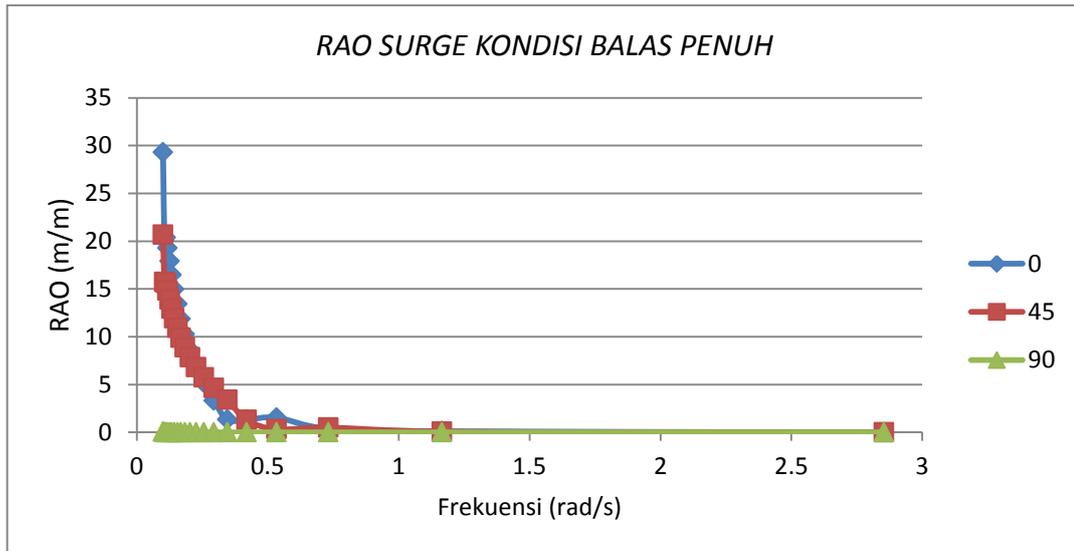
Berdasarkan Gambar IV.4 dapat diketahui bahwa terdapat *response amplitude operator (RAO)* pada gerakan *surge* saat dok apung kosong dengan variasi sudut hadap yang

berbeda-beda yaitu 0° , 45° , 90° memiliki hasil yang berbeda untuk setiap sudutnya. Berdasarkan grafik juga dapat diketahui bahwa pada keadaan dok kosong, RAO *surge* terbesar terjadi ketika kapal mendapat gelombang dengan sudut hadap 0° pada periode gelombang 0.1 rad/detik dengan nilai 9.07 m/m. Sedangkan pada sudut 90° nilai mendekati nol karena dengan sudut tegak lurus dari gerakan *surge*, maka gaya yang bekerja searah dengan gerakan *surge* juga 0 atau mendekati 0.



Gambar IV.5 RAO gerakan *surge* untuk sarat saat kapal naik dok

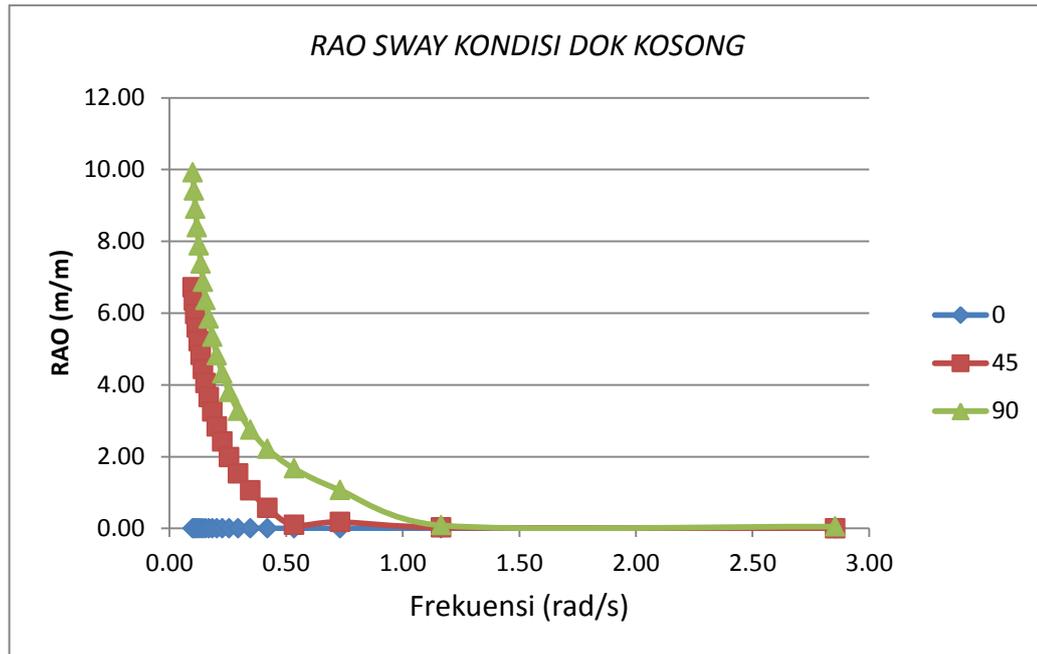
Berdasarkan Gambar IV.5 dapat diketahui bahwa terdapat *response amplitude operator (RAO)* pada gerakan *surge* saat dok apung dalam kondisi kapal *docking* dengan variasi sudut hadap yang berbeda-beda yaitu 0° , 45° , 90° memiliki trend yang hampir sama dengan kondisi dok kosong. Berdasarkan grafik juga dapat diketahui bahwa pada keadaan tersebut, RAO *surge* terbesar terjadi ketika kapal mendapat gelombang dengan sudut hadap 0° pada periode gelombang 0,1 rad/detik dengan nilai 15,9 m/m. Sedangkan pada sudut 90° nilai mendekati nol karena dengan sudut tegak lurus dari gerakan *surge*, maka gaya yang bekerja searah dengan gerakan *surge* juga 0 atau mendekati 0 seperti saat kondisi kosong. Perbedaan terlihat dari nilai RAO maksimum saat kondisi kapal naik dok lebih besar dari pada saat dok kosong.



Gambar IV.6 RAO gerakan *surge* untuk sarat balas penuh

Berdasarkan Gambar IV.6 dapat diketahui bahwa terdapat *response amplitude operator (RAO)* pada gerakan *surge* saat dok apung dalam kondisi balas penuh dengan variasi sudut hadap yang berbeda-beda yaitu 0° , 45° , 90° memiliki trend yang hampir sama dengan kondisi dok kosong dan kapal naik dok. Berdasarkan grafik juga dapat diketahui bahwa pada keadaan tersebut, RAO *surge* terbesar terjadi ketika kapal mendapat gelombang dengan sudut hadap 0° pada frekuensi gelombang 0,1 rad/detik dengan nilai 29,3 m/m. Sedangkan pada sudut 90° nilai mendekati nol karena dengan sudut tegak lurus dari gerakan *surge*, maka gaya yang bekerja searah dengan gerakan *surge* juga 0 atau mendekati 0 seperti saat kondisi kosong dan kapal naik dok. Nilai RAO maksimum saat kondisi balas penuh lebih besar dari pada saat dok kosong dan kapal naik dok.

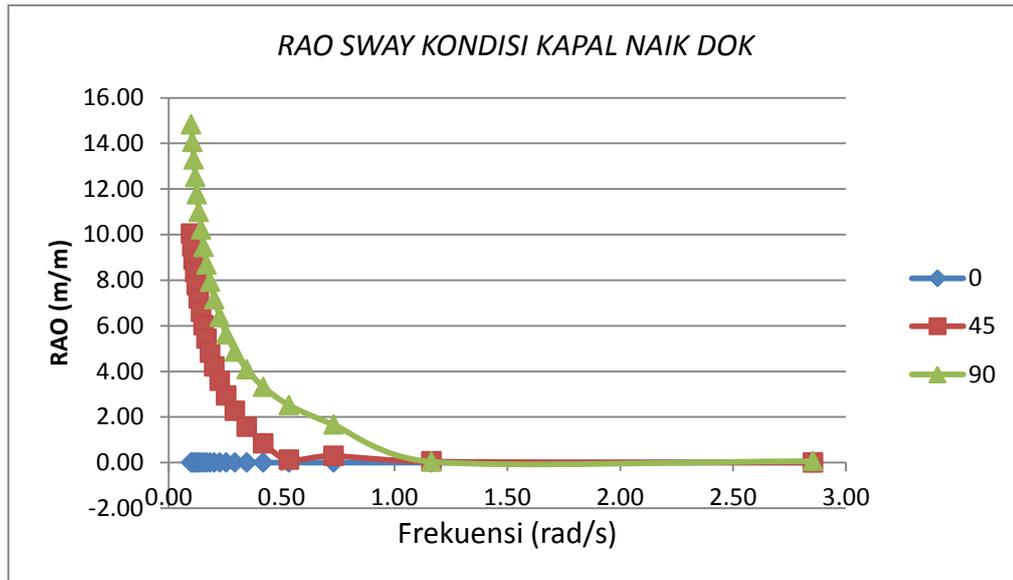
Secara keseluruhan, untuk RAO gerakan *surge* menunjukkan nilai maksimal pada sudut hadap 0° . Hal itu disebabkan karena gaya yang bekerja pada dok searah dengan arah gerakan *surge* dok sehingga mengakibatkan gerakan *surge* saat sudut gelombang 0° lebih besar daripada sudut 45° atau 90° . Sedangkan untuk nilai RAO berbeda pada masing-masing sarat. Nilai tertinggi terjadi pada kondisi balas penuh yakni sebesar 29.3 m/m.



Gambar IV.7 RAO gerakan *sway* untuk sarat kosong

Berdasarkan Gambar IV.7 dapat diketahui bahwa terdapat *response amplitude operator (RAO)* pada gerakan *sway* saat dok apung kosong dengan variasi sudut hadap yang berbeda-beda yaitu 0° , 45° , 90° memiliki hasil yang berbeda untuk setiap sudutnya. Berdasarkan grafik juga dapat diketahui bahwa pada keadaan dok kosong, RAO *sway* terbesar terjadi ketika kapal mendapat gelombang dengan sudut hadap 90° pada periode gelombang 0.1 rad/detik dengan nilai 9.92 m/m. Sedangkan pada sudut 0° nilai mendekati nol karena dengan sudut tegak lurus dari gerakan *sway*, maka gaya yang bekerja searah dengan gerakan *sway* juga 0 atau mendekati 0 (sangat kecil).

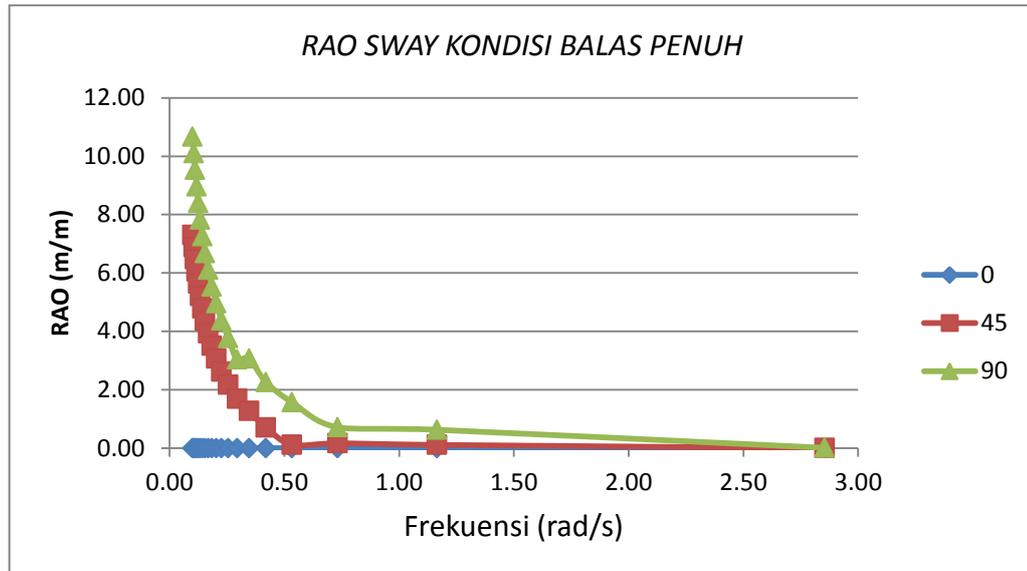
Selanjutnya dilakukan analisa terhadap gerakan *sway* dengan kondisi dok apung sedang dimuati oleh kapal. Akibat dari tambahan beban tersebut adalah bertambahnya sarat dari dok apung itu sendiri. Hasil perhitungan menunjukkan adanya perubahan pada gerakan *sway* dari kondisi kosong menjadi kondisi kapal naik dok seperti ditunjukkan pada gambar IV.11 di bawah ini.



Gambar IV.8 RAO gerakan *sway* untuk sarat saat kapal naik dok

Berdasarkan Gambar IV.8 dapat diketahui bahwa terdapat *response amplitude operator (RAO)* pada gerakan *sway* saat dok apung dalam kondisi kapal *docking* dengan variasi sudut hadap yang berbeda-beda yaitu 0° , 45° , 90° memiliki *trend* yang hampir sama dengan kondisi dok kosong. Berdasarkan grafik juga dapat diketahui bahwa pada keadaan tersebut, RAO *sway* terbesar terjadi ketika kapal mendapat gelombang dengan sudut hadap 90° pada frekuensi gelombang 0,1 rad/detik dengan nilai 14,8 m/m. Sedangkan pada sudut 0° nilai RAO mendekati nol karena dengan sudut tegak lurus dari gerakan *sway*, maka gaya yang bekerja searah dengan gerakan *surge* juga 0 atau mendekati 0 seperti saat kondisi kosong. Perbedaan terlihat dari nilai RAO maksimum saat kondisi kapal naik dok lebih besar dari pada saat dok kosong.

Setelah analisis gerakan pada kondisi dok kosong dan dok dengan muatan, selanjutnya dilakukan analisa terhadap gerakan *sway* dengan kondisi dok apung sedang dimuati oleh kapal. Akibat dari penambahan beban tersebut adalah bertambahnya sarat dari dok apung itu sendiri. Hasil perhitungan menunjukkan adanya perbedaan pada gerakan *sway* dari kondisi sebelumnya dengan kondisi balas penuh seperti ditunjukkan pada gambar IV.12 di halaman berikutnya.



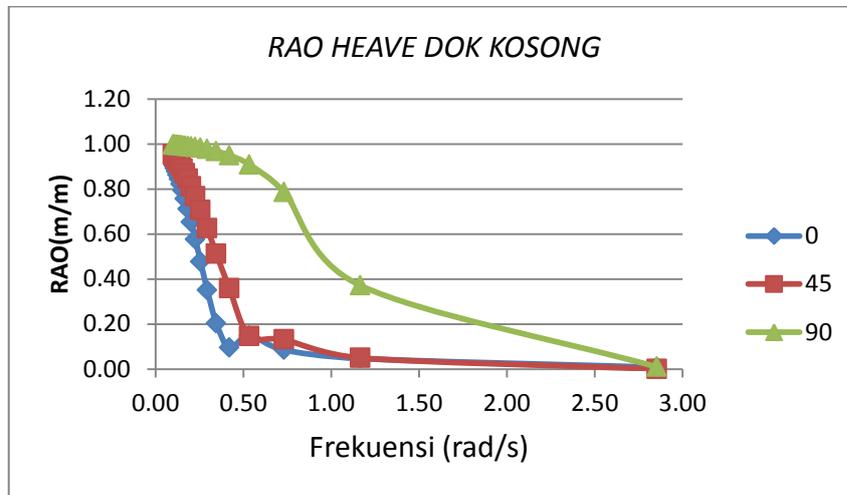
Gambar IV.9 RAO gerakan *sway* untuk sarat balas penuh

Berdasarkan Gambar IV.9 dapat diketahui bahwa terdapat *response amplitude operator (RAO)* pada gerakan *sway* saat dok apung dalam kondisi balas penuh dengan variasi sudut hadap yang berbeda-beda yaitu 0° , 45° , 90° memiliki *trend* yang hampir sama dengan kondisi dok kosong dan kapal naik dok. Berdasarkan grafik tersebut juga dapat diketahui bahwa pada keadaan tersebut, RAO *surge* terbesar terjadi ketika kapal mendapat gelombang dengan sudut hadap 90° pada frekuensi gelombang 0,1 rad/detik dengan nilai 10.7 m/m. Sedangkan pada sudut 0° nilai mendekati nol karena dengan sudut tegak lurus dari gerakan *sway*, sehingga gaya yang bekerja searah dengan gerakan *sway* juga 0 atau mendekati 0 seperti saat kondisi kosong dan kapal naik dok. Nilai RAO maksimum saat kondisi balas penuh lebih besar dari pada saat dok kosong dan kapal naik dok

Secara keseluruhan, untuk RAO gerakan *sway* menunjukkan nilai maksimum pada sudut hadap 90° . Hal itu disebabkan karena gaya yang bekerja pada dok searah dengan arah gerakan *sway* dok sehingga mengakibatkan gerakan *sway* saat sudut gelombang 90° lebih besar daripada sudut 0° atau 45° . Sedangkan untuk nilai RAO berbeda pada masing-masing sarat. Nilai tertinggi terjadi pada kondisi kapal naik dok yakni sebesar 14.8 m/m

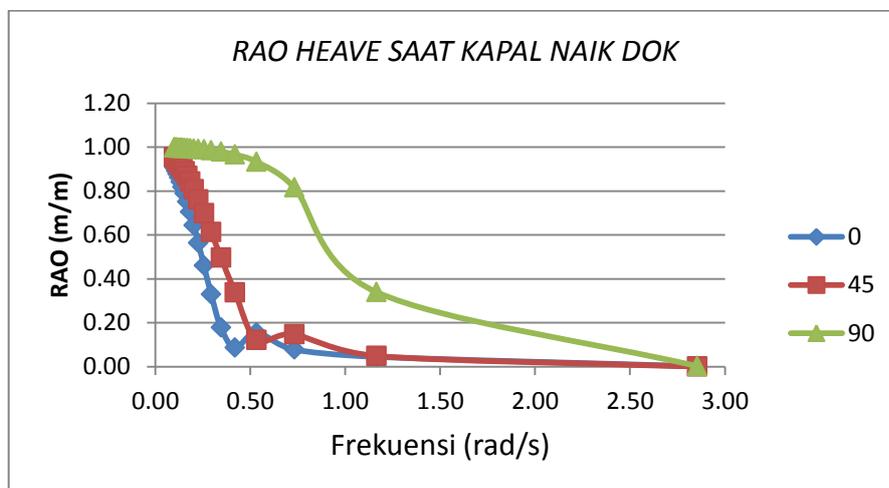
Setelah analisa gerakan *surge* dan *sway*, selanjutnya dilakukan analisa terhadap gerakan translasi lainnya yakni gerakan *heave*. Gerakan *heave* adalah gerakan translasi searah sumbu Z. Analisa dilakukan seperti pada dua gerakan sebelumnya yakni pada kondisi sarat dok kosong, sarat kapal naik dok, dan sarat kondisi balas penuh. Dilakukan pula dengan 3

sudut gelombang yakni sudut 0° , 45° dan 90° . Hasilnya sebagaimana terlihat pada grafik di bawah ini (Gambar IV.10-IV.12).



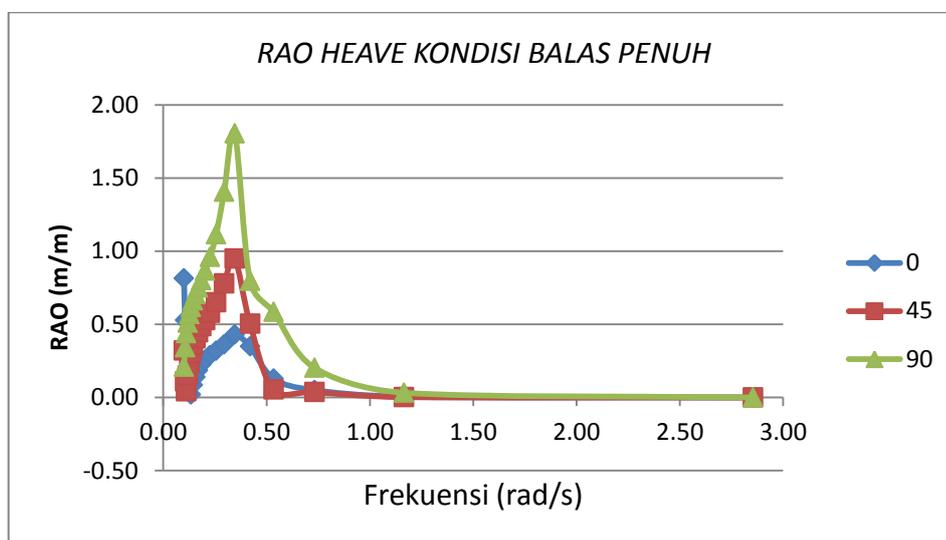
Gambar IV.10 RAO gerakan *heave* untuk sarat kosong

Berdasarkan Gambar IV.10 dapat diketahui bahwa terdapat *response amplitude operator (RAO)* pada gerakan *heave* saat dok apung kosong dengan variasi sudut hadap yang berbeda-beda yaitu 0° , 45° , 90° memiliki hasil yang berbeda untuk setiap sudutnya. Berdasarkan grafik juga dapat diketahui bahwa pada keadaan dok kosong, RAO *heave* terbesar terjadi ketika kapal mendapat gelombang dengan sudut hadap 90° pada frekuensi gelombang 0.1 rad/detik dengan nilai 0.99 m/m. Sedangkan pada sudut 0° dan 45° nilai maksimum RAO untuk gerakan *heave* lebih kecil meskipun selisihnya tidak terlalu jauh dengan sudut 90° . *Trend* yang ditunjukkan ketiga sudut tersebut juga identik meskipun nilainya berbeda.



Gambar IV.11 RAO gerakan *heave* untuk sarat saat kapal naik dok

Berdasarkan Gambar IV.11 dapat diketahui bahwa terdapat *response amplitude operator (RAO)* pada gerakan *heave* dok apung saat kapal naik dok dengan variasi sudut hadap yang berbeda-beda yaitu 0° , 45° , 90° memiliki hasil yang berbeda untuk setiap sudutnya. Berdasarkan grafik juga dapat diketahui bahwa pada keadaan kapal naik dok, RAO *heave* terbesar terjadi ketika kapal mendapat gelombang dengan sudut hadap 90° pada frekuensi gelombang 0.1 rad/detik dengan nilai 0.99 m/m. Sedangkan pada sudut 0° dan 45° nilai maksimum RAO untuk gerakan *heave* lebih kecil meskipun selisihnya tidak terlalu jauh dengan sudut 90° . *Trend* yang ditunjukkan ketiga sudut tersebut juga identik meskipun nilainya berbeda seperti pada kondisi dok kosong.



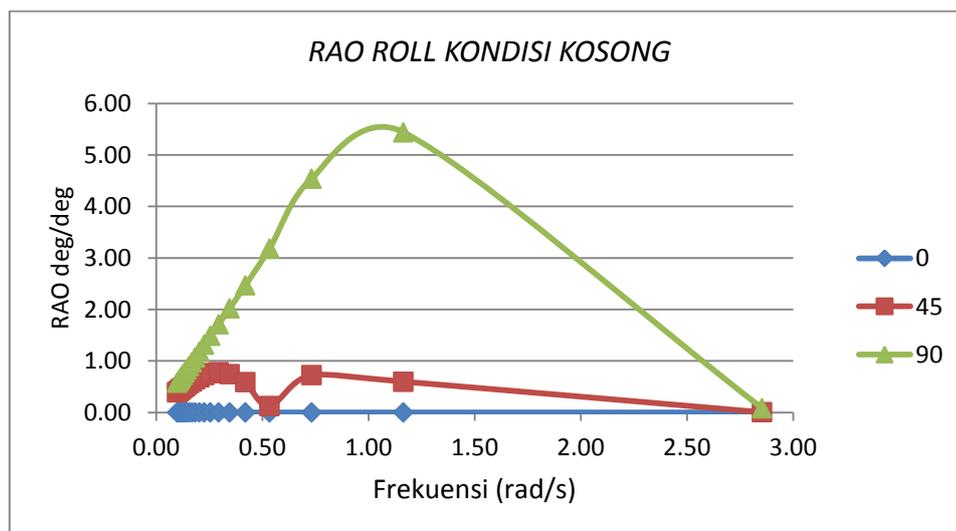
Gambar IV.12 RAO gerakan *heave* untuk sarat saat kondisi balas penuh

Dari Gambar IV.12 dapat diketahui bahwa terdapat *response amplitude operator (RAO)* pada gerakan *heave* dok apung saat kondisi balas penuh dengan variasi sudut hadap yang berbeda-beda yaitu 0° , 45° , 90° memiliki hasil yang juga berbeda untuk setiap sudutnya. Berdasarkan grafik juga dapat diketahui bahwa pada keadaan dok balas penuh, RAO *heave* terbesar terjadi ketika kapal mendapat gelombang dengan sudut hadap 90° pada frekuensi gelombang 0.35 rad/detik dengan nilai 1.88 m/m. Sedangkan pada sudut 0° dan 45° nilai maksimum RAO untuk gerakan *heave* lebih kecil meskipun selisihnya tidak terlalu jauh dengan sudut 90° . *Trend* yang ditunjukkan ketiga sudut tersebut juga identik meskipun nilainya berbeda, seperti pada kondisi dok kosong dan saat kapal naik dok.

Secara keseluruhan, untuk RAO gerakan *heave* menunjukkan nilai maksimal pada sudut hadap 90° . Sedangkan untuk nilainya berbeda-beda pada masing-masing sarat. Nilai

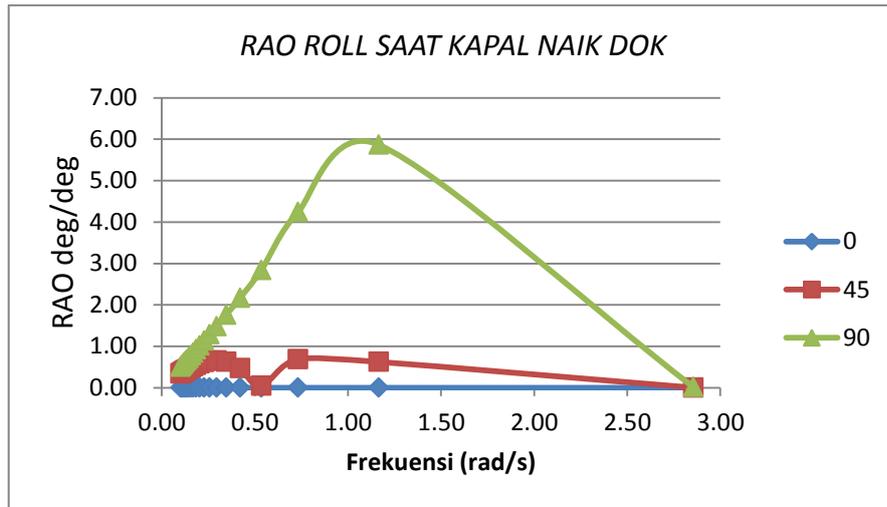
tertinggi terjadi pada kondisi balas penuh yakni sebesar 1.8 m/m. Selain itu dari grafik RAO gerakan heave, terutama pada saat kondisi balas dimana jarak *clearance* antara dok dengan dasar laut kecil, menunjukkan nilai RAO yang lebih kecil terlebih dahulu baru kemudian naik hingga maksimum dan turun lagi. Hal ini berbeda dengan dua kondisi sarat sebelumnya dimana frekuensi maksimum terjadi saat frekuensi rendah. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh jarak dasar laut dengan dengan bangunan apung.

Setelah analisa gerakan translasi berupa *surge*, *sway*, dan *heave*, selanjutnya dilakukan analisa terhadap gerakan rotasi yakni gerakan *roll*. Gerakan *roll* adalah gerakan rotasi dengan sumbu X pada bidang 3 dimensi sebagai sumbu putarnya. Analisa dilakukan seperti pada gerakan sebelumnya yakni pada kondisi sarat dok kosong, sarat kapal naik dok, dan sarat kondisi balas penuh. Dilakukan pula dengan 3 sudut gelombang yakni sudut 0° , 45° dan 90° . Hasilnya sebagaimana terlihat pada grafik di bawah ini (Gambar IV.13-IV.15).



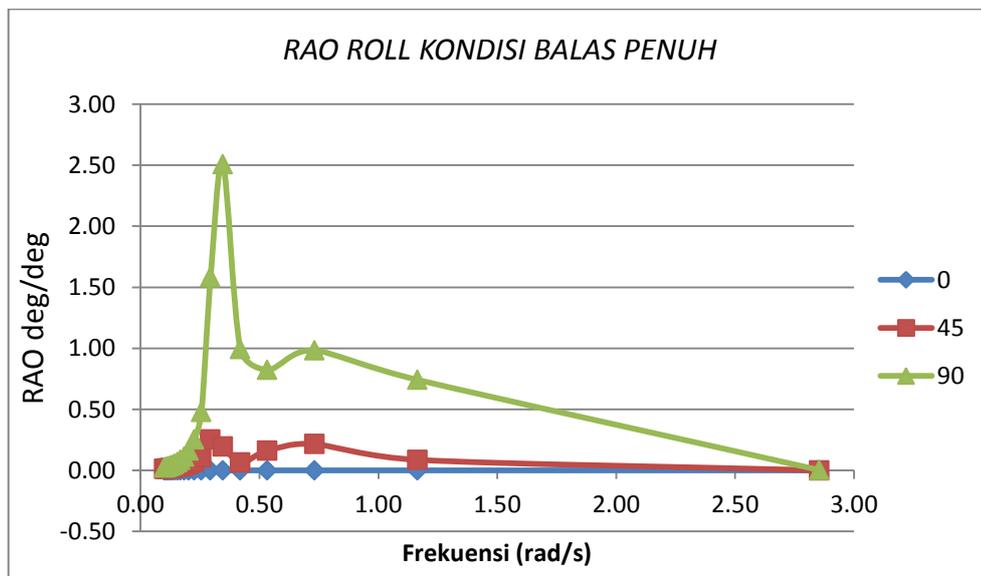
Gambar IV.13 RAO gerakan *roll* untuk sarat kosong

Berdasarkan Gambar IV.13 dapat diketahui bahwa terdapat *response amplitude operator (RAO)* pada gerakan *roll* saat dok apung kosong dengan variasi sudut hadap yang berbeda-beda yaitu 0° , 45° , 90° memiliki hasil yang berbeda untuk setiap sudutnya. Berdasarkan grafik juga dapat diketahui bahwa pada keadaan dok kosong, RAO *roll* terbesar terjadi ketika kapal mendapat gelombang dengan sudut hadap 90° pada frekuensi gelombang 1.17 rad/detik dengan nilai 5.43 deg/deg. Sedangkan pada sudut 0° dan 45° nilai maksimum RAO untuk gerakan *roll* lebih kecil dari pada sudut 90° .



Gambar IV.14 RAO gerakan *roll* untuk sarat saat kapal naik dok

Berdasarkan Gambar IV.14 dapat diketahui bahwa terdapat *response amplitude operator (RAO)* pada gerakan *roll* dok apung saat kapal naik dok dengan variasi sudut hadap yang berbeda-beda yaitu 0° , 45° , 90° memiliki hasil yang berbeda untuk setiap sudutnya. Berdasarkan grafik juga dapat diketahui bahwa pada keadaan kapal naik dok, RAO *roll* terbesar terjadi ketika kapal mendapat gelombang dengan sudut hadap 90° pada frekuensi gelombang 1.17 rad/detik dengan nilai 5.86 deg/deg. Sedangkan pada sudut 0° dan 45° nilai maksimum RAO untuk gerakan *roll* lebih dari pada sudut 90° .

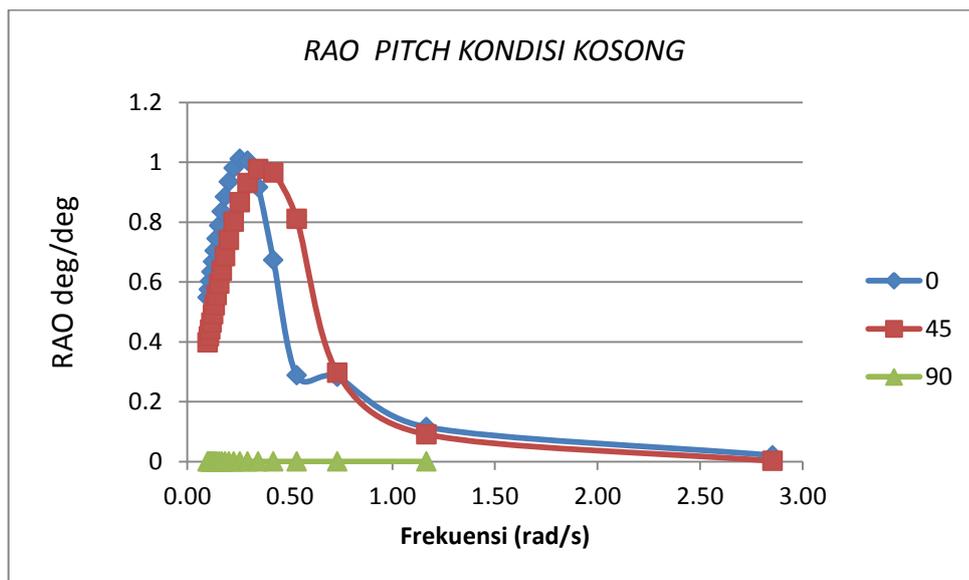


Gambar IV.15 RAO gerakan *roll* untuk sarat saat balas penuh

Dari Gambar IV.15 dapat diketahui bahwa terdapat *response amplitude operator (RAO)* pada gerakan *roll* dok apung saat kondisi balas penuh dengan variasi sudut hadap yang

berbeda-beda yaitu 0° , 45° , 90° memiliki hasil yang juga berbeda untuk setiap sudutnya. Berdasarkan grafik juga dapat diketahui bahwa pada keadaan dok balas penuh, RAO *roll* terbesar terjadi ketika kapal mendapat gelombang dengan sudut hadap 90° pada frekuensi gelombang 0.35 rad/detik dengan nilai 2.51 deg/deg. Sedangkan pada sudut 0° dan 45° nilai maksimum RAO untuk gerakan *roll* lebih kecil daripada sudut 90° .

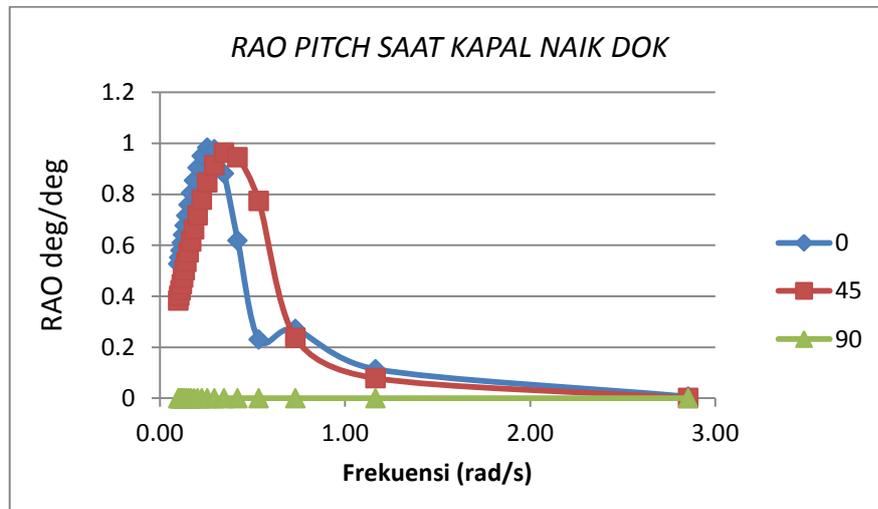
Secara keseluruhan, untuk RAO gerakan *roll* menunjukkan nilai maksimum pada sudut hadap 90° . Hal itu disebabkan karena gaya yang bekerja pada dok searah dengan arah gerakan *roll* dok sehingga mengakibatkan gerakan *rolling* saat sudut gelombang 90° lebih besar daripada sudut 45° . Sedangkan pada sudut 0° nilai mendekati nol karena dengan sudut tegak lurus dari rotasi *roll*, sehingga gaya yang bekerja searah dengan gerakan *roll* juga 0 atau mendekati 0. Untuk nilai RAO berbeda pada masing-masing sarat. Nilai tertinggi terjadi pada kondisi kapal naik dok yakni sebesar 5.86 deg/deg



Gambar IV.16 RAO gerakan *pitch* untuk sarat kosong

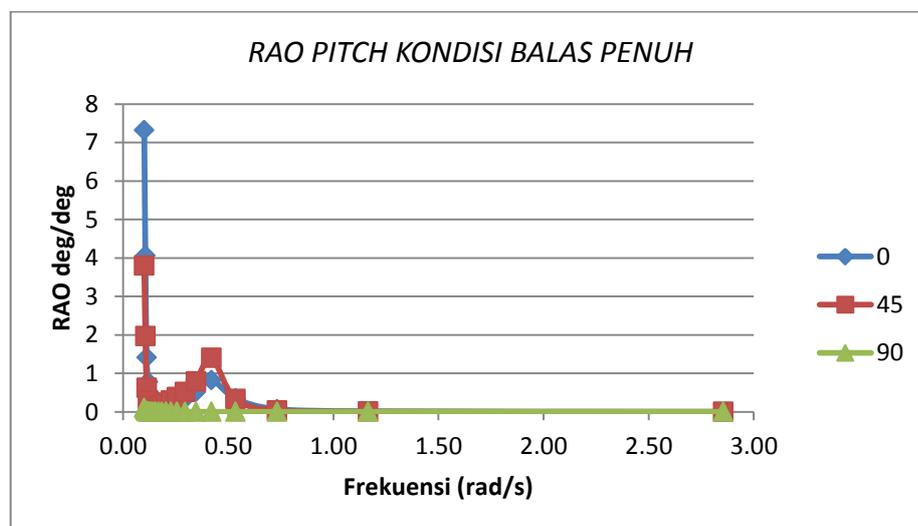
Berdasarkan Gambar IV.16 dapat diketahui bahwa terdapat *response amplitude operator (RAO)* pada gerakan *pitch* saat dok apung kosong dengan variasi sudut hadap yang berbeda-beda yaitu 0° , 45° , 90° memiliki hasil yang berbeda untuk setiap sudutnya. Berdasarkan grafik juga dapat diketahui bahwa pada keadaan dok kosong, RAO *pitch* terbesar terjadi ketika kapal mendapat gelombang dengan sudut hadap 0° pada frekuensi gelombang 0.23 rad/detik dengan nilai 0.98 deg/deg. Sedangkan pada sudut 45° nilai maksimum RAO

untuk gerakan *pitch* sedikit lebih kecil dari pada sudut 0° dan pada sudut 90° menunjukkan nilai mendekati 0.



Gambar IV.17 RAO gerakan *pitch* untuk sarat saat kapal naik dok

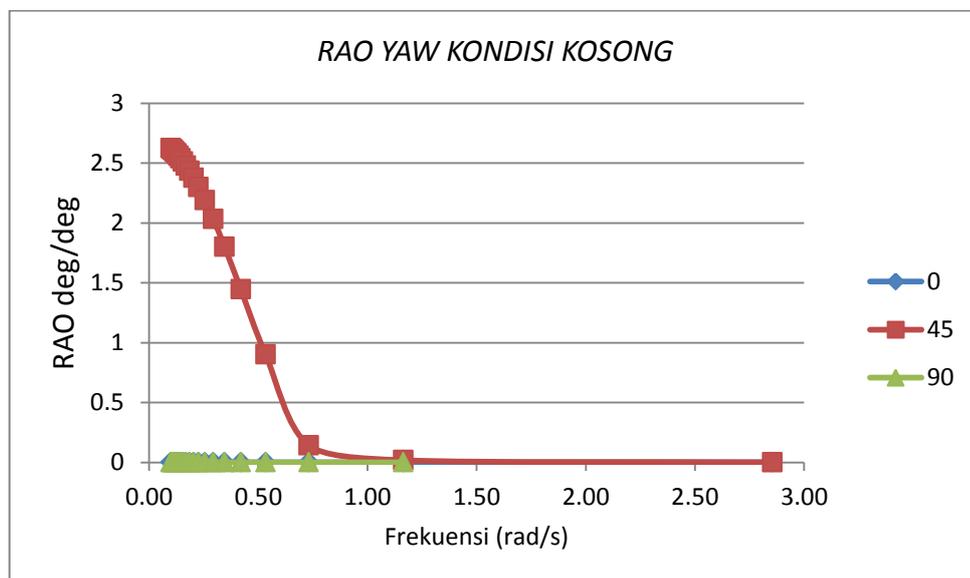
Berdasarkan Gambar IV.17 dapat diketahui bahwa terdapat *response amplitude operator (RAO)* pada gerakan *pitch* dok apung saat kapal naik dok dengan variasi sudut hadap yang berbeda-beda yaitu 0° , 45° , 90° memiliki hasil yang berbeda untuk setiap sudutnya. Berdasarkan grafik juga dapat diketahui bahwa pada keadaan kapal naik dok, RAO *pitch* terbesar terjadi ketika kapal mendapat gelombang dengan sudut hadap 0° pada frekuensi gelombang 0.26 rad/detik dengan nilai 0.98 deg/deg. Sedangkan pada sudut 45° nilai maksimum RAO untuk gerakan *pitch* lebih kecil dari pada sudut 0° . dan pada sudut 90° nilai RAO mendekati 0.



Gambar IV.18 RAO gerakan *pitch* untuk sarat saat kapal balas penuh

Berdasarkan Gambar IV.18 dapat diketahui bahwa terdapat *response amplitude operator (RAO)* pada gerakan *pitch* dok apung saat kondisi balas penuh dengan variasi sudut hadap yang berbeda-beda yaitu 0° , 45° , 90° memiliki hasil yang berbeda untuk setiap sudutnya. Dari grafik juga dapat diketahui bahwa pada keadaan balas penuh, RAO *pitch* terbesar terjadi ketika kapal mendapat gelombang dengan sudut hadap 0° pada frekuensi gelombang 0.1 rad/detik dengan nilai 7.32 deg/deg. Sedangkan pada sudut 45° nilai maksimum RAO untuk gerakan *pitch* lebih kecil dari pada sudut 0° . dan pada sudut 90° nilai RAO mendekati 0 seperti pada kedua kondisi sebelumnya.

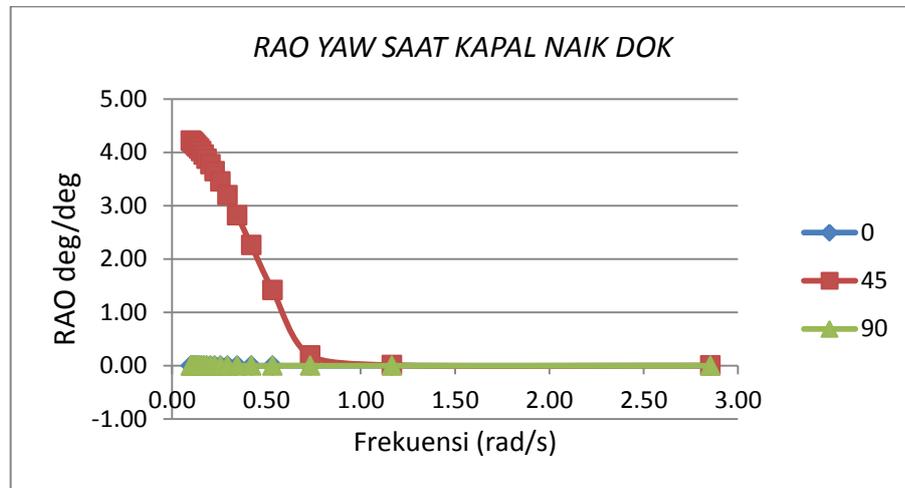
Secara keseluruhan, untuk RAO gerakan *pitch* menunjukkan nilai maksimal pada sudut hadap 0° . Hal itu disebabkan karena gaya yang bekerja pada dok searah dengan arah gerakan *pitching* dok sehingga mengakibatkan gerakan *pitching* saat sudut gelombang 0° lebih besar daripada sudut 45° . Sedangkan pada sudut 90° nilai mendekati nol karena dengan sudut tegak lurus dari gerakan *pitching*, sehingga gaya yang bekerja searah dengan gerakan *roll* juga 0 atau mendekati 0. Untuk nilai RAO berbeda-beda pada masing-masing sarat. Nilai tertinggi terjadi pada kondisi balas penuh yakni sebesar 7.32 deg/deg.



Gambar IV.19 RAO gerakan *yaw* untuk sarat kosong

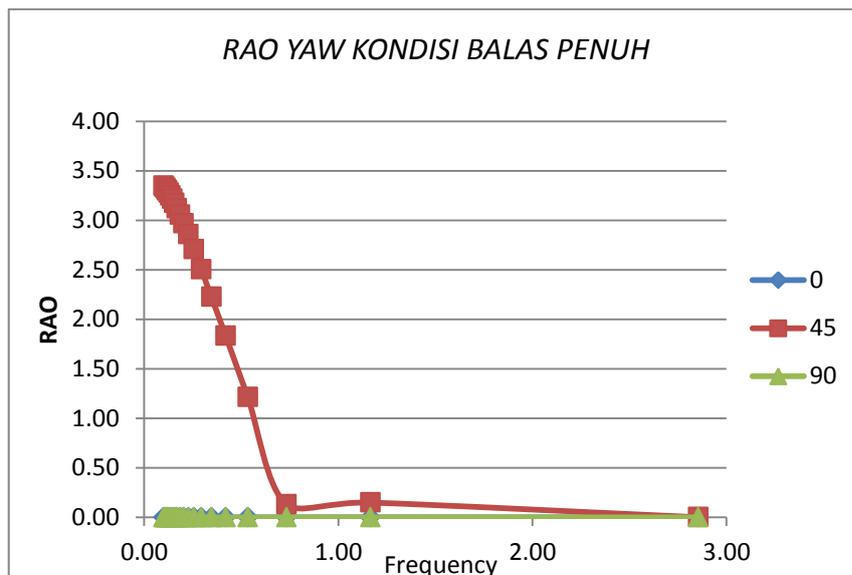
Berdasarkan Gambar IV.19 dapat diketahui bahwa terdapat *response amplitude operator (RAO)* pada gerakan *yaw* saat dok apung kosong dengan variasi sudut hadap yang berbeda-beda yaitu 0° , 45° , 90° memiliki hasil yang berbeda untuk setiap sudutnya. Berdasarkan grafik juga dapat diketahui bahwa pada keadaan dok kosong, RAO *yaw* terbesar terjadi ketika kapal mendapat gelombang dengan sudut hadap 45° pada frekuensi gelombang

0.1 rad/detik dengan nilai 2.62 deg/deg. Sedangkan pada sudut 0° dan 90° nilai RAO untuk gerakan *yaw* menunjukkan nilai mendekati 0.



Gambar IV.20 RAO gerakan *yaw* saat kapal naik dok

Berdasarkan Gambar IV.20 dapat diketahui bahwa terdapat *response amplitude operator (RAO)* pada gerakan *yaw* saat komndisi kapal sedang naik dok dengan variasi sudut hadap yang berbeda-beda yaitu 0° , 45° , 90° memiliki hasil yang berbeda untuk setiap sudutnya. Berdasarkan grafik juga dapat diketahui bahwa pada saat komndisi kapal sedang naik dok, RAO *yaw* terbesar terjadi ketika kapal mendapat gelombang dengan sudut hadap 45° pada frekuensi gelombang 0.1 rad/detik dengan nilai 4.21 deg/deg. Sedangkan pada sudut 0° dan 90° nilai RAO untuk gerakan *yaw* menunjukkan nilai mendekati 0.



Gambar IV.21 RAO gerakan *yaw* saat balas penuh

Berdasarkan Gambar IV.21 dapat diketahui bahwa terdapat *response amplitude operator (RAO)* pada gerakan *yaw* saat kondisi balas penuh dengan variasi sudut hadap yang berbeda-beda yaitu 0° , 45° , 90° memiliki hasil yang berbeda untuk setiap sudutnya. Dari grafik juga dapat diketahui bahwa pada saat kondisi balas penuh, RAO *yaw* terbesar terjadi ketika kapal mendapat gelombang dengan sudut hadap 45° pada frekuensi gelombang 0.1 rad/detik dengan nilai 3.35 deg/deg. Sedangkan pada sudut 0° dan 90° nilai RAO untuk gerakan *yaw* menunjukkan nilai mendekati 0.

Secara keseluruhan, untuk RAO gerakan *yaw* menunjukkan nilai maksimal pada sudut hadap 45° . Sedangkan untuk nilainya berbeda-beda pada masing-masing sarat. Hal itu disebabkan gerakan kedua sudut tersebut lebih menghasilkan gerakan yang searah dengan arah gaya dari gelombang tersebut, baik gerakan translasi maupun rotasi dan nilainya jauh lebih besar dibandingkan yang menghasilkan gerakan *yaw* pada dok. Nilai tertinggi terjadi pada kondisi kapal naik dok yakni sebesar 4.21 deg/deg.

Berdasarkan hasil RAO diatas dapat dilihat bahwasannya ketika dok apung dengan *wave heading* 0° maka kapal akan menerima arah gelombang secara memanjang dok apung, sehingga hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa gerakan dok apung secara memanjang jauh lebih besar daripada gerakan dok apung secara melintang yaitu dalam gerakan translasi dapat dilihat pada gerakan *surge* jauh lebih besar dari *sway*, selain itu dalam gerakan rotasi dapat dilihat pada gerakan *pitching* jauh lebih besar dari gerakan *rolling*. Dan juga sebaliknya ketika dok apung mendapatkan sudut heading 90° , maka dok apung akan menerima beban gelombang dari arah melintang, sehingga hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa gerakan dok apung perang secara melintang jauh lebih besar daripada gerakan dok apung secara memanjang, yaitu dapat dilihat dalam gerakan *sway* jauh lebih besar daripada gerakan *surge*, dan gerakan *rolling* jauh lebih besar dari gerakan *pitching*. Untuk koordinat RAO secara detail dapat dilihat pada Lampiran A.

IV.5 Respon Gerakan Dok Apung

Untuk mendapatkan nilai respon gerakan dari dok apung akibat beban lingkungan, maka nilai RAO yang telah didapatkan dikalikan dengan spectrum gelombang. Spektrum gelombang yang digunakan adalah tipe JONSWAP dengan persamaan

$$S_j(\omega) = \frac{\alpha g^2}{\omega^5} \exp \left[-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega_p}{\omega} \right)^4 \right] \gamma^\tau \dots\dots\dots 1$$

$$\tau = \exp \left[\frac{(\omega - \omega_p)^2}{2\sigma^2\omega_p^2} \right]$$

Dimana $S_j(\omega)$ merupakan *wave spectrum* untuk tipe gelombang JONSWAP. Untuk tinggi gelombang dan kecepatan angin data didapatkan dari badan meteorologi klimatologi dan geofisika (BMKG) tanggal 22 Maret 2016.

Proses analisis menggunakan perangkat lunak Ansys Aqwa, dilakukan perhitungan terhadap response gerakan dari dok apung. Proses analisis dilakukan selama minimum tiga jam sesuai peraturan yang disyaratkan DNV untuk mendapatkan statistik yang cukup, baik untuk konfigurasi menyebar (*spread*) atau menyilang (*cross*). Untuk konfigurasi menyebar, hasilnya sebagaimana terlihat pada tabel di bawah ini

Tabel IV.2 Respon gerakan maksimum dok apung kosong (sudut 0°)

structure position empty dock 0 degree					
global x		global y		global z	
max	min	max	min	max	min
0.038	-0.039	3.10E-07	-2.80E-07	0.036	-0.034
global RX		global RY		global RZ	
max	min	max	min	max	min
1.00E-06	-8.40E-07	0.1	-0.086	2.50E-05	-2.30E-05

Tabel IV.3 Respon gerakan maksimum dok apung kosong (sudut 45°)

structure position empty dock 45 degree					
global x		global y		global z	
max	min	max	min	max	min
0.038	-0.039	5.80E-02	-6.00E-02	0.036	-0.034
global RX		global RY		global RZ	
max	min	max	min	max	min
1.00E-06	-8.40E-07	0.1	-0.086	2.50E-05	-2.30E-05

Tabel IV.4 Respon gerakan maksimum dok apung kosong (sudut 90°)

structure position empty dock 90 degree					
global x		global y		global z	
max	min	max	min	max	min
2.00E-06	-2.10E-06	0.348	-0.396	0.34	-0.31

global RX		global RY		global RZ	
max	min	max	min	max	min
1.929	-2.056	9.40E-05	-7.60E-05	2.00E-04	-2.30E-04

Dari ketiga tabel di atas, dapat dilihat response gerakan dari dok apung pada saat sarat kosong. Untuk gerakan *surge* nilai maksimum terjadi pada saat gelombang berlawanan dengan sumbu X (ditunjukkan dengan nilai minus) yakni saat sudut hadap 0° dan 45° . Pada kondisi tersebut, dok apung bertranslasi sebesar 0.039 m berlawanan arah dengan sumbu X. Untuk gerakan *sway* nilai maksimum terjadi pada saat gelombang berlawanan dengan sumbu Y (ditunjukkan dengan nilai minus) yakni saat sudut hadap 90° . Pada kondisi tersebut, dok apung bertranslasi sebesar 0.396 m berlawanan arah dengan sumbu Y. Untuk gerakan *heave* nilai maksimum terjadi pada saat gelombang searah dengan sumbu Y (ditunjukkan dengan nilai positif) yakni saat sudut hadap 90° . Pada kondisi tersebut, dok apung bertranslasi sebesar 0.34 m searah dengan sumbu Z.

Nilai maksimum juga dapat dilihat untuk gerakan rotasi. Untuk gerakan *roll* nilai maksimum terjadi pada saat gelombang berlawanan arah dengan sumbu Y (ditunjukkan dengan nilai negatif) yakni saat sudut hadap 90° . Pada kondisi tersebut, dok apung berotasi sebesar 2.06° berlawanan arah jarum jam. Untuk gerakan *pitch* nilai maksimum terjadi pada saat gelombang searah dengan sumbu X (ditunjukkan dengan nilai positif) yakni saat sudut hadap 0° dan 45° . Pada kondisi tersebut, dok apung berotasi sebesar 0.1° searah jarum jam. Untuk gerakan *yaw* nilai maksimum terjadi pada saat gelombang berlawanan arah dengan sumbu Y (ditunjukkan dengan nilai negatif) yakni saat sudut hadap 90° . Pada kondisi tersebut, dok apung berotasi sebesar 0.00023° searah jarum jam.

Tabel IV.5 Respon gerakan maksimum dok apung saat kapal *docking* (sudut 0°)

structure position docked-ship dock 0 degree					
global x		global y		global z	
max	min	max	min	max	min
0.069	-0.071	1.10E-06	-1.10E-06	0.035	-0.031
global RX		global RY		global RZ	
max	min	max	min	max	min
5.40E-04	-5.40E-04	0.093	-0.083	9.70E-04	-7.90E-04

Tabel IV.6 Respon gerakan maksimum dok apung saat kapal *docking* (sudut 45⁰)

structure position docked-ship dock 45 degree					
global x		global y		global z	
max	min	max	min	max	min
0.067	-0.064	0.074	-0.079	0.039	-0.04
global RX		global RY		global RZ	
max	min	max	min	max	min
0.217	-0.221	0.154	-0.149	0.000238	-0.000238

Tabel IV.7 Respon gerakan maksimum dok apung saat kapal *docking* (sudut 90⁰)

structure position docked-ship dock 90 degree					
global x		global y		global z	
max	min	max	min	max	min
4.20E-06	-3.80E-06	3.8E-07	-2.8E-07	0.347	-0.315
global RX		global RY		global RZ	
max	min	max	min	max	min
1.834	-1.962	2.00E-04	-1.70E-04	2.00E-04	-2.10E-04

Dari ketiga tabel di atas, dapat dilihat response gerakan dari dok apung pada saat kapal sedang naik dok. Untuk gerakan *surge* nilai maksimum terjadi pada saat gelombang berlawanan dengan sumbu X (ditunjukkan dengan nilai minus) yakni saat sudut hadap 0⁰. Pada kondisi tersebut, dok apung bertranslasi sebesar 0.071 m berlawanan arah dengan sumbu X. Untuk gerakan *sway* nilai maksimum terjadi pada saat gelombang berlawanan dengan sumbu Y (ditunjukkan dengan nilai minus) yakni saat sudut hadap 90⁰ Pada kondisi tersebut, dok apung bertranslasi sebesar 0.079 m berlawanan arah dengan sumbu Y. Untuk gerakan *heave* nilai maksimum terjadi pada saat gelombang searah dengan sumbu Z (ditunjukkan dengan nilai positif) yakni saat sudut hadap 90⁰ Pada kondisi tersebut, dok apung bertranslasi sebesar 0.347 m sarah dengan sumbu Z.

Nilai maksimum juga dapat dilihat untuk gerakan rotasi. Untuk gerakan *roll* nilai maksimum nilai maksimum terjadi pada saat gelombang berlawanan arah dengan sumbu Y (ditunjukkan dengan nilai negatif) yakni saat sudut hadap 90⁰. Pada kondisi tersebut, dok apung berotasi sebesar 1.96⁰ berlawanan arah jarum jam. Untuk gerakan *pitch* nilai maksimum terjadi pada saat gelombang searah dengan sumbu X (ditunjukkan dengan nilai positif) yakni saat sudut hadap 45⁰. Pada kondisi tersebut, dok apung berotasi sebesar 0.154⁰

searah jarum jam. Untuk gerakan *yaw* nilai maksimum terjadi pada saat gelombang bellawanan arah dengan sumbu Y (ditunjukkan dengan nilai positif) yakni saat sudut hadap 0° . Pada kondisi tersebut, dok apung berotasi sebesar 0.00097° searah jarum jam.

Tabel IV.8 Respon gerakan maksimum dok apung kondisi balas penuh (sudut 0°)

structure position full-ballast dock 0 degree					
global x		global y		global z	
max	min	max	min	max	min
0.191	-0.201	1.7E-06	-1.6E-06	0.018	-0.017
global RX		global RY		global RZ	
max	min	max	min	max	min
9.40E-07	-1.10E-06	0.045	-0.047	1.90E-05	-1.60E-05

Tabel IV.9 Respon gerakan maksimum dok apung kondisi balas penuh (sudut 45°)

structure position full-ballast dock 45 degree					
global x		global y		global z	
max	min	max	min	max	min
0.148	-0.166	3.8E-07	-2.8E-07	0.015	-0.016
global RX		global RY		global RZ	
max	min	max	min	max	min
0.074	-0.069	0.059	-0.058	0.208	-0.204

Tabel IV.10 Respon gerakan maksimum dok apung kondisi balas penuh (sudut 90°)

structure position full-ballast dock 90 degree					
global x		global y		global z	
max	min	max	min	max	min
0.009	-0.008	0.365	-0.415	0.125	-0.129
global RX		global RY		global RZ	
max	min	max	min	max	min
0.388	-0.379	0.007	-0.008	0.004	-0.003

Dari ketiga tabel di atas, dapat dilihat response gerakan dari dok apung pada saat balas penuh. Untuk gerakan *surge* nilai maksimum terjadi pada saat gelombang berlawanan dengan sumbu X (ditunjukkan dengan nilai minus) yakni saat sudut hadap 0° . Pada kondisi tersebut, dok apung bertranslasi sebesar 0.021 m berlawanan arah dengan sumbu X. Untuk gerakan

sway nilai maksimum terjadi pada saat gelombang berlawanan dengan sumbu Y (ditunjukkan dengan nilai minus) yakni saat sudut hadap 90^0 Pada kondisi tersebut, dok apung bertranslasi sebesar 0.415 m berlawanan arah dengan sumbu Y. Untuk gerakan *heave* nilai maksimum terjadi pada saat gelombang searah dengan sumbu Z (ditunjukkan dengan nilai negatif) yakni saat sudut hadap 90^0 Pada kondisi tersebut, dok apung bertranslasi sebesar 0.129 m berlawanan arah dengan sumbu Z.

Nilai maksimum juga dapat dilihat untuk gerakan rotasi. Untuk gerakan *roll* nilai maksimum nilai maksimum terjadi pada saat gelombang searah dengan sumbu Y (ditunjukkan dengan nilai negatif) yakni saat sudut hadap 90^0 . Pada kondisi tersebut, dok apung berotasi sebesar 1.96^0 berlawanan arah jarum jam. Untuk gerakan *pitch* nilai maksimum terjadi pada saat sudut hadap 45^0 . Pada kondisi tersebut, dok apung berotasi sebesar 0.059^0 searah jarum jam. Untuk gerakan *yaw* nilai maksimum terjadi pada saat sudut hadap 45^0 . Pada kondisi tersebut, dok apung berotasi sebesar 0.208^0 searah jarum jam.

Secara umum pada desain pengikatan menyebar (*spread*), nilai *surge* lebih besar ketika sudut hadap gelombang 0^0 dengan nilai terbesar pada saat kondisi balas penuh yakni sebesar 0.201 m berlawanan arah dengan sumbu X positif. Untuk nilai *sway* lebih besar ketika sudut hadap gelombang 90^0 dengan nilai terbesar pada saat kondisi balas penuh yakni sebesar 0.415 m berlawanan arah dengan sumbu Y positif. Untuk nilai *heave* lebih besar ketika sudut hadap gelombang 90^0 dengan nilai terbesar pada saat kondisi kapal naik dok yakni sebesar 0.347 m searah dengan sumbu Z positif. Demikian pula untuk gerakan rotasi. Secara umum nilai gerakan *roll* lebih besar ketika sudut hadap gelombang 90^0 dengan nilai terbesar pada saat kondisi dok kosong yakni sebesar 2.06^0 berlawanan arah dengan sumbu jarum jam. Untuk nilai *pitch* lebih besar ketika sudut hadap gelombang 0^0 dengan nilai terbesar pada saat kapal naik dok yakni sebesar 0.154^0 searah jarum jam. Untuk nilai *yaw* lebih besar ketika sudut hadap gelombang 45^0 dengan nilai terbesar pada saat balas penuh yakni sebesar 0.208^0 searah dengan sumbu Z positif

Hasil atas adalah untuk konfigurasi pengikatan menyebar. Sedangkan untuk konfigurasi menyilang adala sebagai berikut:

Tabel IV.11 Respon gerakan maksimum dok apung kosong (sudut hadap 0^0)

structure position empty dock 0 degree					
global x		global y		global z	
max	min	max	min	max	min
0.038	-0.04	1.70E-07	-1.90E-07	0.036	-0.034

global RX		global RY		global RZ	
max	min	max	min	max	min
6.20E-07	-6.00E-07	0.1	-0.086	1.30E-05	-2.20E-05

Tabel IV.12 Respon gerakan maksimum dok apung kosong (sudut hadap 45⁰)

structure position empty dock 45 degree					
global x		global y		global z	
max	min	max	min	max	min
0.037	-0.037	4.70E-01	-0.458	0.035	-0.037
global RX		global RY		global RZ	
max	min	max	min	max	min
0.208	-0.22	0.172	-0.166	0.155	-0.155

Tabel IV.13 Respon gerakan maksimum dok apung kosong (sudut hadap 90⁰)

structure position empty dock 90 degree					
global x		global y		global z	
max	min	max	min	max	min
1.10E-06	-1.30E-06	0.352	-0.396	0.349	-0.296
global RX		global RY		global RZ	
max	min	max	min	max	min
1.948	-2.055	6.50E-05	-5.90E-05	2.00E-04	-1.70E-04

Dari ketiga tabel di atas, dapat dilihat response gerakan dari dok apung pada saat balas penuh. Untuk gerakan *surge* nilai maksimum terjadi pada saat gelombang berlawanan dengan sumbu X (ditunjukkan dengan nilai minus) yakni saat sudut hadap 0⁰. Pada kondisi tersebut, dok apung bertranslasi sebesar 0.04 m berlawanan arah dengan sumbu X. Untuk gerakan *sway* nilai maksimum terjadi pada saat sudut hadap 45⁰ Pada kondisi tersebut, dok apung bertranslasi sebesar 0.47 m searah dengan sumbu Y. Untuk gerakan *heave* nilai maksimum terjadi pada saat gelombang searah dengan sumbu Y (ditunjukkan dengan nilai positif) yakni saat sudut hadap 90⁰ Pada kondisi tersebut, dok apung bertranslasi sebesar 0.349 m searah dengan sumbu Z.

Nilai maksimum juga dapat dilihat untuk gerakan rotasi. Untuk gerakan *roll* nilai maksimum nilai maksimum terjadi pada saat gelombang berlawanan arah dengan sumbu Y (ditunjukkan dengan nilai negatif) yakni saat sudut hadap 90⁰. Pada kondisi tersebut, dok

apung berotasi sebesar 2.055° berlawanan arah jarum jam. Untuk gerakan *pitch* nilai maksimum terjadi pada saat sudut hadap 45° . Pada kondisi tersebut, dok apung berotasi sebesar 0.172° searah jarum jam. Untuk gerakan *yaw* nilai maksimum terjadi pada saat sudut hadap 45° . Pada kondisi tersebut, dok apung berotasi sebesar 0.155° baik searah maupun berlawanan jarum jam.

Tabel IV.14 Respon gerakan maksimum dok apung saat kapal naik dok (sudut hadap 0°)

Structure Position Full-Ballast Dock 0 Degree					
Global Z		Global Y		Global Z	
Max	Min	Max	Min	Max	Min
0.069	-0.071	1.40E-06	-1.20E-06	0.035	-0.031
global RX		global RY		global RZ	
max	min	max	min	max	min
3.10E-06	-2.70E-06	0.093	-0.083	4.00E-05	-3.50E-05

Tabel IV.15 Respon gerakan maksimum dok apung saat kapal naik dok (sudut hadap 45°)

Structure Position Full-Ballast Dock 0 Degree					
Global X		Global Y		Global Z	
Max	Min	Max	Min	Max	Min
0.067	-0.064	0.077	-0.079	0.039	-0.04
global RX		global RY		global RZ	
max	min	max	min	max	min
0.214	-0.221	0.153	-0.151	0.24	-0.24

Tabel IV.16 Respon gerakan maksimum dok apung saat kapal naik dok (sudut hadap 90°)

Structure Position Full-Ballast Dock 0 Degree					
Global X		Global Y		Global Z	
Max	Min	Max	Min	Max	Min
4.30E-06	-3.40E-06	0.697	-0.717	0.346	-0.319
global RX		global RY		global RZ	
max	min	max	min	max	min
1.802	-1.985	1.90E-04	-1.70E-04	1.80E-04	-1.90E-04

Dari ketiga tabel di atas, dapat dilihat response gerakan dari dok apung pada kapal naik dok. Untuk gerakan *surge* nilai maksimum terjadi pada saat gelombang berlawanan dengan sumbu X (ditunjukkan dengan nilai minus) yakni saat sudut hadap 0° . Pada kondisi

tersebut, dok apung bertranslasi sebesar 0.071 m berlawanan arah dengan sumbu X. Untuk gerakan *sway* nilai maksimum terjadi pada saat gelombang berlawanan dengan sumbu Y (ditunjukkan dengan nilai minus) yakni saat sudut hadap 90⁰ Pada kondisi tersebut, dok apung bertranslasi sebesar 0.717 m berlawanan arah dengan sumbu Y. Untuk gerakan *heave* nilai maksimum terjadi pada saat gelombang searah dengan sumbu Y (ditunjukkan dengan nilai positif) yakni saat sudut hadap 90⁰ Pada kondisi tersebut, dok apung bertranslasi sebesar 0.346 m searah dengan sumbu Z.

Nilai maksimum juga dapat dilihat untuk gerakan rotasi. Untuk gerakan *roll* nilai maksimum nilai maksimum terjadi pada saat gelombang berlawanan arah dengan sumbu Y (ditunjukkan dengan nilai negatif) yakni saat sudut hadap 90⁰. Pada kondisi tersebut, dok apung berotasi sebesar 1.99⁰ berlawanan arah jarum jam. Untuk gerakan *pitch* nilai maksimum terjadi pada saat sudut hadap 45⁰. Pada kondisi tersebut, dok apung berotasi sebesar 0.153⁰ searah jarum jam. Untuk gerakan *yaw* nilai maksimum terjadi pada saat sudut hadap 45⁰. Pada kondisi tersebut, dok apung berotasi sebesar 0.24⁰ searah jarum jam.

Tabel IV.17 Respon gerakan maksimum dok apung balas penuh (sudut hadap 0⁰)

Structure Position Full-Ballast Dock 0 Degree					
Global X		Global Y		Global Z	
Max	Min	Max	Min	Max	Min
0.191	-0.201	1.2e-06	-1.2e-06	0.018	-0.017
Global RX		Global RY		Global RZ	
Max	Min	Max	Min	Max	Min
6.40E-07	-6.50E-07	0.045	-0.047	2.70E-05	-3.10E-05

Tabel IV.18 Respon gerakan maksimum dok apung balas penuh (sudut hadap 45⁰)

Structure Position Full-Ballast Dock 45 Degree					
Global X		Global Y		Global Z	
Max	Min	Max	Min	Max	Min
2.314	-2.242	3.8e-07	-2.8e-07	0.273	-0.291
Global RX		Global RY		Global RZ	
Max	Min	Max	Min	Max	Min
0.052	-0.051	0.271	-0.265	1.029	-1.166

Tabel IV.19 Respon gerakan maksimum dok apung balas penuh (sudut hadap 90⁰)

Structure Position Full-Ballast Dock 90 Degree					
Global X		Global Y		Global Z	
Max	Min	Max	Min	Max	Min
0.007	-0.007	0.357	-0.414	0.125	-0.129
Global RX		Global RY		Global RZ	
Max	Min	Max	Min	Max	Min
0.388	-0.375	0.006	-0.005	0.004	-0.004

Dari ketiga tabel di atas, dapat dilihat response gerakan dari dok apung kondisi balas penuh. Untuk gerakan *surge* nilai maksimum terjadi pada sudut hadap 0⁰. Pada kondisi tersebut, dok apung bertranslasi sebesar 2.31 m berlawanan arah dengan sumbu X. Untuk gerakan *sway* nilai maksimum terjadi pada saat gelombang berlawanan dengan sumbu Y (ditunjukkan dengan nilai minus) yakni saat sudut hadap 90⁰ Pada kondisi tersebut, dok apung bertranslasi sebesar 0.414 m berlawanan arah dengan sumbu Y. Untuk gerakan *heave* nilai maksimum terjadi pada saat sudut hadap 45⁰. Pada kondisi tersebut, dok apung bertranslasi sebesar 0.291 m searah dengan sumbu Z.

Nilai maksimum juga dapat dilihat untuk gerakan rotasi. Untuk gerakan *roll* nilai maksimum nilai maksimum terjadi pada saat gelombang berlawanan arah dengan sumbu Y (ditunjukkan dengan nilai negatif) yakni saat sudut hadap 90⁰. Pada kondisi tersebut, dok apung berotasi sebesar 1.99⁰ berlawanan arah jarum jam. Untuk gerakan *pitch* nilai maksimum terjadi pada saat sudut hadap 45⁰. Pada kondisi tersebut, dok apung berotasi sebesar 0.271⁰ searah jarum jam. Untuk gerakan *yaw* nilai maksimum terjadi pada saat sudut hadap 45⁰. Pada kondisi tersebut, dok apung berotasi sebesar 1.17⁰ searah jarum jam.

Secara umum pada konfigurasi pengikatan menyilang mirip dengan hasil pada konfigurasi pengikatan menyebar (*spread*), nilai *surge* lebih besar ketika sudut hadap gelombang 0⁰ dengan nilai terbesar pada saat kondisi balas penuh yakni sebesar 2.31 m searah dengan sumbu X positif. Untuk nilai *sway* lebih besar ketika sudut hadap gelombang 90⁰ dengan nilai terbesar pada saat kondisi kapal naik dok yakni sebesar 0.717 m berlawanan arah dengan sumbu Y positif. Untuk nilai *heave* lebih besar ketika sudut hadap gelombang 90⁰ dengan nilai terbesar pada saat kondisi kapal kosong yakni sebesar 0.349 m searah dengan sumbu Z positif. Demikian pula untuk gerakan rotasi. Secara umum nilai gerakan *roll* lebih besar ketika sudut hadap gelombang 90⁰ dengan nilai terbesar pada saat kondisi dok kosong yakni sebesar 2.06⁰ berlawanan arah dengan sumbu jarum jam. Untuk nilai *pitch* lebih

besar ketika sudut hadap gelombang 0° dengan nilai terbesar pada saat balas penuh yakni sebesar 0.271° searah jarum jam. Untuk nilai *yaw* lebih besar ketika sudut hadap gelombang 45° dengan nilai terbesar pada saat balas penuh yakni sebesar 0.117° berlawanan arah jarum jam. Perbandingan gerakan maksimum (sudut 90°) juga dapat dilihat pada grafik (Lampiran B1) untuk kondisi menyilang.

Hasil yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan peraturan yang berlaku. Peraturan untuk dok apung ini adalah DNV, sehingga hasil yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan batas maksimum yang diberikan oleh DNV. Berikut adalah tabel yang menunjukkan perbandingan tersebut.

Tabel IV.20 Perbandingan gerakan maksimum dengan standar DNV

	Spread	Cross	Standard	Conclusion
Roll	1.93°	0.27°	10°	memenuhi
pitch	0.15°	0.35°	5°	memenuhi

Dari tabel IV.20 di atas dapat diketahui bahwa nilai gerakan maksimum dari dok apung telah memenuhi standar yang berlaku. Untuk nilai gerakan roll maksimum sesuai peraturan adalah 10° , sedangkan pada kedua konfigurasi, baik menyebar maupun menyilang keduanya memiliki nilai gerakan maksimum dibawah 10° . Begitu pula untuk gerakan pitch nilai gerakan maksimum yang diizinkan adalah 5° , sedangkan gerakan pada dok maksimum adalah 0.35° pada pengikatan menyilang dan 0.15° pada konfigurasi menyebar.

IV.6 Tegangan pada Rantai Pengikatan

Adanya gaya luar yang bekerja pada dok apung membuat dok apung bergerak searah gaya yang mengenainya. Untuk menjaga agar dok apung tetap pada jarak yang diinginkan maka digunakan rantai pengikatan yang ujungnya ditempatkan pada dasar laut agar dok apung tetap berada pada area yang diinginkan meskipun terjadi gerakan. Sebagai akibat dari gerakan dok apung tersebut terjadilah tegangan pada rantai pengikatannya. Akibatnya rantai menerima beban berupa tegangandi sepanjang rantai. Sedangkan rantai pengikat tersebut memiliki batas beban yang mampu ditahan sampai rantai tersebut putus (*break load*). Sehingga harus dilakukan perhitungan terhadap beban yang diterima oleh rantai akibat gerakan dari dok apung.

Perangkat lunak ansys aqwa dapat membantu melakukan perhitungan beban yang diterima akibat gerakan dari dok apung. Asumsi yang digunakan adalah tumpuan tetap (*fixed*) pada ujung rantai yang ditambatkan pada dasar laut. Perhitungan secara numerik dilakukan

dengan lama waktu percobaan minimum selama 3 jam sesuai peraturan yang berlaku pada kelas DNV-GL. Sedangkan sebagai acuan kekuatan maksimum rantai adalah pada spesifikasi rantai yang digunakan dari Anchor Industries yang juga bersertifikat DNV-GL

Setelah dilakukan perhitungan numerik menggunakan perangkat lunak ansys aqwa, didapatkan nilai tegangan setiap detik untuk kedelapan rantai pengikat. Untuk memastikan apakah kekuatan rantai memenuhi batas maksimum tegangan rantai maka diperiksa tegangan maksimum pada rantai dan membandingkannya dengan spesifikasi rantai yang ada pada sertifikat.

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai maksimum sebagai berikut untuk ketiga arah gelombang yakni 0° , 45° , dan 90° . Perhitungan juga dilakukan dengan 3 kondisi sarat yakni sarat kosong, sarat saat kapal naik dok, dan sarat balas penuh. Juga dilakukan perhitungan dengan 2 konfigurasi pengikatan yakni menyebar (*spread*) dan menyilang (*cross*). Hasilnya adalah sebagai berikut:

Tabel IV.21 Nilai maksimum tegangan rantai saat sarat kosong

Total Tension Empty						
	0°		45°		90°	
	max	min	max	min	max	min
cable 1	22902.945	16390.703	177307.375	5214.833	776055.063	6868.520
cable 2	191006.109	6343.107	44065.043	-5750.995	20040.469	14729.299
cable 3	22901.738	16390.402	168158.563	5844.372	801738.125	6785.107
cable 4	190998.547	6343.107	44195.305	-5639.695	21374.291	13996.802
cable 5	22458.256	16584.266	212748.922	-104.191	775807.688	6868.790
cable 6	184566.500	6280.864	44385.262	40662.402	20022.975	14730.649
cable 7	22457.207	16585.275	127019.156	-105.460	801717.438	6784.938
cable 8	184551.938	6280.953	45994.516	42276.648	21398.279	14004.049

Tabel IV.21 di atas adalah nilai maksimum untuk masing-masing rantai pengikat pada saat sarat kosong. Terlihat pada tabel tersebut nilai tegangan paling tinggi terjadi pada rantai nomor 3 dengan sudut datang gelombang 90° yakni sebesar 801738 N. Selanjutnya adalah pada rantai nomor 7 yang mendekati nilai tegangan dari rantai nomor 3 sebesar 801717 N. Hal tersebut diakibatkan kedua rantai tersebut adalah dua rantai utama yang menahan gerakan dari dok apung saat gelombang datang dari sudut 90° . Seselisih keduanya hanya 0.003% sehingga dapat dikatakan sama karena kedua rantai tersebut sejajar.

Tabel IV.22 Nilai maksimum tegangan rantai saat kapal naik dok

Total Tension Docked-Ship						
	0°		45°		90°	
	max	min	max	min	max	min
cable 1	22236.873	14401.202	78206.055	9070.930	179988.516	7303.376
cable 2	31123.588	10197.222	29261.197	10176.820	18798.234	14470.412
cable 3	21898.875	14273.935	70702.398	8573.550	250226.406	7482.086
cable 4	29731.900	10228.188	30402.965	10311.533	19521.760	14361.652
cable 5	22468.055	14483.059	94878.680	8991.113	179983.984	7303.378
cable 6	31828.752	10062.695	30684.918	10645.921	18798.754	14471.070
cable 7	21877.375	14333.650	75486.844	8525.846	250255.578	7481.599
cable 8	31605.557	10090.135	28524.291	9836.928	19520.086	14362.023

Tabel IV.22 di atas adalah nilai maksimum untuk masing-masing rantai pengikat pada saat sarat kosong. Terlihat pada tabel tersebut nilai tegangan paling tinggi terjadi pada rantai nomor 7 dengan sudut datang gelombang 90° yakni sebesar 250255 N. Selanjutnya adalah pada rantai nomor 3 yang mendekati nilai tegangan dari rantai nomor 7 sebesar 250226 N. Hal tersebut diakibatkan kedua rantai tersebut adalah dua rantai utama yang menahan gerakan dari dok apung saat gelombang datang dari sudut 90°. Selisih keduanya hanya 0.01% sehingga dapat dikatakan sama karena kedua rantai tersebut sejajar.

Tabel IV.23 Nilai maksimum tegangan rantai saat kondisi balas penuh

Total Tension Ballast Condition						
	0°		45°		90°	
	max	min	max	min	max	min
cable 1	26954.430	10933.365	61772.453	7195.902	765490.875	4772.918
cable 2	33478.246	8215.636	29686.416	8081.369	43432.559	5842.472
cable 3	26957.205	10936.167	60770.902	7256.290	1194929.500	4716.435
cable 4	33479.688	8214.531	28960.045	8791.084	54050.094	6550.925
cable 5	26958.545	10738.235	61818.215	7506.856	632302.813	4760.533
cable 6	33359.949	8510.620	29359.549	8074.492	45093.109	7405.456
cable 7	26949.076	10737.119	70707.914	7609.281	1631936.750	4991.230
cable 8	33359.152	8509.750	32900.289	7683.020	49637.789	5649.551

Tabel IV.23 di atas adalah nilai maksimum untuk masing-masing rantai pengikat pada saat sarat kosong. Terlihat pada tabel tersebut nilai tegangan paling tinggi terjadi pada rantai nomor 7 dengan sudut datang gelombang 90° yakni sebesar 1631936 N. Selanjutnya adalah

pada rantai nomor 3 yang mendekati nilai tegangan dari rantai nomor 7 sebesar 1194929 N. Hal tersebut diakibatkan kedua rantai tersebut adalah dua rantai utama yang menahan gerakan dari dok apung saat gelombang datang dari sudut 90^0 Selsisih keduanya hanya 0.27% sehingga dapat dikatakan sama karena kedua rantai tersebut sejajar.

Secara umum ketika sudut datang gelombang searah atau berlawanan dengan sumbu Y rantai yang bernomor ganjil (rantai 1, rantai 3, rantai 5, dan rantai 7) mengalami tegangan yang lebih besar karena menahan gerakan dari dok apung. Sebaliknya nilai tegangan pada rantai bernomor genap (rantai 2, rantai 4, rantai 6, dan rantai 8) lebih kecil karena tegak lurus dengan arah datangnya gelombang. Begitu pula ketika sudut datang gelombang searah atau berlawanan dengan sumbu X nilai tegangan pada rantai bernomor genap (rantai 2, rantai 4, rantai 6, dan rantai 8) lebih besar karena menahan gerakan dari dok apung. Sebaliknya rantai yang bernomor ganjil (rantai 1, rantai 3, rantai 5, dan rantai 7) mengalami tegangan yang lebih kecil karena tegak lurus dengan arah datangnya gelombang

Untuk kondisi meyilang, juga dilakukan perhitungan pada tiga kondisi dok apung yakni saat kosong, saat kapal naik dok, dan saat kondisi balas penuh. Percbaan secara numerik dilakukan dengan tiga sudut datang gelombang yaitu sudut 0^0 , 45^0 dan 90^0 . Hasilnya diperoleh nilai tegangan mmaksimum untuk kedelapan rantai sebagai berikut

Tabel IV.24 Nilai maksimum tegangan rantai saat sarat kosong (*cross*)

Total Tension Empty Condition						
	0^0		45^0		90^0	
	max	min	max	min	max	min
cable 1	21578.56	16476.967	133802.7	7476.364	1027345	6672.592
cable 2	115894.2	15770.01	103200.8	17496.06	44112.59	26483.67
cable 3	21575.68	16477.018	260708.3	8259.199	1019878	6707.454
cable 4	115889.1	15770.299	90254.81	17955.82	49401.72	25921.7
cable 5	22251.63	16686.482	298891.3	8140.976	1027324	6672.623
cable 6	122678.3	15832.239	105439.9	18183.18	44105.1	26486.2
cable 7	22252.66	16687.309	149389	7699.394	1019835	6707.412
cable 8	122673.6	15832.239	86150.12	18420.68	49396	25922.15

Tabel IV.24 di atas adalah nilai maksimum untuk masing-masing rantai pengikat pada saat sarat kosong. Terlihat pada tabel tersebut nilai tegangan paling tinggi terjadi pada rantai nomor 1 dengan sudut datang gelombang 90^0 yakni sebesar 1027345 N. Selanjutnya adalah pada rantai nomor 5 yang mendekati nilai tegangan dari rantai nomor 3 sebesar 1027324 N.

Hal tersebut diakibatkan kedua rantai tersebut adalah dua rantai utama yang menahan gerakan dari dok apung saat gelombang datang dari sudut 90^0 . Selisih keduanya hanya 0.002% sehingga dapat dikatakan sama karena kedua rantai tersebut sejajar.

Tabel IV.25 Nilai maksimum tegangan rantai saat kapal naik dok (*cross*)

Total Tension Docked-Ship Condition						
	0^0		45^0		90^0	
	max	min	max	min	max	min
cable 1	19390.455	16652.563	65167.531	8993.568	225727.938	7103.812
cable 2	73083.344	18435.686	59561.832	20793.580	41559.516	28109.303
cable 3	19394.549	16657.523	68658.445	9169.108	498997.563	7477.863
cable 4	73088.586	18435.357	55011.098	21733.320	42177.941	26662.723
cable 5	19377.205	16685.770	79980.586	9107.843	225687.797	7103.964
cable 6	70834.789	18085.582	55299.250	20192.416	41560.520	28109.930
cable 7	19377.471	16686.047	65781.875	65781.875	498960.469	7477.464
cable 8	70843.555	18085.889	60635.020	21970.986	42176.895	26663.301

Tabel IV.25 di atas adalah nilai maksimum untuk masing-masing rantai pengikat pada saat kapal naik dok. Terlihat pada tabel tersebut nilai tegangan paling tinggi terjadi pada rantai nomor 3 dengan sudut datang gelombang 90^0 yakni sebesar 498997.563 N. Selanjutnya adalah pada rantai nomor 7 yang mendekati nilai tegangan dari rantai nomor 3 sebesar 498960.469 N. Hal tersebut diakibatkan kedua rantai tersebut adalah dua rantai utama yang menahan gerakan dari dok apung saat gelombang datang dari sudut 90^0 . Selisih keduanya hanya 0.007% sehingga dapat dikatakan sama karena kedua rantai tersebut sejajar.

Tabel IV.26 Nilai maksimum tegangan rantai saat sarat balas penuh (*cross*)

Total Tension Full-Ballast Condition						
	0^0		45^0		90^0	
	max	min	max	min	max	min
cable 1	26549.297	10324.330	1364654.000	65854.492	1889683.625	4459.981
cable 2	55865.352	16539.582	1609148.375	781782.563	926960.063	6241.333
cable 3	26546.516	10326.694	2135584.500	67546.164	2154434.750	4932.097
cable 4	55859.941	16542.674	1551150.500	778664.250	758027.125	5489.171
cable 5	26501.893	10593.454	1476171.125	63572.605	1456640.625	4401.932
cable 6	51869.047	13176.200	1566046.750	771147.938	889054.000	5470.805
cable 7	26504.201	10585.495	2136366.750	67646.500	2163322.750	4832.826
cable 8	51881.824	13176.181	1529236.375	776298.875	882907.875	6063.769

Tabel IV.26 di atas adalah nilai maksimum untuk masing-masing rantai pengikat pada saat sarat kosong. Terlihat pada tabel tersebut nilai tegangan paling tinggi terjadi pada rantai nomor 7 dengan sudut datang gelombang 90^0 yakni sebesar 2163322.75 N. Selanjutnya adalah pada rantai nomor 3 yang mendekati nilai tegangan dari rantai nomor 7 sebesar 2154434.75 N. Hal tersebut diakibatkan kedua rantai tersebut adalah dua rantai utama yang menahan gerakan dari dok apung saat gelombang datang dari sudut 90^0 . Seselisih keduanya hanya 0.41% sehingga dapat dikatakan sama karena kedua rantai tersebut sejajar.

Secara umum ketika sudut datang gelombang searah atau berlawanan dengan sumbu Y rantai yang bernomor ganjil (rantai 1, rantai 3, rantai 5, dan rantai 7) mengalami tegangan yang lebih besar karena menahan gerakan dari dok apung. Sebaliknya nilai tegangan pada rantai bernomor genap (rantai 2, rantai 4, rantai 6, dan rantai 8) lebih kecil karena tegak lurus dengan arah datangnya gelombang. Begitu pula ketika sudut datang gelombang searah atau berlawanan dengan sumbu X nilai tegangan pada rantai bernomor genap (rantai 2, rantai 4, rantai 6, dan rantai 8) lebih besar karena menahan gerakan dari dok apung. Sebaliknya rantai yang bernomor ganjil (rantai 1, rantai 3, rantai 5, dan rantai 7) mengalami tegangan yang lebih kecil karena tegak lurus dengan arah datangnya gelombang

Jika membandingkan hasil tegangan maksimum antara konfigurasi menyebar dan menyilang, maka didapatkan tegangan maksimum pada konfigurasi menyilang lebih besar yakni 216322.75 N dibandingkan dengan tegangan maksimum pada konfigurasi menyebar yang besarnya 1631936.75 N. Keduanya sama-sama terjadi pada kondisi balas penuh dengan sudut datang gelombang 90^0 dan pada rantai nomor 7. Tabel IV.27 berikut adalah rekapitulasi tegangan setiap rantai pengikatan pada tiga kondisi dok apung.

Tabel IV.27 Rekapitulasi tegangan maksimum rantai pada tiga kondisi dok apung

Konfigurasi	Menyebar			Menyilang		
Kondisi Dok	Dok Kosong	Kapal Naik Dok	Balas Penuh	Dok Kosong	Kapal Naik Dok	Balas Penuh
Sudut	0°	0°	0°	0°	0°	0°
Cable 1	22902.95	22236.87	26954.43	21578.56	19390.46	26549.30
Cable 2	191006.11	31123.59	33478.25	115894.19	73083.34	55865.35
Cable 3	22901.74	21898.88	26957.21	21575.68	19394.55	26546.52
Cable 4	190998.55	29731.90	33479.69	115889.09	73088.59	55859.94
Cable 5	22458.26	22468.06	26958.55	22251.63	19377.21	26501.89
Cable 6	184566.50	31828.75	33359.95	122678.32	70834.79	51869.05
Cable 7	22457.21	21877.38	26949.08	22252.66	19377.47	26504.20
Cable 8	184551.94	31605.56	33359.15	122673.59	70843.56	51881.82
Sudut	45°	45°	45°	45°	45°	45°
Cable 1	177307.38	78206.06	61772.45	133802.69	65167.53	1364654.00
Cable 2	44065.04	29261.20	29686.42	103200.83	59561.83	1609148.38
Cable 3	168158.56	70702.40	60770.90	260708.25	68658.45	2135584.50
Cable 4	44195.31	30402.97	28960.05	90254.81	55011.10	1551150.50
Cable 5	212748.92	94878.68	61818.22	298891.25	79980.59	1476171.13
Cable 6	44385.26	30684.92	29359.55	105439.94	55299.25	1566046.75
Cable 7	127019.16	75486.84	70707.91	149389.05	65781.88	2136366.75
Cable 8	45994.52	28524.29	32900.29	86150.12	60635.02	1529236.38
Sudut	90°	90°	90°	90°	90°	90°
Cable 1	776055.06	179988.52	765490.88	1027344.50	225727.94	1889683.63
Cable 2	20040.47	18798.23	43432.56	44112.59	41559.52	926960.06
Cable 3	801738.13	250226.41	1194929.50	1019878.00	498997.56	2154434.75
Cable 4	21374.29	19521.76	54050.09	49401.72	42177.94	758027.13
Cable 5	775807.69	179983.98	632302.81	1027324.38	225687.80	1456640.63
Cable 6	20022.98	18798.75	45093.11	44105.10	41560.52	889054.00
Cable 7	801717.44	250255.58	1631936.75	1019834.63	498960.47	2163322.75
Cable 8	21398.28	19520.09	49637.79	49396.00	42176.90	882907.88

Dari table IV.27 tersebut terlihat bahwa secara umum tegangan maksimum terjadi ketika sudut gelombang 90° pada rantai tambat nomor 7 dan nomor 3. Rantai nomor 7 dan nomor 3 merupakan dua rantai yang sejajar sehingga nilainya identik. Kedua rantai tersebut memiliki sedikit selisih meskipun nilainya tidak besar. Selisih tersebut dapat terjadi akibat keterbatasan computer atau perangkat lunak yang digunakan. Meski demikian nilai selisih yang ada cukup kecil, misalnya pada tegangan maksimum rantai yakni rantai nomor 3 dan nomor 7 memiliki selisih 0.41% dari tegangan rantai. Dengan demikian dapat dikatakan kedua nilai tersebut sama karena dapat ditoleransi.

Nilai tegangan maksimum yang terjadi pada rantai pengikatan di atas selanjutnya dibandingkan dengan tegangan maksimum (*breaking load*) pada rantai yakni sebesar 1370 kN atau sebesar 1370000 N. Hasilnya tegangan maksimum pada kedua konfigurasi tersebut tidak memenuhi karena melebihi nilai *breaking load* dari rantai.

Mengacu kembali pada tabel data tegangan untuk setiap kondisi dok apung, maka tegangan maksimum yang tidak memenuhi terdapat pada kondisi balas penuh. Sedangkan pada kedua kondisi lainnya, kondisi kosong dan kondisi kapal naik dok, tegangan rantai yang terjadi berada di bawah *breaking load*. Hal ini dimungkinkan terjadi akibat jarak dengan dasar laut yang terlalu rendah (± 1 m) sehingga terjadi penambahan beban. Oleh karena itu dilakukan percobaan numerik dengan mengubah kedalam dasar laut menjadi 15 m dan 20 m. Hasilnya adalah sebagai berikut.

Tabel IV.28 Tegangan maksimum (*cross*) ketika kedalaman menjadi 15 m dan 20 m

	Kedalaman 10		Kedalaman 15		Kedalaman 20	
	Cross		Cross		Cross	
	max	min	max	min	max	min
cable 1	1889683.625	4459.981	1060858	18282.49	950555.3	60992.15
cable 2	926960.063	6241.333	57278.54	24335.98	169033.7	122064.6
cable 3	2154434.750	4932.097	1920126	18411.9	1326911	59207.61
cable 4	758027.125	5489.171	62359.07	23442.78	173510.7	115649.2
cable 5	1456640.625	4401.932	1035222	18408.14	948004.5	61058.23
cable 6	889054.000	5470.805	61723.32	25808.41	167383.4	121818.9
cable 7	2163322.750	4832.826	1768820	17963.33	1314577	59244.76
cable 8	882907.875	6063.769	64999.39	24948.22	173552.4	116217.6

Dari tabel di atas diketahui tegangan maksimum pada rantai nomor 7 turun dari 2163322 N menjadi 1768820 N ketika kedalaman air diubah menjadi 15 m. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh jarak *clearance* antara dasar dok apung dengan dasar laut. Meski demikian, nilai tegangan belum memenuhi batas maksimum dari *breaking load* rantai sebesar 1370000 N. kemudian dilakukan percobaan dengan menambahkan kedalaman menjadi 20 m. Hasilnya tegangan tertinggi menjadi 1314577 N pada rantai no 7. Nilai ini lebih rendah dari nilai *breaking load* sehingga dapat dikatakan memenuhi. Berikut adalah hasil rekapitulasi tegangan rantai maksimum pada setiap kondisi.

IV.7 Kenyamanan (*Motion Sickness Incidence*)

Dalam pengoperasian dok apung, diperlukan banyak orang yang bekerja di atasnya, baik saat kondisi dok kosong, saat kondisi kapal naik dok, bahkan saat balas penuh. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan pada kenyamanan dari dok apung akibat respon

gerakan terhadap kondisi lingkungannya. Kenyamanan dok apung sendiri dipengaruhi oleh percepatan dari gerakan dok apung terutama pada gerakan *heave*. Dengan menggunakan perangkat lunak ansys aqwa dapat diketahui besarnya percepatan gerak dari dok apung dalam 6 derajat kebebasan sebagai berikut

Tabel IV.29 Percepatan maksimum gerakan dok apung pada kondisi kosong

	0°		45°		90°	
	max	min	max	min	max	min
<i>Surge</i> (m/s ²)	0.024	-0.025	0.019	-0.02	1.30E-06	-1.20E-06
<i>Sway</i> (m/s ²)	1.40E-07	-1.70E-07	0.027	-0.027	0.215	-0.217
<i>Heave</i> (m/s ²)	0.022	-0.024	0.023	-0.022	0.208	-0.211
<i>Roll</i> (°/s ²)	7.60E-07	-7.00E-07	0.19	-0.2	1.801	-1.691
<i>Pitch</i> (°/s ²)	0.061	-0.062	0.072	-0.079	5.00E-05	-6.70E-05
<i>Yaw</i> (°/s ²)	1.20E-05	-1.50E-05	0.059	-0.061	1.40E-04	-1.10E-04

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa nilai percepatan maksimum untuk gerakan *surge* terjadi saat sudut datang gelombang 0° yakni sebesar 0.024 m/s². Untuk gerakan *sway* terjadi saat sudut datang gelombang 90° yakni sebesar 0.215 m/s². Untuk gerakan *heave* terjadi saat sudut datang gelombang 90° yakni sebesar 0.208 m/s². Untuk gerakan *roll* terjadi saat sudut datang gelombang 90° yakni sebesar 1.801°/s². Untuk gerakan *pitch* terjadi saat sudut datang gelombang 0° yakni sebesar 0.061°/s². Untuk gerakan *sway* terjadi saat sudut datang gelombang 90° yakni sebesar 0.00014 °/s².

Tabel IV.30 Percepatan maksimum gerakan dok apung pada saat kapal naik dok

	0°		45°		90°	
	max	min	max	min	max	min
<i>Surge</i> (m/s ²)	0.041	-0.040	0.035	-0.035	1.90E-06	-2.20E-06
<i>Sway</i> (m/s ²)	2.00E-04	-1.60E-04	0.044	-0.045	0.329	-0.324
<i>Heave</i> (m/s ²)	0.020	-0.023	0.027	-0.024	0.181	-0.210
<i>Roll</i> (°/s ²)	0.001	-0.001	0.182	-0.196	1.877	-2.076
<i>Pitch</i> (°/s ²)	0.061	-0.059	0.066	-0.071	9.90E-05	-1.10E-04
<i>Yaw</i> (°/s ²)	2.90E-04	-3.40E-04	0.091	-0.091	1.30E-04	-1.10E-04

Tabel diatas adalah tabel yang menunjukkan nilai percepatan maksimum gerakan dok apung pada saat kapal naik dok. Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa nilai percepatan maksimum untuk gerakan *surge* terjadi saat sudut datang gelombang 0° yakni sebesar 0.041

m/s^2 . Untuk gerakan *sway* terjadi saat sudut datang gelombang 90^0 yakni sebesar $0.329 m/s^2$. Untuk gerakan *heave* terjadi saat sudut datang gelombang 90^0 yakni sebesar $0.181 m/s^2$. Untuk gerakan *roll* terjadi saat sudut datang gelombang 90^0 yakni sebesar $1.877^0/s^2$. Untuk gerakan *sway* terjadi saat sudut datang gelombang 45^0 yakni sebesar $0.66^0/s^2$. Untuk gerakan *sway* terjadi saat sudut datang gelombang 45^0 yakni sebesar $0.091 ^0/s^2$

Tabel IV.31 Percepatan gerakan dok apung pada kondisi balas penuh

	0^0		45^0		90^0	
	max	min	max	min	max	min
<i>Surge</i> (m/s^2)	0.097	-0.096	0.094	-0.088	0.005	-0.005
<i>Sway</i> (m/s^2)	9.70E-07	-1.10E-06	0.048	-0.046	0.263	-0.245
<i>Heave</i> (m/s^2)	0.009	-0.010	0.008	-0.007	0.056	-0.050
<i>Roll</i> ($^0/s^2$)	6.20E-07	-5.30E-07	0.043	-0.049	0.299	-0.329
<i>Pitch</i> ($^0/s^2$)	0.018	-0.019	0.022	-0.023	0.005	-0.005
<i>Yaw</i> ($^0/s^2$)	1.50E-05	-1.40E-05	0.100	-0.084	0.001	-0.002

Tabel diatas adalah tabel yang menunjukkan nilai percepatan maksimum gerakan dok apung pada kondisi balas penuh. Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa nilai percepatan maksimum untuk gerakan *surge* terjadi saat sudut datang gelombang 0^0 yakni sebesar $0.097 m/s^2$. Untuk gerakan *sway* terjadi saat sudut datang gelombang 90^0 yakni sebesar $0.263 m/s^2$. Untuk gerakan *heave* terjadi saat sudut datang gelombang 90^0 yakni sebesar $0.056 m/s^2$. Untuk gerakan *roll* terjadi saat sudut datang gelombang 90^0 yakni sebesar $0.299^0/s^2$. Untuk gerakan *sway* terjadi saat sudut datang gelombang 45^0 yakni sebesar $0.022^0/s^2$. Untuk gerakan *sway* terjadi saat sudut datang gelombang 45^0 yakni sebesar $0.1^0/s^2$

Berdasarkan ISO 2631, tingkat kenyamanan pada kapal/struktur apung dapat diukur berdasarkan percepatan gerak kapal/struktur apung terutama gerakan vertikal (*heave*). Dengan membandingkan nilai maksimum dari gerakan *heave* dok apung dengan tabel IV.32 di bawah, maka dapat diketahui tingkat kenyamanan dari dok apung. Berikut daftar tingkat kenyamanan berdasarkan ISO 2631

Tabel IV.32 Tingkat keyamanan berdasarkan ISO 2631

Habitability Acceleration (RMS)	
< 0.315 m/s	Not uncomfortable
0.315-0.63 m/s ²	A little uncomfortable
0.5-1.0 m/s ²	Fairly uncomfortable
0.8-1.6 m/s ²	Uncomfortable
1.6-2.5 m/s ²	Very uncomfortable
> 2 m/s ²	Extremely uncomfortable

Nilai maksimum untuk percepatan gerakan *heave* dok apung terjadi pada saat kondisi dok apung kosong dengan percepatan sebesar 0.208 m/s². Jika dibandingkan dengan tabel IV.32, maka dapat disimpulkan bahwa dok apung masuk dalam kategori *not uncomfortable* atau dengan kata lain dok apung memiliki tingkat kenyamanan yang baik.

BAB V VALIDASI

V.1 Proses validasi dengan menggunakan Maxsurf

Proses validasi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah analisis dan keluaran dari perangkat lunak telah valid. Metode validasi yang digunakan yaitu dengan membandingkan hasil dari perangkat lunak lain yang menggunakan pendekatan perhitungan berbeda dengan data hasil program Ansys Aqwa dengan model dan parameter yang sama. Perangkat lunak yang digunakan adalah Maxsurf dan data yang dipakai sebagai perbandingan adalah dok apung hasil model.

Di dalam dalam perangkat lunak Ansys Aqwa perhitungan dilakukan dengan pedekatan *3D diffraction theory*. Permukaan struktur dibagi dalam sejumlah panel yang cukup kecil sehingga diasumsikan gaya-gaya hidrodinamis yang bekerja adalah sama di tiap panel. Sedangkan pada Maxsurf pendekatan yang dilakukan menggunakan menggunakan *strip theory* dimana perhitungan dilakukan dengan membuat sejumlah *station* dan melakukan perhiungan pada setiap station. Jika hasil dari kedua perangkat lunak tersebut menghasilkan RAO yang sama atau cukup mendekati dengan hasil RAO pada perangkat lunak tersebut, maka dapat dianggap perangkat lunak tersebut valid untuk melakukan perhitungan

V.2 Hasil Validasi RAO Aqwa dengan RAO pada Maxsurf

Proses validasi dilakukan dengan cara membandingkan RAO pada model yang telah dibuat di maxsurf dengan hasil RAO model yang sama tetapi perhitungan dilakukan pada Ansys Aqwa. Dengan menggunakan bentuk yang identik, seharusnya diperoleh nilai RAO dengan tren yang sama atau mendekati diantara keduanya. Apabila hasil RAO pada Ansys Aqwa telah memiliki pola sama atau mendekati sama dengan RAO pada maxsurf dapat dikatakan telah valid.

Proses pembuatan model dok apung dilakuakan dimulai dengan pembuatan model pada Maxsurf. Lalu selanjutnya model yang telah selesai dibuat di-*export* ke Ansys Aqwa untuk dilakukan analisis dengan ketentuan yang sama dengan pengaturan yang sama pada maxsurf, termasuk gaya yang bekerja pada model. Setelah itu kedua program dijalankan untuk mendapatkan nilai RAO pada masing-masing model. Setelah selesai dan diperoleh hasil RAO untuk masing-masing model, kedua hasil dibandingkan untuk melihat tren gerakan diantara keduanya.

Setelah dilakukan proses analisis dan *running* pada perangkat lunak Ansys Aqwa dan Maxsurf didapatkan nilai untuk RAO. Pada validasi kali ini dilakukan perbandingan RAO antara hasil perhitungan Ansys Aqwa dengan Maxsurf untuk gerakan *heave*, *pitch*, dan *roll* pada sudut 0°. Berikut adalah hasil perbandingan antara Maxsurf dan Ansys Aqwa seperti terlihat pada table V.1 dan V.2.

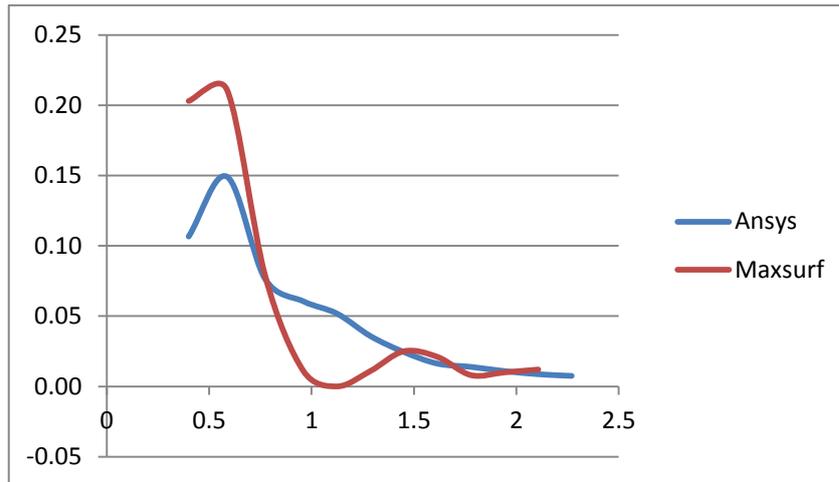
Tabel V.1 Koordinat RAO untuk Maxsurf

Wave Frequency	Heave	Pitch	Roll
0.4	0.18	0.863	0.00
0.587	0.21	0.469	0.00
0.773	0.21	0.002	0.00
0.96	0.08	0.038	0.00
1.124	0.01	0.026	0.00
1.288	0.00	0.014	0.00
1.451	0.01	0.008	0.00
1.615	0.03	0.003	0.00
1.779	0.02	0.002	0.00
1.943	0.01	0.002	0.00
2.107	0.01	0.001	0.00
2.27	0.01	0.00	0.00

Tabel V.2 Koordinat RAO untuk Ansys Aqwa

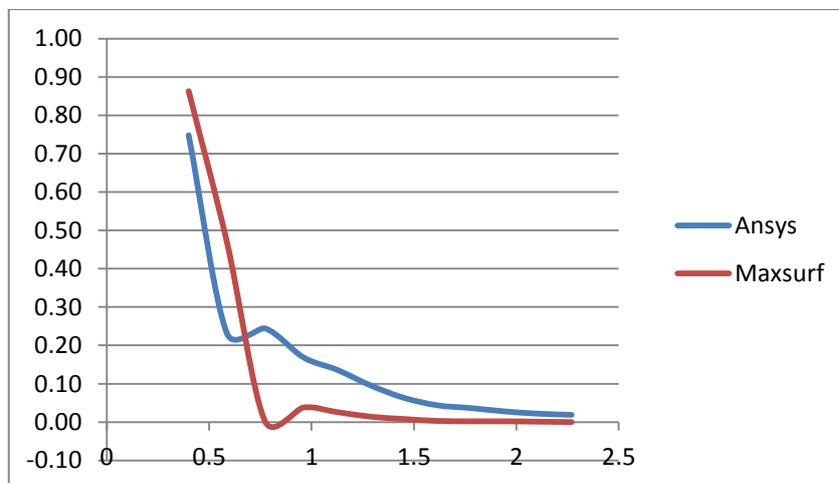
Wave Frequency	Heave	Pitch	Roll
0.4	0.11	0.75	0.00
0.587	0.15	0.23	0.00
0.773	0.08	0.24	0.00
0.96	0.06	0.17	0.00
1.124	0.05	0.14	0.00
1.288	0.04	0.10	0.00
1.451	0.02	0.06	0.00
1.615	0.02	0.04	0.00
1.779	0.01	0.04	0.00
1.943	0.01	0.03	0.00
2.107	0.01	0.02	0.00
2.27	0.01	0.02	0.00

Dari tabel di atas, dapat dibuat grafik untuk menggambarkan secara visual perbandingan nilai RAO antara perangkat lunak ansys aqwa dengan perangkat lunak Maxsurf sebagai berikut (Gambar V.1 – V.3)



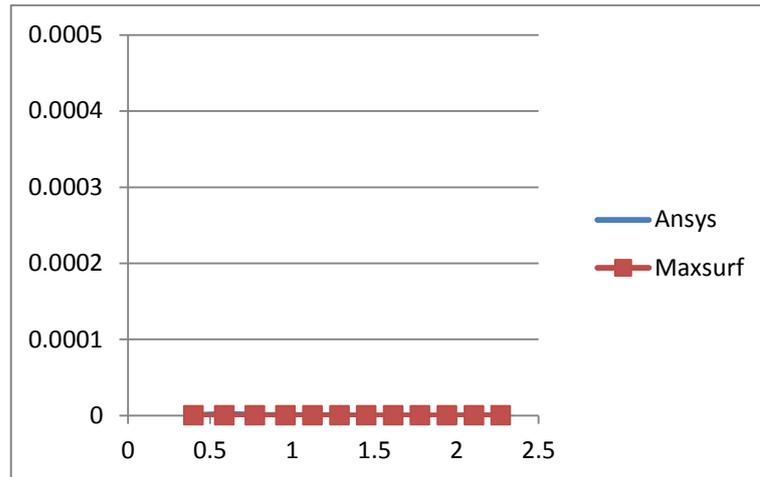
Gambar V.1 Perbandingan RAO *heave* antara Ansys Aqwa dengan Maxsurf

Dari Gambar V.1 di atas maka dapat diketahui bahwa proses perbandingan antara hasil Ansys Aqwa dengan maxsurf pada keadaan *heave* memiliki hasil yang relatif sama dan *trendline* yang sama pula walaupun terdapat perbedaan pada hampir sepanjang frekuensi, tetapi hasil tersebut dapat dikatakan telah valid dan dapat digunakan sebagai acuan dalam proses perhitungan.



Gambar V.2 Perbandingan RAO *pitch* antara Ansys Aqwa dengan Maxsurf

Berdasarkan Gambar V.2 di atas maka dapat diketahui bahwa proses perbandingan antara hasil Ansys Aqwa dengan Wamit pada keadaan *pitch* memiliki hasil yang relatif sama dan *trendline* yang sama seperti pada kondisi *heave*. Walaupun terdapat perbedaan pada hampir sepanjang frekuensi, tetapi hasil tersebut dapat dikatakan telah valid dan dapat digunakan sebagai acuan dalam proses perhitungan selanjutnya.



Gambar V.3 RAO *Roll* antara Ansys Aqwa dan Maxsurf

Pada gerakan *roll*, grafik hampir berbentuk datar karena nilai gerakan roll yang sangat kecil pada sudut datang gelombang 0° . Sehingga pada kedua perangkat lunak ini trendline yang ditunjukkan adalah sama di sepanjang frekuensi yaitu mendekati nol bahkan berimpit seperti pada gambar V.3 di atas sehingga dapat dikatakan telah valid dan dapat digunakan sebagai acuan dalam proses perhitungan selanjutnya

Secara umum hasil RAO yang ditunjukkan oleh Ansys Aqwa maupun Maxsurf menunjukkan *trend* yang mirip meskipun terdapat perbedaan nilai pada beberapa titik. Perbedaan tersebut terjadi karena beberapa factor, salah satunya konsep pendekatan yang berbeda. Ansys Aqwa menggunakan pendekatan *3D diffraction method* sedangkan Maxsurf menggunakan *strip theory* sebagai pendekatan untuk menentukan nilai RAO. Keterbatasan computer juga dapat menjadi penyebab terjadinya perbedaan hasil yang diperoleh, meskipun secara umum memiliki *trend* yang mirip atau sama.

LAMPIRAN A

A.1 Tabel Hasil Penghitungan RAO (*Response Amplitude Operator*) Sarat Kosong

Berikut adalah tabel RAO untuk 6 derajat kebebasan pada saat kondisi dok apung kosong. Sudut gelombang adalah 0° , 45° dan 90° . Sedangkan grafiknya ditunjukkan pada sub-bab IV.4.

Tabel *Response Amplitude Operator (RAO)* untuk sudut gelombang 0°

Freq (rad/s)	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.100	9.071	0.000	0.000	0.913	0.549	0.000
0.105	8.520	0.000	0.000	0.903	0.575	0.000
0.111	7.964	0.000	0.000	0.892	0.603	0.000
0.118	7.404	0.000	0.000	0.879	0.634	0.000
0.125	6.837	0.000	0.000	0.863	0.667	0.000
0.134	6.263	0.000	0.000	0.844	0.704	0.000
0.144	5.681	0.000	0.000	0.821	0.744	0.000
0.155	5.089	0.000	0.000	0.793	0.788	0.000
0.168	4.485	0.000	0.000	0.757	0.835	0.000
0.184	3.868	0.000	0.000	0.711	0.885	0.000
0.203	3.235	0.000	0.000	0.653	0.934	0.000
0.227	2.585	0.000	0.000	0.576	0.980	0.000
0.256	1.919	0.000	0.000	0.477	1.011	0.000
0.294	1.243	0.000	0.000	0.351	1.005	0.000
0.346	0.590	0.000	0.000	0.204	0.917	0.000
0.420	0.055	0.000	0.000	0.095	0.673	0.000
0.534	0.214	0.000	0.000	0.148	0.288	0.000
0.732	0.072	0.000	0.000	0.085	0.283	0.000
1.165	0.044	0.000	0.000	0.047	0.115	0.000
2.854	0.006	0.000	0.000	0.008	0.021	0.000

Tabel *Response Amplitude Operator (RAO)* untuk sudut gelombang 45°

Freq (rad/s)	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.100	6.715	0.391	6.720	0.954	0.398	2.625
0.105	6.340	0.410	6.346	0.949	0.418	2.616
0.111	5.964	0.430	5.970	0.943	0.440	2.606
0.118	5.585	0.453	5.592	0.936	0.465	2.593
0.125	5.204	0.478	5.212	0.928	0.492	2.579
0.134	4.820	0.505	4.829	0.918	0.522	2.561
0.144	4.432	0.535	4.442	0.905	0.556	2.539
0.155	4.040	0.568	4.051	0.890	0.594	2.512
0.168	3.643	0.605	3.655	0.870	0.637	2.478
0.184	3.239	0.644	3.252	0.845	0.686	2.434
0.203	2.827	0.685	2.841	0.812	0.740	2.376
0.227	2.406	0.727	2.419	0.767	0.801	2.298

0.256	1.971	0.763	1.984	0.707	0.867	2.189
0.294	1.523	0.780	1.533	0.625	0.931	2.032
0.346	1.062	0.747	1.060	0.513	0.977	1.800
0.420	0.604	0.587	0.568	0.359	0.965	1.446
0.534	0.194	0.128	0.095	0.147	0.811	0.901
0.732	0.105	0.725	0.180	0.132	0.297	0.142
1.165	0.032	0.599	0.025	0.050	0.091	0.018
2.854	0.000	0.005	0.001	0.001	0.002	0.001

Tabel *Response Amplitude Operator (RAO)* untuk sudut gelombang *Head Sea* 90^0

freq (rad/s)	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.100	0.000	0.578	9.916	0.997	0.000	0.000
0.105	0.000	0.609	9.408	0.997	0.000	0.000
0.111	0.000	0.644	8.901	0.996	0.000	0.000
0.118	0.000	0.682	8.393	0.996	0.000	0.000
0.125	0.000	0.726	7.885	0.995	0.000	0.000
0.134	0.000	0.775	7.376	0.995	0.000	0.000
0.144	0.000	0.832	6.867	0.994	0.000	0.000
0.155	0.000	0.898	6.358	0.993	0.000	0.000
0.168	0.000	0.975	5.847	0.992	0.000	0.000
0.184	0.000	1.067	5.336	0.991	0.000	0.000
0.203	0.000	1.178	4.824	0.989	0.000	0.000
0.227	0.000	1.314	4.310	0.987	0.000	0.000
0.256	0.000	1.487	3.794	0.983	0.000	0.000
0.294	0.000	1.713	3.275	0.977	0.000	0.000
0.346	0.000	2.021	2.750	0.968	0.000	0.000
0.420	0.000	2.468	2.217	0.950	0.000	0.000
0.534	0.000	3.182	1.667	0.908	0.000	0.000
0.732	0.000	4.538	1.066	0.786	0.000	0.000
1.165	0.000	5.438	0.084	0.372	0.000	0.000
2.854	0.000	0.082	0.050	0.010	0.000	0.000

A.2 Tabel Hasil Penghitungan RAO (*Response Amplitude Operator*) Sarat Kapal Docking

Berikut adalah tabel RAO untuk 6 derajat kebebasan pada saat kondisi kapal sedang naik dok. Sudut gelombang adalah 0^0 , 45^0 dan 90^0 . Sedangkan grafiknya ditunjukkan pada sub-bab IV.4.

Tabel *Response Amplitude Operator (RAO)* untuk sudut gelombang 0^0

freq (rad/s)	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.100	15.951	0.000	0.000	0.911	0.527	0.000
0.105	14.976	0.000	0.000	0.902	0.552	0.000
0.111	13.994	0.000	0.000	0.890	0.579	0.000
0.118	13.003	0.000	0.000	0.877	0.609	0.000

0.125	12.003	0.000	0.000	0.861	0.642	0.000
0.134	10.990	0.000	0.000	0.842	0.677	0.000
0.144	9.964	0.000	0.000	0.818	0.716	0.000
0.155	8.922	0.000	0.000	0.788	0.759	0.000
0.168	7.861	0.000	0.000	0.752	0.805	0.000
0.184	6.776	0.000	0.000	0.704	0.854	0.000
0.203	5.664	0.000	0.000	0.643	0.904	0.000
0.227	4.519	0.000	0.000	0.564	0.950	0.000
0.256	3.338	0.000	0.000	0.460	0.983	0.000
0.294	2.132	0.000	0.000	0.329	0.977	0.000
0.346	0.956	0.000	0.000	0.177	0.882	0.000
0.420	0.049	0.000	0.000	0.087	0.619	0.000
0.534	0.422	0.000	0.000	0.155	0.230	0.000
0.732	0.117	0.000	0.000	0.078	0.271	0.000
1.165	0.069	0.000	0.000	0.045	0.114	0.000
2.854	0.008	0.000	0.000	0.002	0.006	0.000

Tabel *Response Amplitude Operator (RAO)* untuk sudut gelombang 45^0

Freq (rad/s)	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.100	11.833	0.340	10.041	0.954	0.383	4.219
0.105	11.171	0.356	9.476	0.949	0.402	4.203
0.111	10.506	0.373	8.909	0.943	0.423	4.184
0.118	9.838	0.393	8.338	0.936	0.447	4.162
0.125	9.166	0.414	7.765	0.928	0.473	4.136
0.134	8.490	0.437	7.187	0.917	0.502	4.104
0.144	7.809	0.462	6.605	0.905	0.535	4.065
0.155	7.121	0.490	6.017	0.889	0.572	4.016
0.168	6.426	0.520	5.422	0.869	0.614	3.956
0.184	5.720	0.553	4.819	0.842	0.663	3.878
0.203	5.000	0.587	4.205	0.808	0.717	3.776
0.227	4.263	0.620	3.578	0.762	0.779	3.640
0.256	3.501	0.648	2.934	0.699	0.847	3.454
0.294	2.707	0.659	2.266	0.613	0.915	3.192
0.346	1.878	0.624	1.568	0.497	0.963	2.816
0.420	1.047	0.474	0.836	0.339	0.945	2.260
0.534	0.313	0.048	0.118	0.122	0.774	1.413
0.732	0.201	0.692	0.292	0.148	0.236	0.190
1.165	0.054	0.624	0.045	0.049	0.079	0.011
2.854	0.001	0.003	0.000	0.000	0.001	0.003

Tabel *Response Amplitude Operator (RAO)* untuk sudut gelombang 90^0

Freq (rad/s)	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.100	0.000	0.504	14.821	0.998	0.000	0.000

0.105	0.000	0.531	14.054	0.998	0.000	0.000
0.111	0.000	0.560	13.287	0.997	0.000	0.000
0.118	0.000	0.594	12.520	0.997	0.000	0.000
0.125	0.000	0.631	11.753	0.997	0.000	0.000
0.134	0.000	0.674	10.985	0.996	0.000	0.000
0.144	0.000	0.723	10.218	0.996	0.000	0.000
0.155	0.000	0.779	9.450	0.995	0.000	0.000
0.168	0.000	0.845	8.683	0.995	0.000	0.000
0.184	0.000	0.924	7.916	0.994	0.000	0.000
0.203	0.000	1.020	7.149	0.993	0.000	0.000
0.227	0.000	1.138	6.383	0.991	0.000	0.000
0.256	0.000	1.288	5.617	0.989	0.000	0.000
0.294	0.000	1.486	4.852	0.985	0.000	0.000
0.346	0.000	1.761	4.087	0.979	0.000	0.000
0.420	0.000	2.167	3.313	0.966	0.000	0.000
0.534	0.000	2.837	2.516	0.932	0.000	0.000
0.732	0.000	4.243	1.655	0.816	0.000	0.000
1.165	0.000	5.865	0.034	0.340	0.000	0.000
2.854	0.000	0.019	0.062	0.003	0.000	0.000

A.3 Tabel Hasil Penghitungan RAO (*Response Amplitude Operator*) Sarat Balas Penuh

Berikut adalah tabel RAO untuk 6 derajat kebebasan pada saat kondisi balas penuh. Sudut gelombang adalah 0° , 45° dan 90° . Sedangkan grafiknya ditunjukkan pada sub-bab IV.4.

Tabel *Response Amplitude Operator (RAO)* untuk sudut gelombang 0°

freq (rad/s)	Surgee	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.100	29.305	0.000	0.000	0.814	7.319	0.000
0.105	20.101	0.000	0.000	0.527	4.058	0.000
0.111	20.365	0.000	0.000	0.328	1.415	0.000
0.118	19.259	0.000	0.000	0.183	0.778	0.000
0.125	17.909	0.000	0.000	0.073	0.486	0.000
0.134	16.465	0.000	0.000	0.018	0.313	0.000
0.144	14.969	0.000	0.000	0.084	0.196	0.000
0.155	13.435	0.000	0.000	0.140	0.107	0.000
0.168	11.867	0.000	0.000	0.186	0.035	0.000
0.184	10.265	0.000	0.000	0.224	0.035	0.000
0.203	8.623	0.000	0.000	0.257	0.097	0.000
0.227	6.929	0.000	0.000	0.287	0.163	0.000
0.256	5.162	0.000	0.000	0.317	0.240	0.000
0.294	3.293	0.000	0.000	0.361	0.342	0.000
0.346	1.321	0.000	0.000	0.430	0.513	0.000
0.420	1.324	0.000	0.000	0.348	0.823	0.000
0.534	1.540	0.000	0.000	0.129	0.349	0.000

0.732	0.375	0.000	0.000	0.050	0.069	0.000
1.165	0.116	0.000	0.000	0.005	0.012	0.000
2.854	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabel *Response Amlitude Operator (RAO)* untuk sudut gelombang 45⁰

freq (rad/s)	Surgee	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.100	20.677	0.012	7.296	0.319	3.801	3.351
0.105	15.744	0.013	6.883	0.108	1.971	3.337
0.111	15.626	0.014	6.468	0.040	0.624	3.320
0.118	14.815	0.016	6.051	0.149	0.295	3.301
0.125	13.883	0.018	5.633	0.233	0.140	3.278
0.134	12.908	0.020	5.212	0.300	0.045	3.250
0.144	11.913	0.023	4.789	0.355	0.024	3.216
0.155	10.906	0.027	4.363	0.402	0.080	3.174
0.168	9.892	0.032	3.934	0.445	0.130	3.121
0.184	8.870	0.039	3.501	0.485	0.179	3.055
0.203	7.842	0.050	3.064	0.528	0.232	2.970
0.227	6.804	0.069	2.620	0.578	0.296	2.858
0.256	5.744	0.107	2.168	0.651	0.380	2.708
0.294	4.635	0.254	1.689	0.778	0.514	2.505
0.346	3.389	0.195	1.275	0.948	0.788	2.226
0.420	1.296	0.064	0.701	0.504	1.400	1.833
0.534	0.318	0.162	0.120	0.054	0.335	1.213
0.732	0.514	0.216	0.168	0.036	0.038	0.131
1.165	0.073	0.086	0.113	0.003	0.007	0.149
2.854	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001

Tabel *Response Amlitude Operator (RAO)* untuk sudut gelombang 90⁰

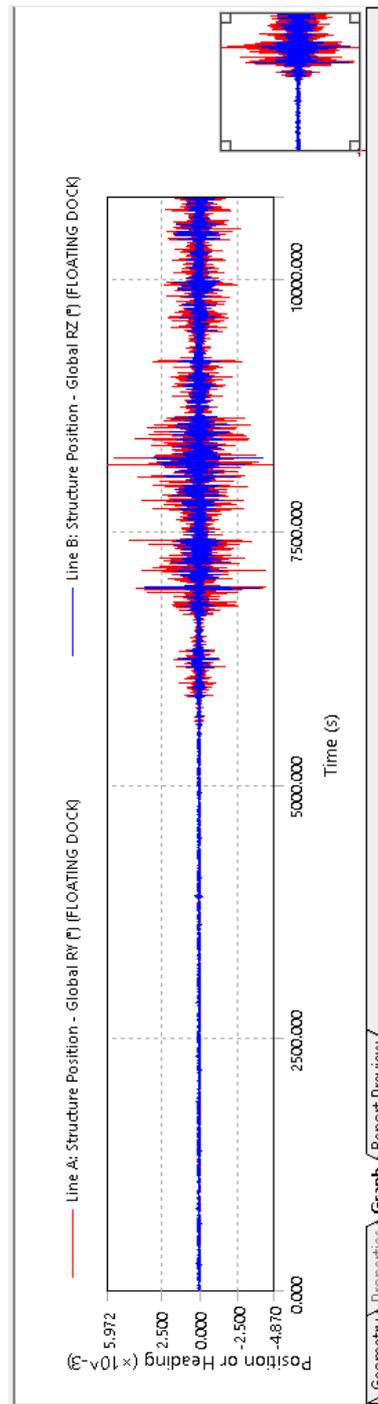
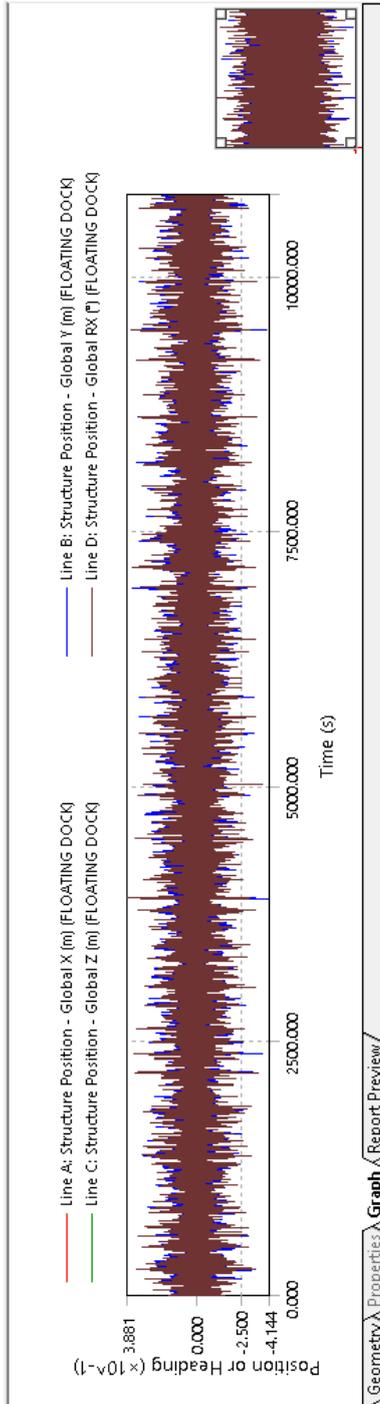
freq (rad/s)	Surgee	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.100	0.068	0.023	10.669	0.209	0.098	0.000
0.105	0.032	0.025	10.101	0.342	0.046	0.000
0.111	0.010	0.029	9.533	0.438	0.014	0.000
0.118	0.005	0.033	8.964	0.510	0.007	0.000
0.125	0.003	0.038	8.394	0.568	0.004	0.000
0.134	0.002	0.044	7.824	0.618	0.003	0.000
0.144	0.001	0.054	7.253	0.662	0.002	0.000
0.155	0.001	0.066	6.681	0.705	0.001	0.000
0.168	0.001	0.084	6.108	0.750	0.001	0.000
0.184	0.001	0.113	5.533	0.801	0.000	0.000
0.203	0.000	0.160	4.955	0.867	0.000	0.000
0.227	0.000	0.252	4.370	0.960	0.000	0.000
0.256	0.000	0.479	3.765	1.114	0.000	0.000
0.294	0.000	1.582	3.030	1.404	0.000	0.000

0.346	0.000	2.508	3.070	1.805	0.000	0.000
0.420	0.001	0.993	2.262	0.796	0.001	0.000
0.534	0.001	0.824	1.570	0.585	0.000	0.000
0.732	0.000	0.983	0.715	0.203	0.000	0.000
1.165	0.000	0.741	0.630	0.032	0.000	0.001
2.854	0.000	0.003	0.013	0.000	0.000	0.000

LAMPIRAN B

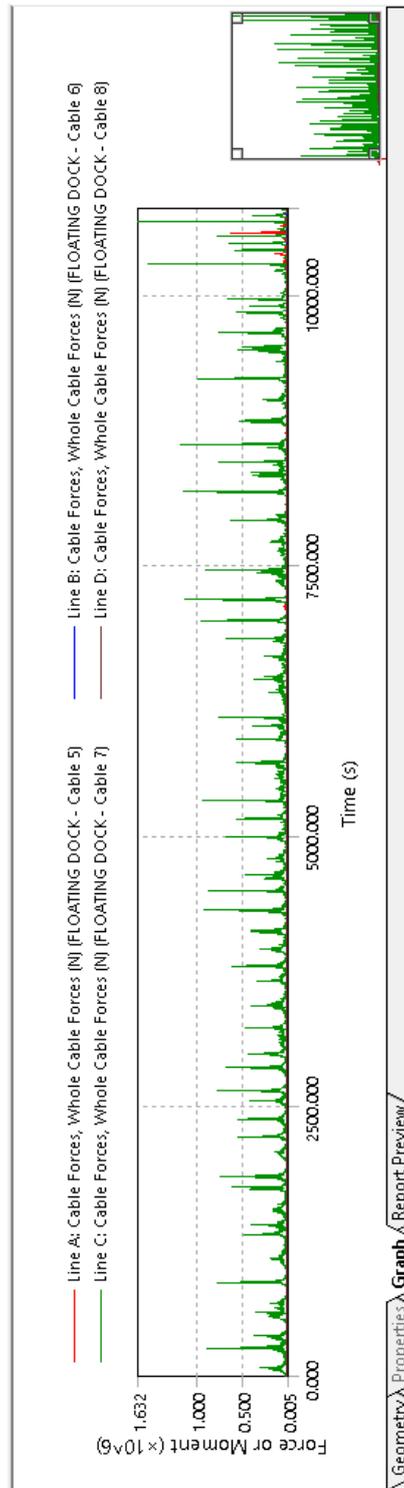
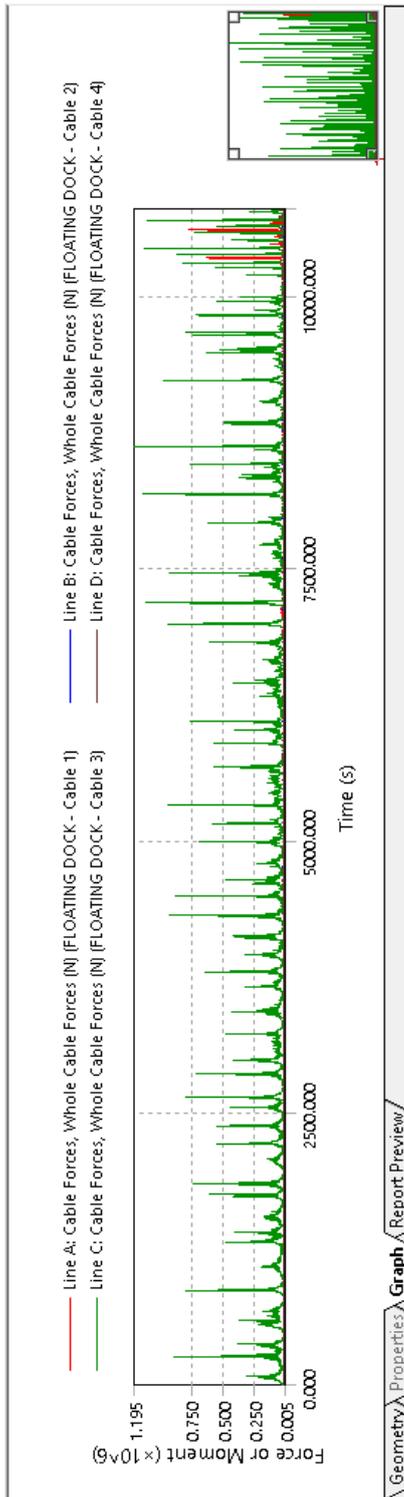
B.1 Grafik Gerakan maksimum Konfigurasi Menyilang

Grafik di bawah ini adalah grafik gerakan dari dok apung saat kondisi balas penuh dan dengan sudut gelombang 90° . Grafik tersebut menunjukkan perbandingan 6 gerakan dari dok apung. Dari grafik di bawah terlihat gerakan rolling (global RX) dan gerakan swaying (global Y) yang mempunyai nilai besar. Waktu analisis numerik dilakukan dengan durasi waktu (time step) 3 jam menggunakan perangkat lunak Ansys Aqwa



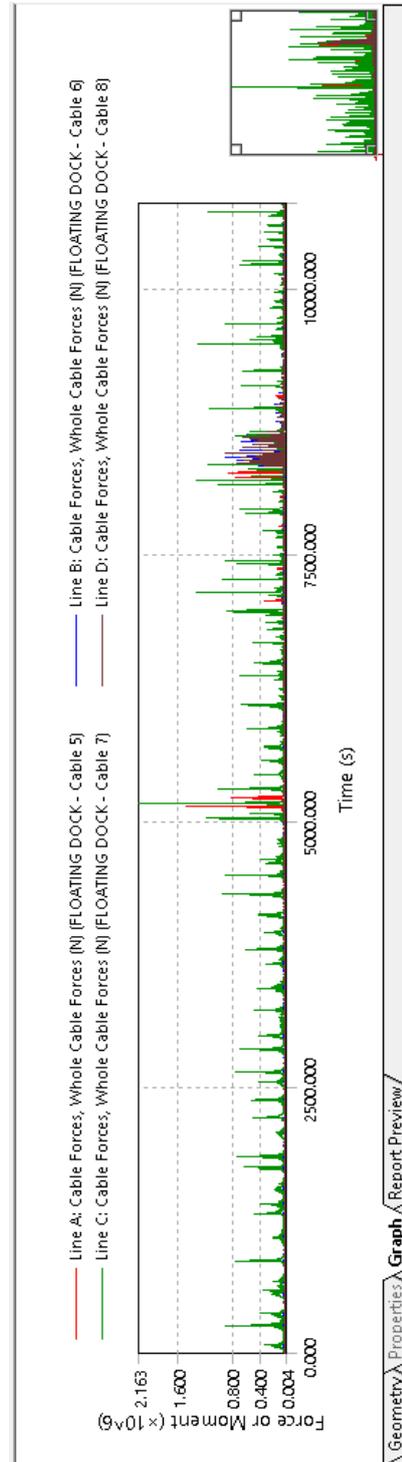
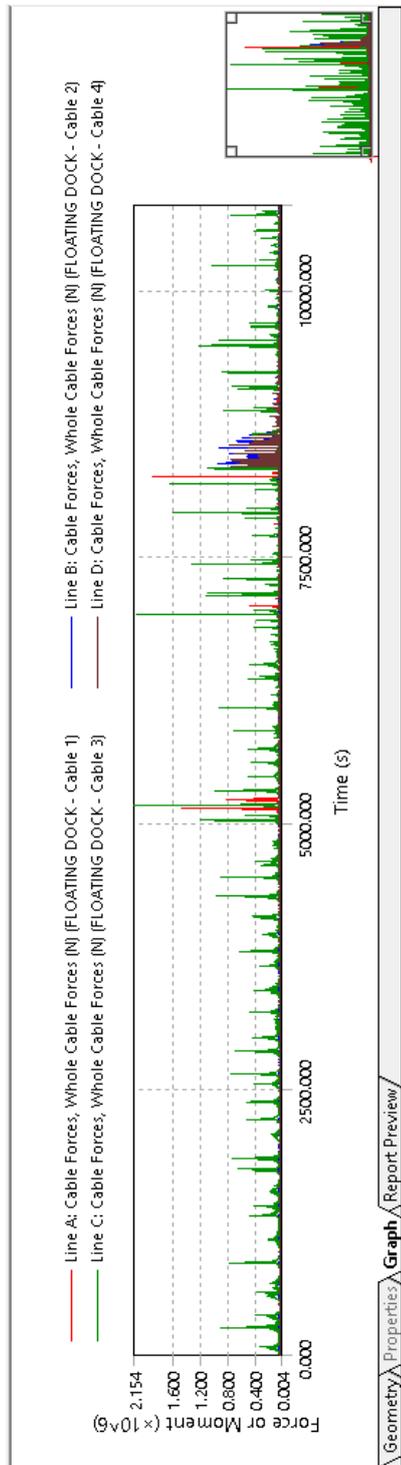
B.2 Grafik Tension Maksimum Konfigurasi Menyebar (90°)

Grafik di bawah ini adalah grafik tegangan rantai dari dok apung saat kondisi balas penuh dan dengan sudut gelombang 90°. Grafik tersebut menunjukkan perbandingan 8 rantai pengikatan dari dok apung. Dari grafik di bawah terlihat rantai nomor 3 dan rantai nomor 7 yang mempunyai nilai terbesar. Waktu analisis numerik dilakukan dengan durasi waktu (time step) 3 jam menggunakan perangkat lunak Ansys Aqwa



B.4 Grafik Tension Maksimum Konfigurasi Menyilang (90°)

Grafik di bawah ini adalah grafik tegangan rantai dari dok apung saat kondisi balas penuh dan dengan sudut gelombang 90°. Grafik tersebut menunjukkan perbandingan 8 rantai pengikatan dari dok apung. Dari grafik di bawah terlihat rantai nomor 3 dan rantai nomor 7 yang mempunyai nilai terbesar. Waktu analisis numerik dilakukan dengan durasi waktu (time step) 3 jam menggunakan perangkat lunak Ansys Aqwa



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1 Kesimpulan

Penelitian mengenai gerakan dan pengikatan pada dok apung di perairan dangkal terbuka dengan variasi sudut hadap sebesar 0^0 , 45^0 , 90^0 , variasi sarat yakni sarat kosong, sarat kapal naik dok dan sarat balas penuh dengan desain pengikatan menyebar dan menyilang telah dibahas mulai dari awal hingga akhir. Mulai dari tahap awal pemodelan di perangkat lunak Ansys Aqwa lalu dilanjutkan perhitungan-perhitungan dan analisis terhadap hasil yang didapatkan maka didapatkan kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tegangan maksimum pada konfigurasi menyilang yakni 2163322.75 N dibandingkan dengan tegangan maksimum pada konfigurasi menyebar yang besarnya 1631936.75 N. Dibandingkan dengan tegangan maksimum (*breaking load*) pada rantai yakni sebesar 1370 kN atau sebesar 1370000 N kedua nilai di atas tidak memenuhi (di atas *breaking load*). Sehingga untuk pemilihan rantai disarankan untuk memilih rantai dengan nilai *breaking load* yang lebih tinggi. Tetapi untuk kondisi kapal naik dok dan kondisi kosong nilai tegangan rantai masih memenuhi (di bawah *breaking load*). Hal tersebut dimungkinkan adanya pengaruh penambahan beban akibat jarak dasar laut dengan dok apung ketika kondisi *ballast* penuh karena ketika kedalaman laut ditambah, tegangan rantai yang terjadi berkurang.
2. Terjadi perbedaan nilai beban pada rantai pengikatan berupa tegangan (*tension*) antara konfigurasi menyebar dan konfigurasi menyilang. Beban maksimum rantai berupa tegangan pada konfigurasi menyilang lebih besar dibandingkan dengan tegangan maksimum pada konfigurasi menyebar. Keduanya sama-sama terjadi pada kondisi balas penuh dengan sudut datang gelombang 90^0 dan pada rantai nomor 7. Sehingga untuk pemilihan rantai diperlukan rantai dengan nilai *breaking load* yang lebih besar.
3. Nilai maksimum untuk percepatan gerakan *heave* dok apung terjadi pada saat kondisi dok apung kosong dengan percepatan sebesar 0.208 m/s^2 , sehingga masuk dalam kategori *not uncomfortable* atau dengan kata lain dok apung memiliki tingkat kenyamanan yang baik.
4. Respon gerakan yang terjadi masih memenuhi kriteria dari biro klasifikasi yakni untuk gerakan *roll* dan *pitch*.

VI.2 Saran

Dalam penelitian ini masih ada kekurangan – kekurangan yang terjadi karena masih banyaknya pokok bahasan yang perlu diteliti dan dikembangkan lagi. Selain itu untuk saran pada penelitian selanjutnya, adalah sebagai berikut:

1. Hasil penelitian dapat dipertimbangkan untuk melakukan perencanaan dok apung terutama konfigurasi tambat dan jarak antara dok apung dengan dasar laut
2. Perlu dilakukan penelitian yang lebih dalam lagi terhadap pengaruh jarak antara dasar laut dengan dasar dok apung untuk mengetahui pengaruhnya terhadap gerakan dari dok apung untuk melihat adanya *squat effect*

DAFTAR PUSTAKA

- Ansys Inc. (2012). *Ansys Aqwa User Manual*. Century Dynamic Load.
- Arifin, S., & Wibowo, H. (2012). *Kajian Numerik Respon Gerakan Kapal FPSO/FSO dan Tegangan Mooring Hawser Saat Ditambat*. Surabaya: UPT Balai Pengkajian dan Penelitian Hidrodinamika - BPPT.
- Bhattacharyya, R. (1978). *Dynamic of Marine Vehicle*. U.S. Naval Academy, Annapolis: Maryland.
- Chakrabarti, S. (1987). *Hydrodynamic of Offshore Structures*. Boston. USA: Computational Mechanics Publications Southampton.
- Cornick, H. F. (1968). *Dock and Harbour Engineering: The Design of Dock* (second ed., Vol. 1). London: Charles Griffin and Company Ltd.
- Djarmiko, E. (2012). *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. Surabaya: ITS Press.
- DNV GL. (2015). *DNV-GL Offshore Standard: Mooring Position*. DNV-GL.
- GL Noble Denton. (2010). *Guideline for Marines Transportation*. Noble Denton Ltd.
- Godderidge, B. e. (2006). *A Verivication and validation study of the Aplicatin of Computational Fluid Dynamics to the Modelling of Lateral Sloshing*. Southampton: Univerity od Southampton.
- Hull Engineering Department Mc Dermott. (2000). *Wamit-Moses Comparison Study*. J. Ray Mc Dermott.
- Santoso, M. (2015). *Analisis Prediksi Motion Sickness Incidence (MSI) pada Kapal Catamaran 1000 GT dalam Tahap Desain Awal (Initial Design)*. Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Sudira, B. P. (2014). *Studi Karakteristik Gerakan dan Operabilitas Anjungan Pengeboran Semi-Submersible dengan Dua Kolom Miring dan Ponton Berpenampang Persegi Empat*. Surabaya: Teknik Kelautan, ITS.
- Tsinker, G. P. (2004). *Port Engineering: Construction, Maintenance and Security*. New Jersey: John Wiley and Sons Inc.
- Versteeg, H., & Malalasekera, W. (2007). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*. Essex, England: Longman Scientiic & Technical.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Blitar 20 Desember 1993 sebagai anak bungsu dari dua bersaudara. Kedua orang tua penulis, Daroini (ayah) dan Sudariyati (Ibu) membesarkan penulis bersama kakaknya, Fitria Rahmawati di Desa Popoh, Kecamatan Selopuro, Kabupaten Blitar. Semasa kecil penulis menempuh pendidikan formal di SD Negeri Popoh 03. Beranjak remaja, penulis melanjutkan pendidikan menengah di SMP Negeri 1 Wlingi dan dilanjutkan di SMA Negeri 1 Talun, Blitar. Setelah lulus SMA, penulis diterima di Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2012 melalui jalur SNMPTN-Ujian Tulis dan sebagai penerima beasiswa Bidik Misi dari Kementerian Pendidikan dan Perguruan Tinggi Republik Indonesia.

Semasa kuliah, penulis aktif dalam berbagai kegiatan baik itu organisasi maupun kepanitiaan, terutama kegiatan yang berkaitan dengan sosial kemasyarakatan dan religius. Organisasi tersebut diantaranya menjadi staff Humas dan Media Badan Pelayanan Ummat (BPU) JMMI TPKE ITS di tahun kedua kuliah, dilanjutkan sebagai Kepala Biro Humas dan Media dari Badan Pelayanan Ummat (BPU) JMMI TPKE ITS di tahun ke tiga kuliah dan sebagai Sekretaris Direktur Badan Pelayanan Ummat (BPU) JMMI TPKE ITS di tahun ke empat perkuliahan. Sedangkan untuk pengalaman kepanitiaan penulis aktif dalam berbagai kepanitiaan baik tingkat jurusan maupun tingkat Institut. Diantaranya kepanitiaan Lomba Karya Cipta Maritim Nasional (Lokarina), salah satu *sub-event* dari Semarak Mahasiswa Teknik Perkapalan (SAMPAN) 7, Lomba Karya Cipta Maritim Nasional (Lokarina) SAMPAN 8, Panitia Gugur Gunung ITS, Panitia Ramadhan Di Kampus (RDK) 35 dan Ramadhan Di Kampus (RDK) 36.

Disamping aktif dalam organisasi dan kepanitiaan, penulis juga sering mengikuti berbagai seminar dan pelatihan yang diadakan baik tingkat jurusan, institut, nasional, maupun tingkat internasional. Pelatihan dan seminar tersebut antara lain *ESQ Training Center* 2012, Pelatihan AutoCAD 2012, Pelatihan Maxsurf (2014), Pelatihan ANSYS (2016), Pelatihan *Bureau Veritas: Introduction to Hydrostar and Ariane Software* (2015), Latihan Kepemimpinan dan Manajemen Mahasiswa Pra-Tingkat Dasar, Latihan Kepemimpinan dan Manajemen Mahasiswa Tingkat Dasar.