



TUGAS AKHIR - MN184802

Studi Penurunan *Freeboard* terhadap *Deck Wetness*
pada Kapal *Open Top Container* 800 Teus.

Trevin Andrian
NRP. 0411154000055

Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
2020



TUGAS AKHIR - MN184802

**Studi Penurunan *Freeboard* terhadap *Deck Wetness*
pada Kapal *Open Top Container* 800 Teus.**

**Trevin Andrian
NRP. 0411154000055**

Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
2020**



FINAL PROJECT - MN184802

**STUDY ABOUT FREEBOARD REDUCTION AGAINST DECK
WETNESS OF OPEN TOP CONTAINER SHIP 800 TEUS**

**Trevin Andrian
NRP. 0411154000055**

Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING
ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY SURABAYA
2020**

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PENURUNAN FREEBOARD TERHADAP DECK WETNESS PADA KAPAL OPEN TOP CONTAINER 800 TEUS

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

TREVIN ANDRIAN
NRP 0411154000055

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing



Aries Sulistyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D.
NIP 19710320 199512 1 002

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, JANUARI 2020

LEMBAR REVISI

STUDI PENURUNAN FREEBOARD TERHADAP DECK WETNESS PADA KAPAL OPEN TOP CONTAINER 800 TEUS

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 07 Januari 2020


Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

TREVIN ANDRIAN
NRP 0411154000055

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. M. Nurul Misbah, S.T., M.T.

.....

2. Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.

.....

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Aries Sulisetyono S.T., MA.Sc., Ph.D.

.....

SURABAYA, JANUARI 2020

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis sampaikan kepada Tuhan YME karena atas berkat dan rahmat-NYA, Tugas Akhir dengan judul “Studi penurunan *freeboard* terhadap *deck wetness* pada kapal *open top container* 800 TEUS” dapat terselesaikan. Selesaiannya Tugas Akhir ini juga tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan YME.
2. Orangtua dan keluarga yang selalu memberi semangat dan dorongan untuk menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, ilmu, waktu, dan kesabaran dalam mengarahkan dan memberi nasihat kepada penulis.
4. Bapak Dr. Ir. Heri Supomo, M.Sc. selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan, ilmu, waktu, dan kesabaran selama masa perkuliahan kepada penulis.
5. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS
6. Dosen-dosen Jurusan Teknik Perkapalan yang tidak dapat disebutkan satu per satu.
7. Bapak Tri Budhi S. selaku pihak dari perusahaan yang bersedia memberi data-data kapal.
8. Teman-teman angkatan 2015 (Samuderaraksa) atas pertemanannya selama masa perkuliahan.
9. Keluarga besar HIMATEKPAL ITS serta berbagai pihak yang tidak dapat disebutkan oleh penulis satu per satu.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan tugas ini.

Penulis menyadari dalam penyusunan Tugas Akhir ini terdapat banyak kekurangan oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Besar harapan penulis bahwa laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat yang seluas luasnya bagi banyak pihak.

Surabaya, Januari 2020

Trevin Andrian

STUDI PENURUNAN FREEBOARD TERHADAP DECK WETNESS PADA KAPAL OPEN TOP CONTAINER 800 TEUS

Nama Mahasiswa : Trevin Andrian
NRP : 0411154000055
Jurusan / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan Dosen
Pembimbing : Aries Sulistetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Open top container merupakan salah satu jenis kapal container yang tidak mempunyai tutup palka. Kapal jenis ini riskan terhadap faktor *deck wetness* karena dapat merusak *container* dan kargo yang ada di dalamnya. Salah satu kapal jenis *open top* yang bernama HUANGHAI 4 berkelas CCS (China Classification Society) melakukan *model test* pada *towing tank* dengan tinggi gelombang 7,5m. Sedangkan saat beroperasi di Indonesia, tinggi gelombang pada jalur pelayaran hanya sebesar 2,5 – 3m. Sehingga, muncul keinginan dari *owner* untuk memaksimalkan keuntungan dengan cara meningkatkan *displacement* dari kapal tersebut. Tugas Akhir ini bertujuan untuk mengetahui probabilitas *deck wetness* terhadap penurunan *freeboard* kapal dan juga besar *displacement* yang dapat ditambahkan. . *Running* simulasi dan analisis probabilitas *deck wetness* dilakukan menggunakan metode *strip theory* dengan bantuan *software maxsurf motion*. Pengecekan besar probabilitas *deck wetness* tersebut dilakukan pada lima kondisi sudut *heading* yaitu: 0 derajat, 45 derajat, 90 derajat, 135 derajat, dan 180 derajat, dengan tinggi gelombang 3m. Selain itu, pengecekan juga dilakukan dengan variasi 5 tinggi *freeboard*, yaitu 4 meter, 3,5 meter, 3 meter, 2,5 meter, dan 2 meter. Berdasarkan hasil simulasi dan perhitungan numerik maka didapat minimum tinggi *freeboard* kapal *open top container* 800 TEUS ini agar tetap memenuhi kriteria *deck wetness* dan *vertical acceleration* dari NORDFORSK 1987 adalah sebesar 2,5m. Sehingga, didapat penambahan *displacement* yang dapat ditambahkan adalah sebesar 4.418 ton atau 24,347% lebih besar dari *displacement* awal.

Kata Kunci: Kapal Open Top Container, Deck Wetness, Akselerasi Vertikal, Penurunan Freeboard, Maxsurf Motion.

STUDY ABOUT FREEBOARD REDUCTION AGAINST DECK WETNESS OF OPEN TOP CONTAINER SHIP 800 TEUS

Author : Trevin Andrian
Student Number : 0411154000055
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

Open top containership is a type of container ship which doesn't have hatch cover. This type of ship is very risky to deck wetness because it can cause damage to the container and cargo contained in the container. One of this ship called HUANGHAI 4 whom class is CCS (China Classification Society) did its model test of this ship with wave height of 7,5m. Meanwhile, the wave height of its shipping route nowadays is 2,5 – 3m. Thus, the owner wanted to maximize the profit by increasing the ship's displacement. The purpose of this final project is to find the probability of deck wetness against the reduction of freeboard. The simulation was done with strip theory method and help of maxsurf motion software. The simulation to calculate probability of deck wetness was done in 5 variation of degree which are: 0 degree, 45 degree, 90 degree, 135 degree, and 180 degree, and 3m of wave height. Beside that, this calculation was also done in 5 variation of freeboard, which are 4 meter, 3,5 meter, 3 meter, 2,5 meter, and 2 meter. According to the result of simulation and calculation, it's concluded that the minimum freeboard height of open top container ship 800 TEUS so that it still fulfill the deck wetness and vertical acceleration criteria from NORDFORSK 1987 is 2,5m. So, the displacement that we can add to the ship is 4.418 tons or 24,347% more from its previous displacement.

Keywords : Open top containership, probability of deck wetness, vertical acceleration, freeboard reduction, maxsurf motion.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Hipotesis.....	3
BAB 2 STUDI LITERATUR	5
2.1 Open Top Container Ship.....	5
2.2 Gelombang Laut.....	6
2.3 Wave Spectrum	7
2.4 Seakeeping	9
2.5 Response Amplitude Operator (RAO).....	10
2.6 Gerak Vertikal Haluan dan Gerak Relatif Haluan	10
2.7 Effective Freeboard.....	12
2.8 Deck Wetness.....	13
2.9 Model Test Open Top Container Ship.	14
2.10 Tinggi Gelombang Indonesia.....	15
2.11 Maxsurf Motion	16
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Diagram Alir	19
3.2 Tahap-tahap Pengerjaan Tugas Akhir.....	20
3.2.1 Studi Literatur	20
3.2.2 Data Kapal.....	21
3.2.3 Pemodelan Lambung Kapal	22
3.2.4 Maxsurf Motion.....	24
3.2.5 Validasi Motion.....	25
3.2.6 Variasi Freeboard Kapal.....	34
3.2.7 Perhitungan Vertical Motion dan Relative Bow Motion.....	35
3.2.8 Perhitungan Deck Wetness.....	35
3.2.9 Perhitungan Akselerasi Vertikal.....	35
3.3 Spesifikasi Komputer	35
3.4 Kesimpulan dan Saran.....	36
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Validasi Amplitudo Heave dan Pitch.....	37

4.2 RAO Heave dan Pitch Kapal Open Top Container.....	41
4.3 Relative Bow Motion Kapal Open Top Container.....	47
4.4 Relative Bow Motion Spectrum.....	52
4.5 Luasan Respons Spektrum	57
4.6 Deck Wetness.....	60
4.7 Vertical Acceleration	63
4.8 Penambahan Displacement	69
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran.....	71
DAFTAR PUSAKA	73
LAMPIRAN	74
LAMPIRAN A HEAVE DAN PITCH	
LAMPIRAN B Relative Bow Motion dan relative bow motion spectrum	
LAMPIRAN C PERHITUNGAN EFFECTIVE FREEBOARD	
LAMPIRAN D VERTICAL ACCELERATION	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kapal <i>Open Top Container</i>	5
Gambar 2. 2 Gelombang Reguler	6
Gambar 2. 3 Gelombang irregular	7
Gambar 2. 4 Penjumlahan 2 gelombang sinusoidal	8
Gambar 2. 5 <i>Wave spectrum ITTC 2 parameters</i> gelombang 7,5m	9
Gambar 2. 6 Derajat bebas kapal terapung.....	9
Gambar 2. 7 <i>Effective Freeboard</i>	13
Gambar 2. 8 <i>Deck wetness</i> pada kapal	14
Gambar 2. 9 Pilihan metode pada <i>maxsurf motion</i>	17
Gambar 3. 1 <i>Linesplan</i> kapal <i>open top container</i> 800 TEUS.....	21
Gambar 3. 2 Ukuran utama kapal.....	22
Gambar 3. 3 <i>Body Plan</i> model kapal <i>open top container</i> 800 TEUS.....	23
Gambar 3. 4 <i>Sheer plan</i> model kapal <i>open top container</i> 800 TEUS	23
Gambar 3. 5 <i>Half breadth plan</i> model kapal <i>open top container</i> 800 TEUS.....	23
Gambar 3. 6 3D model kapal <i>open top container</i> 800 TEUS.....	24
Gambar 3. 7 Lambung kapal dalam <i>strip theory</i>	25
Gambar 3. 8 Model kapal <i>open top container</i> 800 TEUS	26
Gambar 3. 9 <i>Towing test</i> dengan sudut <i>heading</i> 0 derajat.....	27
Gambar 3. 10 Hasil <i>towing tank test</i>	28
Gambar 3. 11 <i>Draft</i> dan <i>trim</i> pada <i>maxsurf motion</i>	29
Gambar 3. 12 <i>Measure hull</i> pada <i>maxsurf motion</i>	29
Gambar 3. 13 <i>Mass distribution</i> pada <i>maxsurf motion</i>	30
Gambar 3. 14 <i>Frequency range</i> pada <i>maxsurf motion</i>	30
Gambar 3. 15 <i>Environment</i> pada <i>maxsurf motion</i>	31
Gambar 3. 16 <i>Strip theory method</i> pada <i>maxsurf motion</i>	31
Gambar 3. 17 <i>Speed input</i> pada <i>maxsurf motion</i>	32
Gambar 3. 18 Sudut <i>heading input</i> pada <i>maxsurf motion</i>	32
Gambar 3. 19 <i>Wave spectrum input</i> pada <i>maxsurf motion</i>	33
Gambar 3. 20 <i>Solve seakeeping analysis</i>	33
Gambar 3. 21 Hasil RAO	34
Gambar 3. 22 Hasil <i>Spectrum</i>	34

Gambar 4. 1 Validasi <i>heave</i>	41
Gambar 4. 2 Validasi <i>Pitch</i>	41
Gambar 4. 3 RAO <i>Heave</i> 135 derajat.....	42
Gambar 4. 4 RAO <i>Pitch</i> 135 derajat.....	42
Gambar 4. 5 RAO <i>Heave</i> 180 derajat.....	43
Gambar 4. 6 RAO <i>Pitch</i> 180 derajat.....	43
Gambar 4. 7 RAO <i>Heave</i> 45 derajat.....	44
Gambar 4. 8 RAO <i>Pitch</i> 45 derajat.....	44
Gambar 4. 9 RAO <i>Heave</i> 90 derajat.....	45
Gambar 4. 10 RAO <i>Pitch</i> 90 derajat.....	45
Gambar 4. 11 RAO <i>Heave</i> 0 derajat.....	46
Gambar 4. 12 RAO <i>Pitch</i> 0 derajat.....	46
Gambar 4. 13 <i>Relative bow motion</i> 135 derajat	48
Gambar 4. 14 <i>Relative bow motion</i> 180 derajat	49
Gambar 4. 15 <i>Relative bow motion</i> 90 derajat	50
Gambar 4. 16 <i>Relative bow motion</i> 45 derajat	51
Gambar 4. 17 <i>Relative bow motion</i> 0 derajat	52
Gambar 4. 18 <i>Relative bow motion spectrum</i> 135 derajat.....	53
Gambar 4. 19 <i>Relative bow motion spectrum</i> 180 derajat.....	54
Gambar 4. 20 <i>Relative bow motion spectrum</i> 90 derajat.....	55
Gambar 4. 21 <i>Relative bow motion spectrum</i> 45 derajat.....	56
Gambar 4. 22 <i>Relative bow motion spectrum</i> 0 derajat.....	57
Gambar 4. 23 Grafik <i>Vertical Acceleration</i> 0 derajat.....	64
Gambar 4. 24 Grafik <i>Vertical Acceleration</i> 45 derajat.....	65
Gambar 4. 25 Grafik <i>Vertical Acceleration</i> 90 derajat.....	66
Gambar 4. 26 Grafik <i>Vertical Acceleration</i> 135 derajat.....	67
Gambar 4. 27 Grafik <i>Vertical Acceleration</i> 180 derajat.....	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Persamaan <i>Response Amplitude Operator</i>	10
Tabel 3. 1 Validasi model kapal <i>open top container</i> 800 TEUS	24
Tabel 3. 2 Data percobaan <i>towing tank</i> kapal <i>open top container</i> 800 TEUS	26
Tabel 4. 1 Validasi 0 derajat	38
Tabel 4. 2 Validasi 45 derajat	38
Tabel 4. 3 Validasi 90 derajat	39
Tabel 4. 4 Validasi 135 derajat	39
Tabel 4. 5 Validasi 180 derajat	40
Tabel 4. 6 Tabel RMSE Heave dan Pitch	40
Tabel 4. 7 Luas grafik <i>relative bow motion spectrum</i> 135 derajat	58
Tabel 4. 8 Luas grafik <i>relative bow motion spectrum</i> 180 derajat	58
Tabel 4. 9 Luas grafik <i>relative bow motion spectrum</i> 90 derajat	59
Tabel 4. 10 Luas grafik <i>relative bow motion spectrum</i> 45 derajat	59
Tabel 4. 11 Luas grafik <i>relative bow motion spectrum</i> 0 derajat	60
Tabel 4. 12 Probabilitas <i>deck wetness</i> 0 derajat	61
Tabel 4. 13 Probabilitas <i>deck wetness</i> 45 derajat	61
Tabel 4. 14 Probabilitas <i>deck wetness</i> 90 derajat	62
Tabel 4. 15 Probabilitas <i>deck wetness</i> 180 derajat	62
Tabel 4. 16 Probabilitas <i>deck wetness</i> 135 derajat	63
Tabel 4. 17 <i>Vertical Acceleration</i> 0 derajat	64
Tabel 4. 18 <i>Vertical acceleration</i> 45 derajat	65
Tabel 4. 19 <i>Vertical acceleration</i> 90 derajat	66
Tabel 4. 20 <i>Vertical acceleration</i> 135 derajat	67
Tabel 4. 21 <i>Vertical acceleration</i> 180 derajat	68
Tabel 4. 22 Penambahan <i>displacement</i> kapal <i>open top container</i> 800 TEUS	69

DAFTAR SIMBOL

T	= Periode gelombang (s)
g	= percepatan gravitasi (m/s^2)
ω_w	= frekuensi gelombang (rad/s^2)
ω_e	= <i>Frequency of wave encounter</i> (rad/s^2)
ε_z	= sudut fase gerakan heaving terhadap gelombang.
ε_θ	= sudut fase gerakan pitching terhadap gelombang.
Zb	= gerak vertical haluan (m)
(Zb)a	= amplitudo gerak vertical haluan (m).
ε_b	= sudut fase gerak vertical haluan (rad).
(Zbr)a	= amplitudo Gerak haluan relatif. (m)
ζ_a	= amplitudo gelombang. (m)
ke	= angka gelombang efektif.
ε_b	= sudut fase gerakan haluan vertikal.(rad)
φ	= sudut <i>heading</i> (derajat)
Lw	= Panjang gelombang (m)
f(l)	= <i>Actual freeboard</i> (m)
hs(l)	= <i>Static swell up.</i> (m)
L	= Panjang Kapal (m)
B	= Lebar kapal (m)
LE	= <i>Length of Entrance</i> (m)
Fn	= <i>fraude number</i>
M ₀	= Luasan di bawah <i>response spectrum</i>

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Peti kemas atau *container* adalah salah satu alat yang digunakan sebagai sarana pengiriman barang melalui jalur laut (kapal). Menurut Kementerian Perhubungan pada tahun 2017 di Indonesia sendiri pada tahun 2017 arus peti kemas tercatat tumbuh 7,89%, tertinggi sejak 2013 sekaligus melampaui pertumbuhan rerata dalam 4 tahun terakhir. Hal ini membuktikan bahwa peti kemas masih menjadi salah satu pilihan utama dalam transportasi barang. Untuk mengangkut peti kemas ini dibutuhkan alat transportasi berupa kapal peti kemas. Kapal peti kemas atau *Container Ship* adalah kapal yang khusus digunakan untuk mengangkut peti kemas yang standar. Kapal ini memiliki rongga (*cells*) untuk menyimpan peti kemas ukuran standar. Kapal peti kemas sendiri dibagi menjadi beberapa jenis, salah satunya adalah *open top container ship*. *Open top container ship* atau bisa juga disebut *hatch coverless container ship* seperti namanya adalah kapal peti kemas yang tidak mempunyai penutup palka atau *hatch cover*. Hal ini akan mempercepat proses bongkar muat di pelabuhan, mengurangi berat perlengkapan (*outfitting*) kapal, mengurangi biaya *maintenance* dari tutup palka, mempercepat proses pembuatan kapal, dan memungkinkannya kapal ini untuk mengangkut peti kemas yang mempunyai tinggi tidak sesuai standard.

Open top container ship ini dalam pembuatannya, punya aturan khusus dari kelas. Di Indonesia pembuatan *open top container ship* ini masih dilakukan di China dan mengikuti aturan IMO (*International Maritime Organization*) yang salah satu aturannya menyebutkan bahwa dalam *test model* tinggi gelombang yang digunakan adalah 8,5m. Tetapi, berdasarkan data dari BMKG (Badan Meteorologi, Kimatologi, dan Geologi) Indonesia, tinggi gelombang perairan Indonesia dari Januari 2008 – Januari 2017 tidak melebihi 5 meter.

Hal ini tentu saja akan sangat merugikan pemilik kapal karena desain yang tidak sesuai dengan daerah pemilik tersebut mengoperasikan kapalnya. Maka dari itu diadakan studi tentang pengaruh penurunan *freeboard* akibat penambahan muatan terhadap *deck wetness* kapal agar tetap sesuai dalam aturan. Hal ini akan memaksimalkan atau mengoptimisasi muatan yang bisa dibawa oleh kapal tersebut. Maka dari itu, diharap gagasan studi *open top container ship* di Indonesia ini dapat menjadi solusi dari masalah yang ada.

1.2 Perumusan Masalah

Dari uraian latar belakang di atas, dapat dirumuskan beberapa pokok permasalahan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana probabilitas terjadinya *deck wetness* terhadap variasi tinggi *freeboard*?
- b. Berapa *vertical acceleration* yang dialami kapal?
- c. Berapa tinggi *freeboard* minimum kapal agar tetap memenuhi kriteria *deck wetness* dan *vertical acceleration*?
- d. Berapa penambahan *displacement* yang dapat ditambahkan agar tidak melebihi probabilitas *deck wetness* sebesar 0.05?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung probabilitas teradinya *deck wetness* terhadap variasi tinggi *freeboard*
- b. Menghitung *vertical acceleration* yang dialami kapal.
- c. Menghitung tinggi *freeboard* minimum kapal agar tetap memenuhi kriteria *deck wetness* dan *vertical acceleration*.
- d. Mengetahui jumlah *displacement* yang dapat ditambahkan agar tidak melebihi probabilitas *deck wetness* sebesar 0.05.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan untuk membatasi ruang lingkup, objek, dan metode penelitian. Pemberian batasan masalah ini dimaksudkan untuk menyederhanakan dan mengefektifkan proses pemecahan masalah. Batasan-batasan tersebut antara lain:

- a. Pengujian validasi dilakukan ketika kapal dalam kondisi *draft* penuh (6,5m).
- b. Pengujian dilakukan pada 5 variasi tinggi *freeboard* (4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m) dan 5 variasi sudut *heading* (0, 45, 90, 135, dan 180 derajat).
- c. Tidak menghitung stabilitas kapal.
- d. Model pengujian numerik dimodelkan dengan bantuan *software* Maxsurf.

- e. Rute pelayaran kapal adalah dari Surabaya menuju Belawan dengan tinggi gelombang 3m.

1.5 Manfaat

Penelitian Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat, diantaranya sebagai berikut:

- a. Secara akademik, diharapkan hasil penelitian tugas akhir ini dapat menunjang proses belajar mengajar, menambah wawasan bagi para pembaca, serta memajukan bidang keilmuan hidrodinamika di Indonesia
- b. Secara praktek, diharapkan hasil penelitian tugas akhir ini dapat berguna sebagai salah satu referensi pengembangan *open top containership* di Indonesia

1.6 Hipotesis

Pengurangan tinggi *freeboard* akan meningkatkan probabilitas *deck wetness* yang terjadi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

STUDI LITERATUR

2.1 Open Top Container Ship

Open top Container ship adalah salah satu jenis kapal kontainer yang tidak mempunyai *hatch cover* atau penutup palka. *Open Top Container Ship* ini memiliki struktur dan konstruksi yang mirip dengan kapal kontainer pada umumnya hanya saja tidak memiliki penutup palka, sehingga bersifat terbuka (Willfred, 1995). Hal ini akan mempercepat proses bongkar muat di pelabuhan, mengurangi berat perlengkapan (*outfitting*) kapal, mengurangi biaya *maintenance* dari tutup palka, mempercepat proses pembuatan kapal, dan memungkinkannya kapal ini untuk mengangkut peti kemas yang mempunyai tinggi tidak sesuai standard.



Gambar 2. 1 Kapal *Open Top Container*

Dalam *research* yang dilakukan Tomasz Cepowski dengan judul “*Modelling of seakeeping qualities of open-top container carriers in the preliminary design phase*” dikatakan bahwa faktor yang paling riskan dalam kapal *open top container* ini adalah *deck wetness* dan juga *vertical acceleration*. Karena, *deck wetness* ini dapat merusak cargo container yang

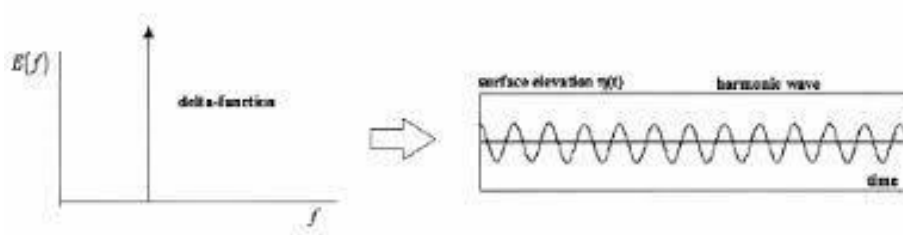
diangkut serta peralatan-peralatan kapal lain. Begitu juga dengan *vertical acceleration* dapat merusak *socket* dari kontainer dan juga memberikan *damage* pada lambung kapal (Cepowski, 2011).

2.2 Gelombang Laut

Kapal yang bergerak di laut dipengaruhi oleh gaya-gaya dari luar antara lain berupa gaya gelombang, gaya arus air, dan gaya angin. Untuk memprediksi gerakan kapal yang dipengaruhi semua hal diatas adalah sangat kompleks, karena itu diperlukan penyederhanaan dengan beberapa asumsi sehingga permasalahan dapat lebih sederhana dan dapat dicari penyelesaiannya. Untuk tugas akhir ini diasumsikan hanya gelombang laut yang mempengaruhi gerakan kapal, sedangkan yang lainnya diabaikan.

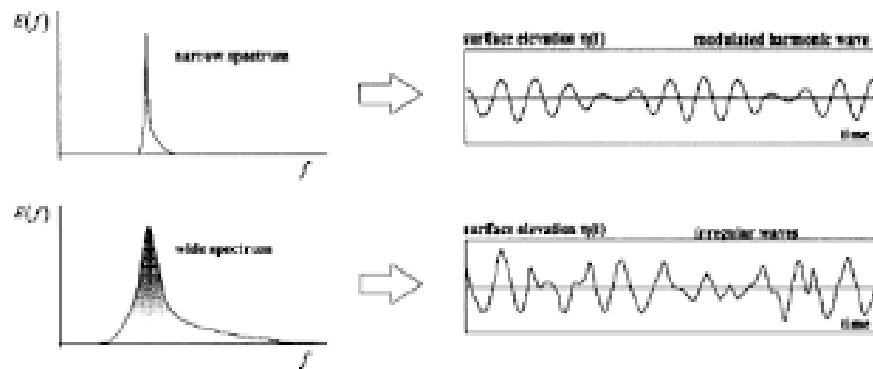
Gelombang di laut kenyataannya mempunyai bentuk dan sifat yang kompleks, tetapi untuk perhitungan ilmiah dilakukan pendekatan untuk menggambarkan sifat dari gelombang tersebut. Gelombang mempunyai sifat yang berbeda untuk perairan dalam dan dangkal. Terdapat dua macam gelombang yaitu gelombang reguler dan gelombang irreguler.

Gelombang reguler merupakan gelombang dengan periode tunggal, sehingga gelombang ini juga mempunyai spektrum tunggal. Sedangkan gelombang irreguler merupakan gelombang superposisi dari beberapa gelombang reguler yang mempunyai frekuensi dan tinggi gelombang berbeda (Fatnanta, 2009).



Gambar 2. 2 Gelombang Reguler

(Fatnanta, 2009)



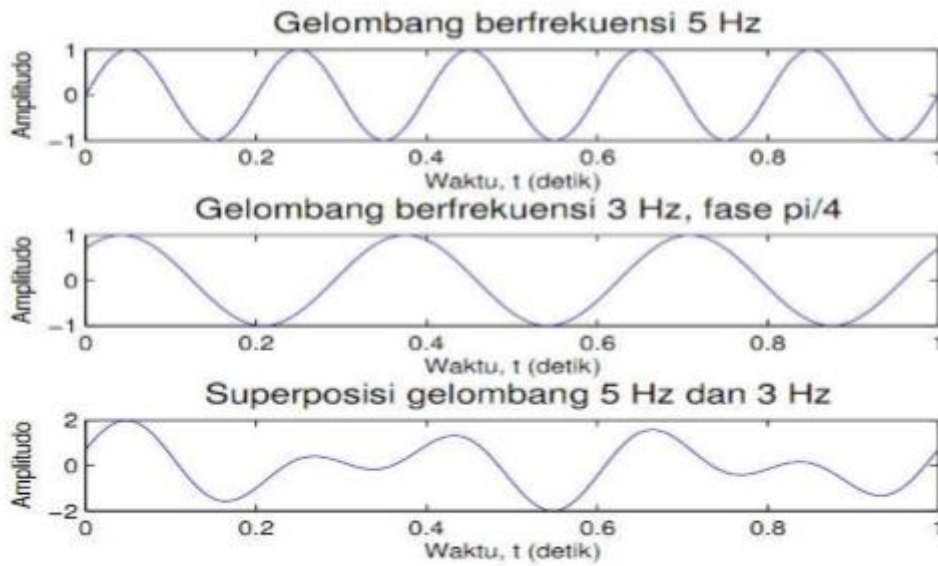
Gambar 2. 3 Gelombang irregular

(Fatnanta, 2009)

2.3 Wave Spectrum

Pola gelombang irregular dapat dihasilkan jika sejumlah gelombang sinusoidal dengan panjang gelombang dan tinggi yang berbeda digabungkan. Gelombang hasil penggabungan tidak menunjukkan pola yang pasti untuk ketinggian gelombang, panjang gelombang, ataupun periode gelombang.

Penggabungan beberapa gelombang sinusoidal tidak hanya menghasilkan gelombang irregular, tetapi juga pola gelombang tidak pernah terulang dari satu waktu ke waktu lain. Namun, ada satu cara untuk memperhitungkan gelombang irregular yaitu dengan menentukan total energi. Hal ini diperoleh dengan menjumlahkan energi dari semua gelombang reguler yang menghasilkan gelombang irregular dengan superposisi.



Gambar 2. 4 Penjumlahan 2 gelombang sinusoidal

(sumber: wendiferdintania.wordpress.com)

Pada tugas akhir ini digunakan wave spectrum dari *International Towing Tank Conference (ITTC) two parameters*. Berdasarkan (Bhattacharyya, 1978) rumus dari spektrum dapat dituliskan sebagai berikut:

$$S(\omega_w) = (A/\omega_w^5) \times e^{(-B)/\omega_w^4}$$

Dimana,

$$A = 172.25 \times H_{char}^2 / T^4$$

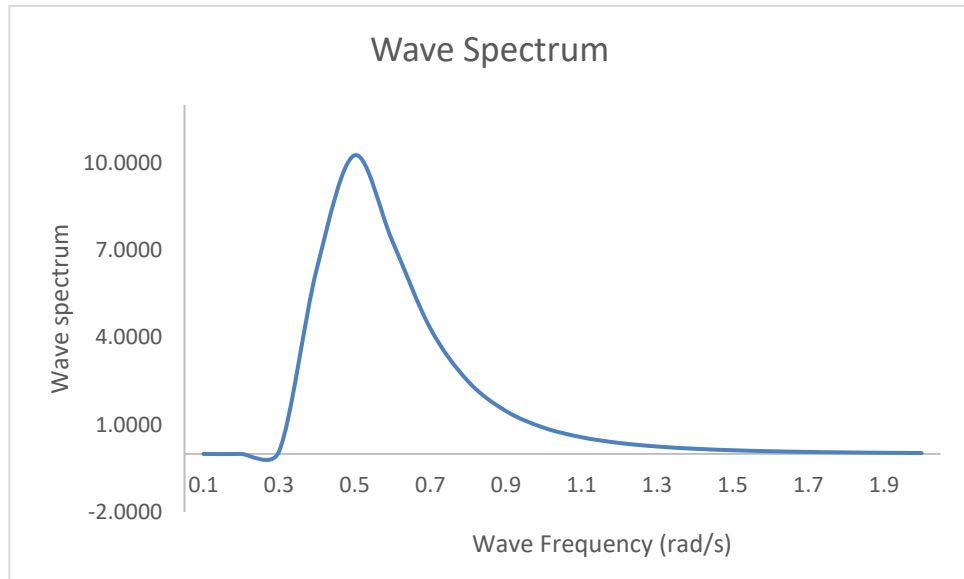
Hchar = Tinggi gelombang

T = Periode gelombang

g = percepatan gravitasi

ω_w = frekuensi gelombang

$$B = 691 / T^4$$



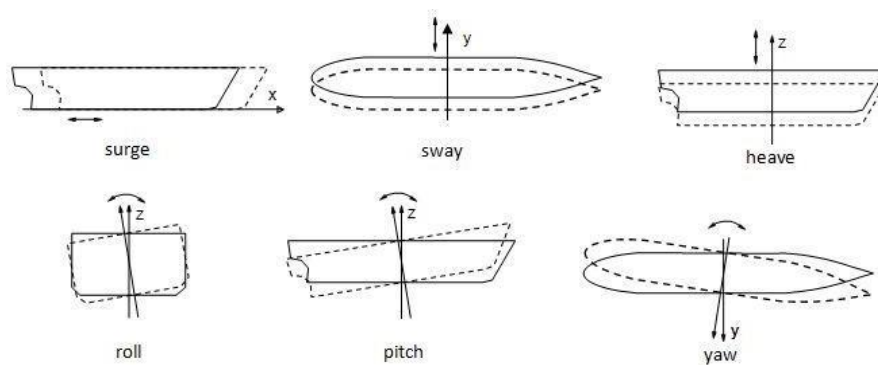
Gambar 2. 5 Wave spectrum ITTC 2 parameters gelombang 7,5m

2.4 Seakeeping

Dalam mendesain sebuah kapal, terdapat banyak faktor yang perlu dipertimbangkan oleh seorang perancang kapal karena kondisi lautan yang tidak ramah pada saat-saat tertentu dapat mengakibatkan kapal tidak dapat melakukan aktivitas berlayarnya.

Seakeeping adalah kemampuan kapal untuk bernavigasi secara aman pada suatu kondisi lingkungan tertentu. Kapal dikatakan memiliki kemampuan *seakeeping* yang baik apabila kapal tersebut mampu beroperasi secara efektif pada kondisi laut yang desain.

Suatu kapal yang terapung bebas mempunyai 6 derajat bebas, yaitu 3 translasi ke arah sumbu X, Y dan Z serta 3 rotasi, memutar sumbu X, Y dan Z. Sistem sumbu yang dipakai: sumbu X pos ke arah haluan kapal, sumbu Y pos ke arah kiri (port) kapal dan sumbu Z pos ke arah atas.



Gambar 2. 6 Derajat bebas kapal terapung

(Tahlil, 2005)

Masalah *seakeeping* meliputi gerak *heaving*, *pitching*, *surging*, *yawing*, *swaying*, dan *rolling*. Pada kenyataannya, kapal di laut bebas dapat mengalami keenam gerakan sekaligus. Namun yang sering digunakan untuk menjadi bahan pertimbangan adalah gerak *heaving* dan *pitching*.

2.5 Response Amplitude Operator (RAO)

Response Amplitude Operator (RAO) juga disebut sebagai gerakan suatu struktur pada gelombang regular. RAO adalah fungsi dari amplitude gerakan struktur terhadap amplitude 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 sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Persamaan *Response Amplitude Operator*

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

2.6 Gerak Vertikal Haluan dan Gerak Relatif Haluan

Gerakan vertikal merupakan gerakan di setiap titik sepanjang bangunan apung di atas gelombang regular. Berdasarkan (Bhattacharyya, 1978) persamaan gerak heaving dan pitching dinyatakan dalam bentuk seperti pada persamaan (1) dan (2) di bawah ini:

$$Z = Z_a \cos (\omega_e t + e_z) \quad (1)$$

$$\theta = \theta_a \cos(\omega_e t + \varepsilon\theta) \quad (2)$$

dimana, εz = sudut fase gerakan heaving terhadap gelombang.

$\varepsilon\theta$ = sudut fase gerakan pitching terhadap gelombang.

Sehingga gerakan haluan (Z_b) dapat dituliskan menjadi:

$$Z_b = (Z_b)_a \cos(\omega_e t + \varepsilon b) \quad (3)$$

$$(Z_b)_a = \sqrt{(Z_a)^2 + (\xi\theta_a)^2 + 2Z_a \xi\theta_a \cos(\varepsilon z - \varepsilon\theta)} \quad (4)$$

$$\tan(\varepsilon b) = \frac{Z_a \sin \varepsilon z + \xi\theta_a \sin \varepsilon\theta}{Z_a \cos \varepsilon z + \xi\theta_a \cos \varepsilon\theta} \quad (5)$$

dimana,

$(Z_b)_a$ = amplitudo gerak vertical haluan (m).

εb = sudut fase gerak vertical haluan (rad).

ξ = Jarak bow ke LCG

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

$$(Z_{br})_a = \sqrt{(Z_b)_a^2 + (\zeta a)^2 - 2(Z_b)_a \xi \theta_a \cos(\varepsilon z - \varepsilon b)} \quad (6)$$

dengan,

$(Z_{br})_a$ = amplitudo Gerak haluan relatif. (m)

$(Z_b)_a$ = amplitudo gerak vertikal haluan (m).

ζa = amplitudo gelombang. (m)

ke = angka gelombang efektif.

ϵb = sudut fase gerakan haluan vertikal.(rad)

Angka gelombang efektif dapat dicari dengan rumus :

$$K_e = (2\pi \cos \epsilon) / L_w$$

Dimana L_w adalah panjang gelombang.(m).

2.7 Effective Freeboard

Semakin tinggi *actual freeboard* suatu kapal maka kemungkinan terjadi *deck wetness* akan semakin kecil. *Freeboard* seperti yang telah diatur dalam *International Convention on Load Lines* (ICLL) oleh *International Maritime Organization* (IMO), merupakan selisih antara sarat kapal muatan penuh (T) yang diukur pada sarat musim panas (*Summer Freeboard*) dengan tinggi kapal tersebut. Tujuan dari *Freeboard* adalah untuk mempertahankan tinggi minimum lambung timbul sehingga kapal memiliki gaya apung cadangan. *Freeboard* pada kapal diatur dalam *International Convention on Load Lines* (ICLL) oleh *International Maritime Organization* (IMO). Sedangkan pengertian dari *Effective Freeboard* adalah *actual freeboard* yang dipengaruhi oleh efek *static swell up*. *Static swell up* sendiri dipengaruhi oleh gerakan *bow* kapal pada gelombang saat kapal berlayar pada kecepatan tertentu (Bhattacharyya, 1978). *Effective freeboard* sendiri menurut Bhattacharyya dapat dihitung dengan rumus:

$$f'(l) = f(l) - hs(l) \quad (7)$$

Dimana, $f(l)$ = *Actual freeboard*

$hs(l)$ = *Static swell up*.

Static swell up sendiri dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$(8)$$

Dimana, L = L_{pp} Kapal

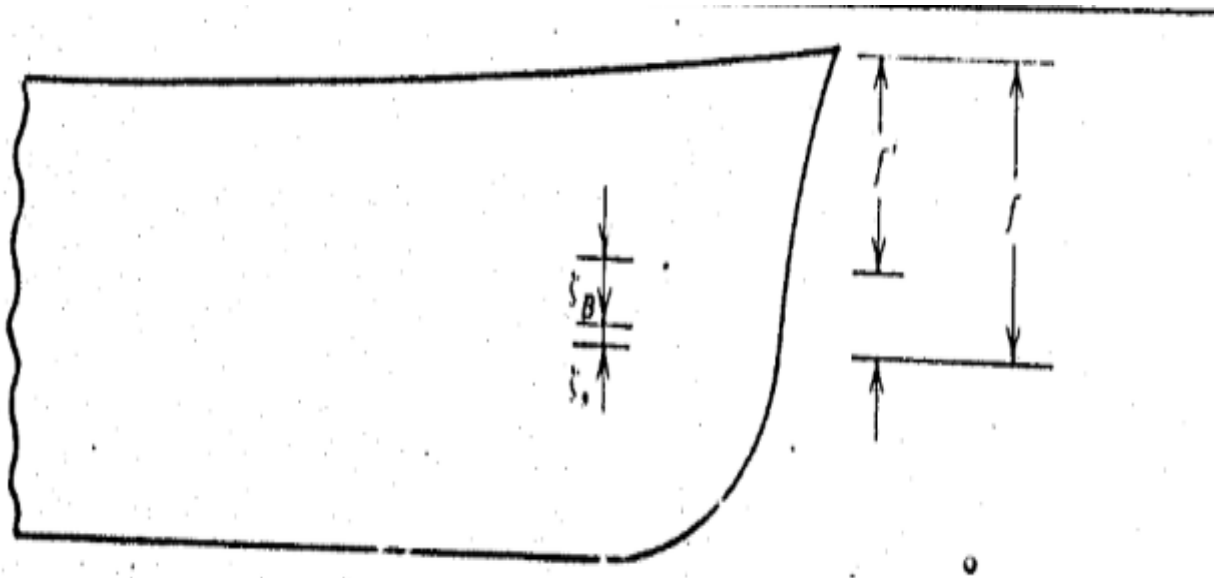
$$K1' = K1 (B/LE)$$

$$K1 = 0,75$$

B = Lebar kapal

LE = *Length of Entrance*

Fn = *fraude number*



Gambar 2. 7 *Effective Freeboard*

2.8 Deck Wetness

Pada cuaca yang ekstrim seperti badai, gelombang dan gerakan kapal dapat menjadi begitu besar sehingga air dapat masuk ke dek. Permasalahan tersebut dikenal sebagai *deck wetness* atau *green water loading*. Istilah *green water* digunakan untuk membedakan antara semprotan (sejumlah kecil air dan busa) yang mengenai dek dan air laut yang benar-benar berada di dek. Karena air laut lebih berwarna hijau daripada biru, maka istilah *green water* banyak digunakan.

Deck wetness dapat menyebabkan kerusakan pada perlengkapan kapal yang terdapat di *forecastle* dan pada kondisi yang parah dapat menyebabkan kapal terbalik. Ada beberapa cara untuk mengurangi *deck wetness*, yaitu menambah freeboard, mengurangi kecepatan, dan mengubah arah relative kapal terhadap gelombang utama (Iswara, 2014). Menurut Parunov, et al. *deck wetness* ini dapat menyebabkan kerusakan pada *equipment* kapal dan juga pada muatan, terutama pada kapal kontainer. Probabilitas *deck wetness* atau *greenwater* dihitung dengan persamaan (Bhattacharyya, 1978):

$$P\{s \geq f'(l)\} = e^{-f'(l)^2/2m_0} \quad (9)$$

Dimana,

f' = *Freeboard* efektif
 m_0 = Luasan di bawah *response spectrum*



Gambar 2. 8 *Deck wetness* pada kapal

(sumber: brookesbell.com)

Berdasarkan ITTC volume 1, halaman 401-468 yang diketuai oleh *Gerritsma, J. deck wetness* ini memberi dampak yang buruk pada *deck* kapal dan juga peralatan-peralatan yang ada di *deck* tersebut. Dikatakan juga bahwa semakin tinggi *probability deck wetness* suatu kapal akan semakin tinggi resiko terjadinya kerusakan *equipment* pada kapal. Pada 17% ada kemungkinan dapat menyebabkan kerusakan pada *electrical equipment* kapal. Pada 23% ada kemungkinan hanyutnya dan rusaknya *minor equipment* pada *main deck*. Jika *probability of deck wetness* sudah melebihi 41% maka dapat terjadi korosi yang cepat pada peralatan *deck*, pelat *deck*, dan juga pipa-pipa yang ada (ITTC, 1987). Menurut Parunov (2014) *deck wetness* yang diijinkan untuk *open top container ship* ini sebesar 0,05 dan *vertical acceleration* sebesar 0,275g (J. Parunov, L. Mudronja, P. Vidan, 2014).

2.9 Model Test Open Top Container Ship.

Open Top Container Ship dalam aturan IMO (*International Maritime Organization*) harus dilakukan uji model untuk memenuhi persyaratan *seakeeping* dan jumlah *greenwater*

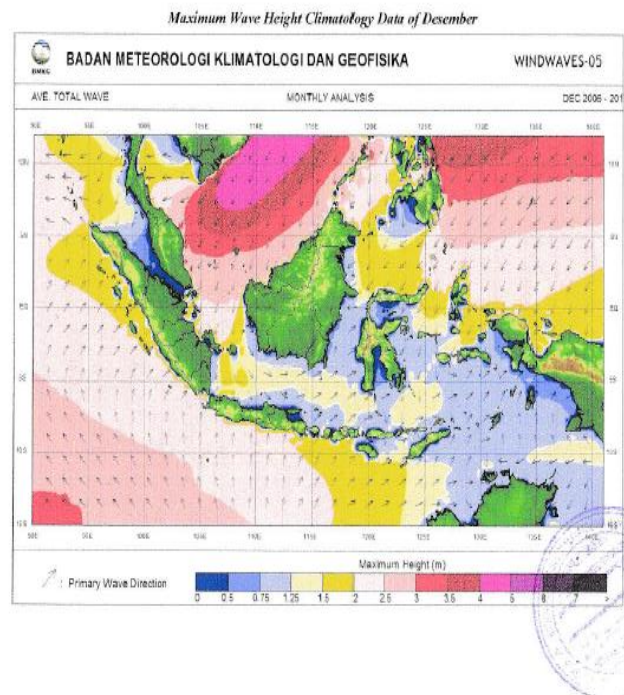
yang masuk ke dalam *cargo hold*. Pengujian ini dilakukan di *towing tank* dengan ketinggian gelombang setinggi 7,5m. Pengujian juga dilakukan dengan 4 variasi sudut gelombang, yaitu (0/360 derajat, 45/315 derajat, 90/270 derajat, 135/225 derajat, dan 180 derajat). Setelah dilakukan pengujian, diperiksa apakah jumlah *green water* yang masuk ke dalam ruang kargo masih memenuhi persyaratan (tidak lebih dari 400mm/hour dikali dengan luas area ruang kargo) (IMO, 1994). Selain itu *probability of deck wetness* kapal juga tidak boleh melebihi 0,05 atau 5% (NORDFORSK, 1987).

2.10 Tinggi Gelombang Indonesia

Tinggi gelombang menjadi persyaratan dalam melakukan *model test* pada kapal *open top containership*. Tinggi gelombang dalam uji model yang dilakukan adalah setinggi 8.5m. Sedangkan tinggi gelombang di Indonesia hanya sekitar 5m paling tinggi (BMKG, 2017).



1st Attachment :

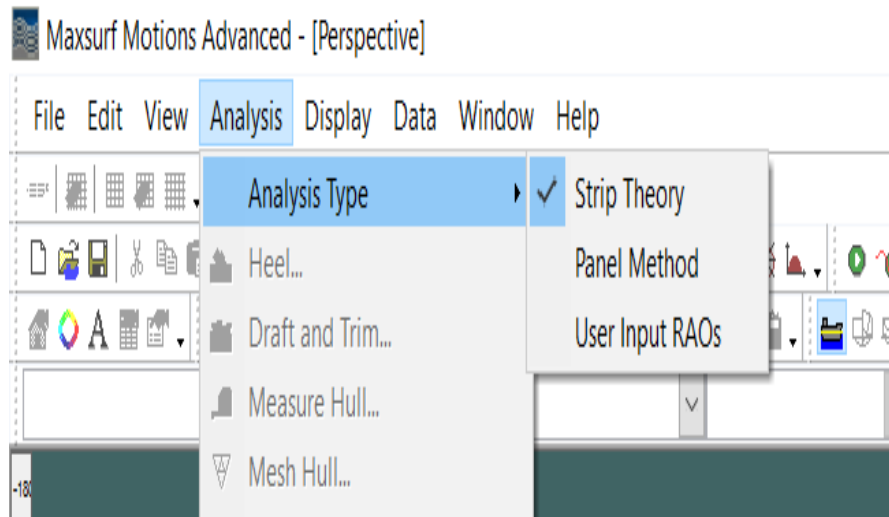


Gambar 2.9 Data tinggi gelombang BMKG

Dari gambar 2.9 di atas dapat kita lihat bahwa tinggi gelombang di Indonesia maksimal hanya setinggi 5-6 meter.

2.11 Maxsurf Motion

Maxsurf Motions adalah program analisis seakeeping dalam rangkaian perangkat lunak Maxsurf. Ia menggunakan file geometri Maxsurf untuk menghitung respons kapal terhadap kondisi laut yang ditentukan pengguna. Dua metode tersedia untuk menghitung respons kapal: metode teori strip linier dan metode panel. Opsi metode panel hanya tersedia di Maxsurf Motions Advanced. Metode teori strip linear adalah suatu metode yang didasarkan pada karya *Salvesen et al*, metode ini digunakan untuk menghitung *heave* dan *pitch* dari kapal. Sedangkan untuk respons *roll* dihitung menggunakan *linear roll damping theory*. Selain output grafik dan tabel data hasil numerik, *Maxsurf Motions* juga dapat memberikan animasi respons kapal terhadap kondisi laut tertentu (Bentley System, 2013). Untuk tugas akhir ini data yang diperlukan hanya *heave* dan *pitch saja* sehingga *roll* dapat diabaikan. Metode panel adalah analisis hidrodinamika di mana metode elemen batas dasar atau *constant panel based boundary method* (BEM) digunakan. Metode panel menghasilkan elemen analisis berdasarkan geometri dari permukaan NURBS dalam file desain Maxsurf. Metode panel menghasilkan *Response Amplitude Operators* (RAOs) untuk semua enam derajat kebebasan, yaitu: *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* and *yaw*. Metode panel ini valid untuk rentang geometri yang sangat luas tetapi dibatasi hanya kecepatan 0. Selain menghasilkan RAO, keluaran metode panel juga mencakup hidrodinamik *added mass and damping*, *first order wave exciting forces and moments*, gaya *drift* dan momen rata-rata dan tekanan pada *wetted surface* dari kapal. (Bentley System, 2013) Pada tugas akhir kali ini, metode yang digunakan adalah metode *strip theory* atau teori strip karena respons yang dibutuhkan adalah *heave* dan *pitch* saja, dan kecepatan kapal tidak sama dengan 0.



Gambar 2. 9 Pilihan metode pada *maxsurf motion*

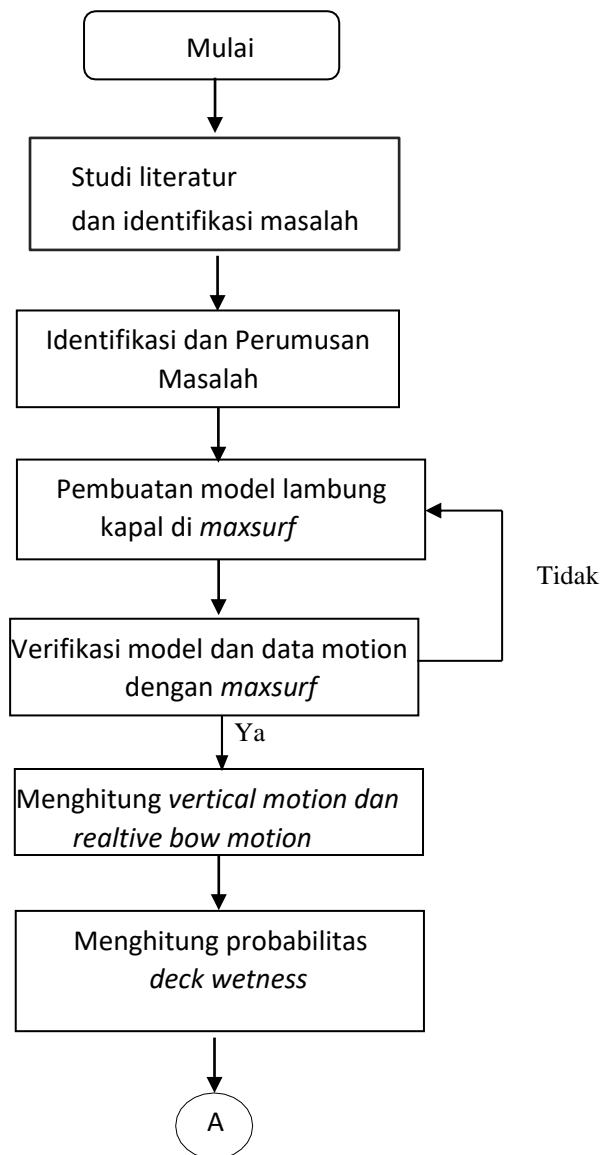
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

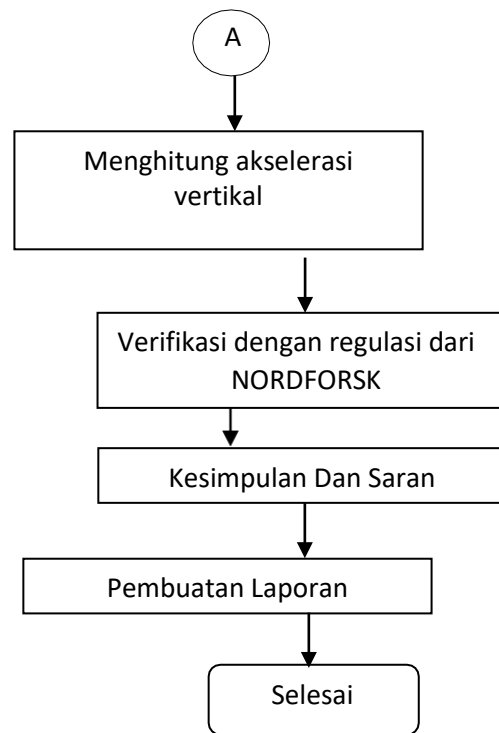
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Diagram Alir adalah langkah-langkah yang ditempuh oleh penulis untuk mengerjakan tugas akhir ini. Berikut adalah diagram alir tersebut:





3.2 Tahap-tahap Pengerjaan Tugas Akhir

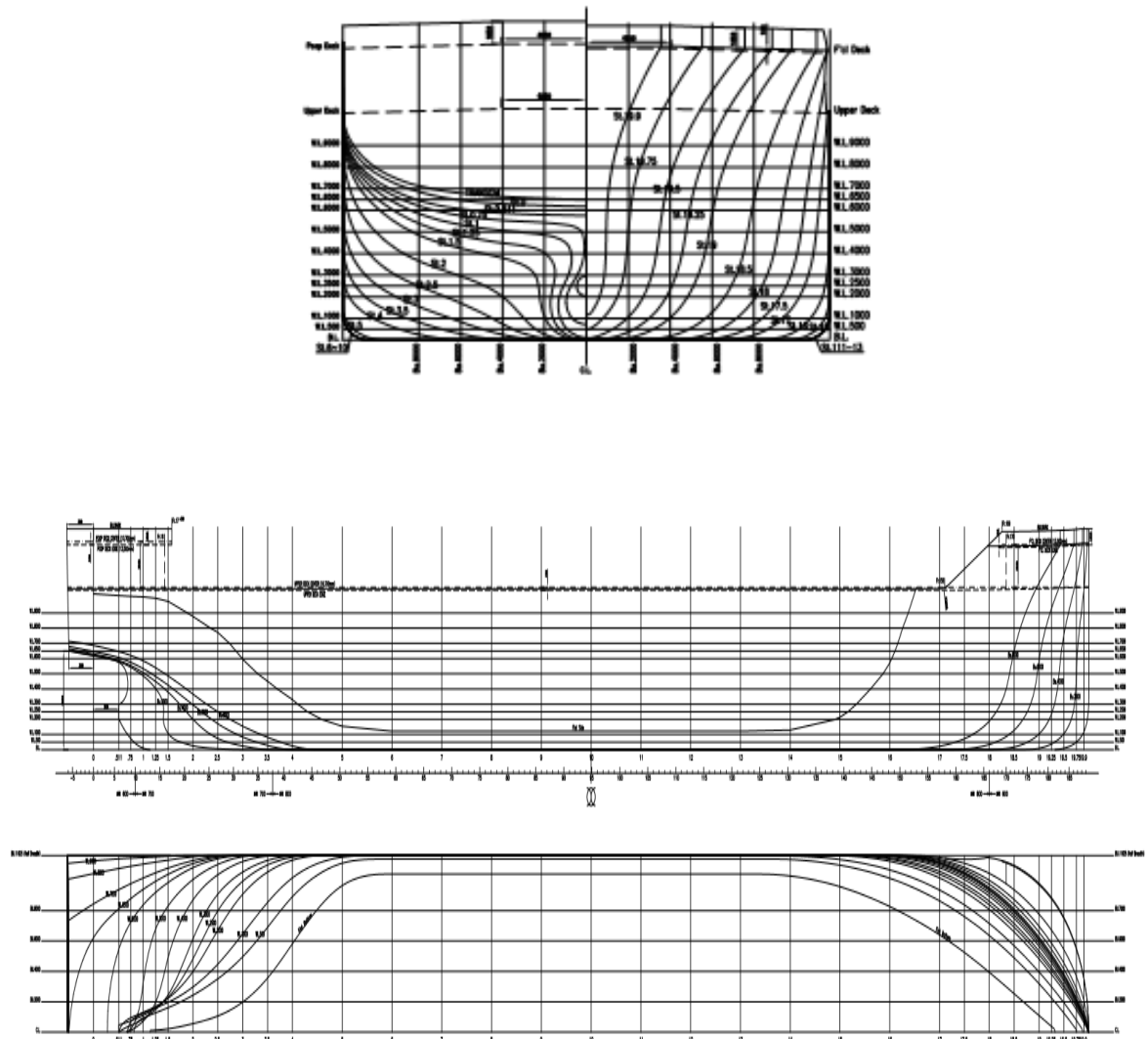
3.2.1 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan informasi mengenai kapal *open top container* 800 teus yang dibangun oleh PT. Meratus di China. Tujuan tahap ini adalah untuk mengetahui karakteristik kapal *open top container* 800 teus serta mencari teori, konsep, dan rumusan perhitungan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada.

Dalam tugas akhir ini digunakan program *Maxsurf Motion* untuk perhitungan numerik. Oleh karena itu perlu diketahui bagaimana cara kerja dan teori dari program tersebut, input yang dibutuhkan untuk menjalankan program, serta output yang diharapkan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Selain itu, dilakukan juga pengumpulan informasi mengenai data ukuran utama kapal, *linesplan*, dan hidrostatis untuk proses pemodelan kapal.

3.2.2 Data Kapal

Data kapal yang dibutuhkan dalam tugas akhir ini diambil dari PT. Meratus. Data kapal berupa *linesplan* dan data hasil *Towing Test*.



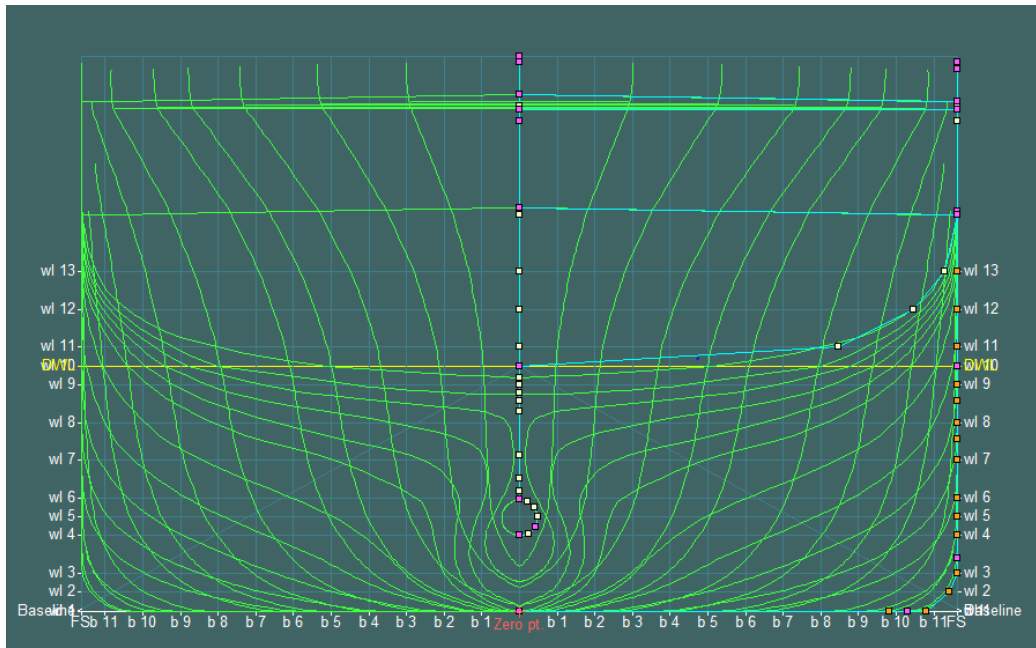
Gambar 3. 1 *Linesplan* kapal *open top container* 800 TEUS

Length o.a.	~ 146.00m
Length b.p.	142.20m
Length wl	145.70m
Breadth	23.25m
Depth	10.50m
Draught(scant.)	6.50m
Camber (Main Deck)	0.20m
Camber (F'cl Deck)	0.20m
Displacement	18301.2
Cb	0.8284
Cp	0.8319
Cwl	0.9303
Cm	0.9958

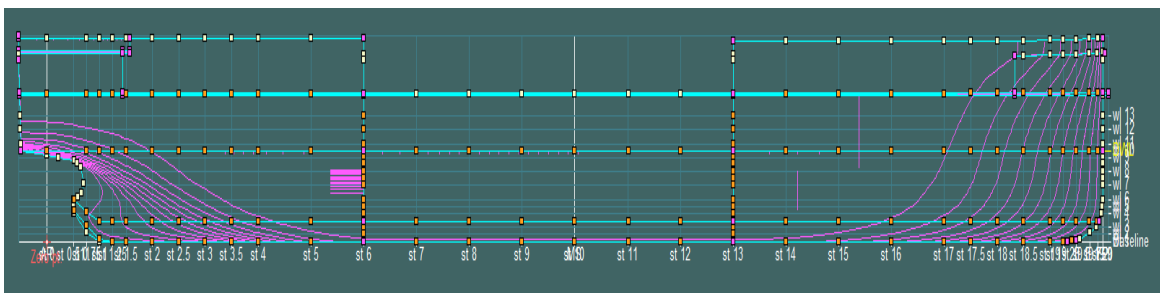
Gambar 3. 2 Ukuran utama kapal

3.2.3 Pemodelan Lambung Kapal

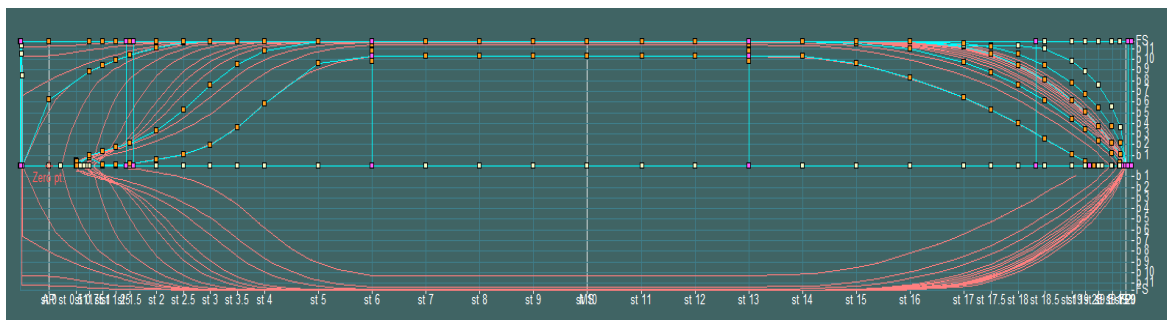
Pemodelan lambung kapal yang akan digunakan sebagai *input* pada program *maxsurf motion* dengan menggunakan bantuan *software maxsurf modeler*. Maxsurf membuat model lambung kapal yang terdiri dari beberapa *surface*. Database yang akan digunakan pada tahap ini adalah *linesplan* kapal *open top container* dan model lambung kapal akan divalidasi dengan menggunakan data percobaan *towing test*.



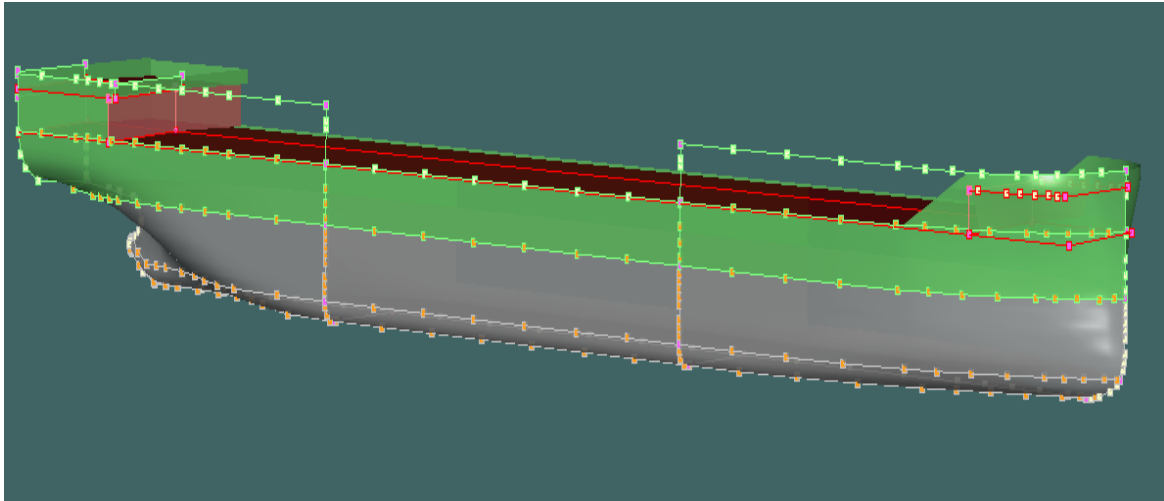
Gambar 3. 3 *Body Plan* model kapal open top container 800 TEUS



Gambar 3. 4 *Sheer plan* model kapal open top container 800 TEUS



Gambar 3. 5 *Half breadth plan* model kapal open top container 800 TEUS



Gambar 3. 6 3D model kapal *open top container* 800 TEUS

Selanjutnya, setelah model selesai dibuat, maka ukuran utama dan hidrostatnya harus divalidasi terlebih dahulu dengan ukuran utama dan hidrostatis kapal yang sebenarnya. Hasil validasi dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. 1 Validasi model kapal *open top container* 800 TEUS

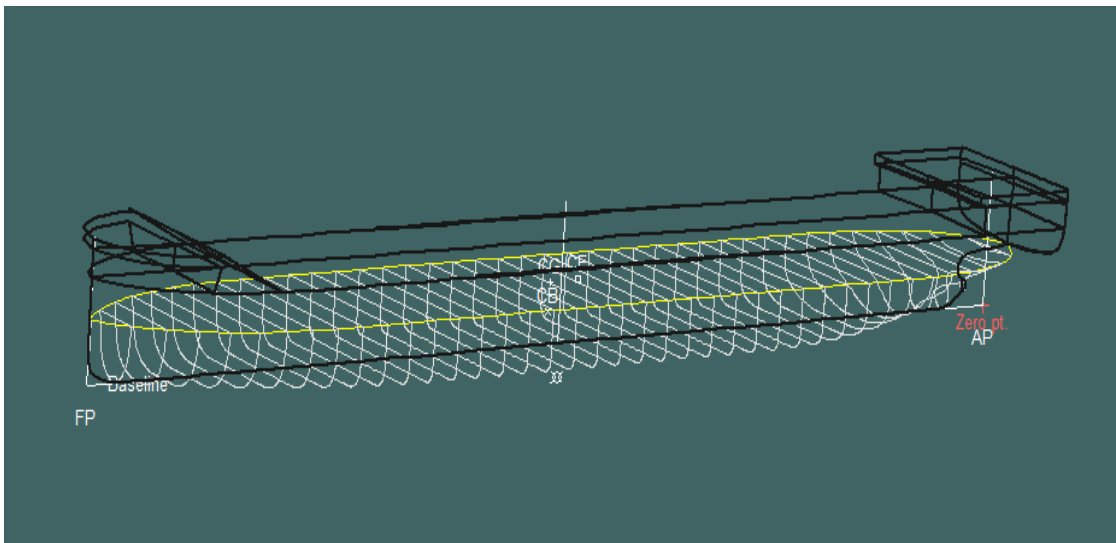
No.	Komponen	Nilai		Unit	Selisih
		Data Kapal	Data Maxsurf		
1	Loa	146	146	m	0.00%
2	B	23.25	23.25	m	0.00%
3	H	10.5	10.5	m	0.00%
4	T	6.5	6.5	m	0.00%
5	Displacement	18301.2	18146	ton	0.84%
6	Cb	0.828	0.817		1.30%
7	Cm	0.995	0.995		0.00%
8	Cp	0.8319	0.822		1.10%

3.2.4 Maxsurf Motion

Teknologi dalam dunia perkapalan semakin canggih seiring dengan perkembangan *hardware* dan *software* yang dapat mempermudah pekerjaan dalam mendesai kapal. Dengan menggunakan program-program tertentu perhitungan yang rumit dapat dipersingkat dengan menggunakan komputr sehingga mempermudah dalam melakukan iterasi dan variasi model.

Dalam melakukan analisis gerakan kapal terhadap *deck wetness* yang sering digunakan

sebelumnya adalah metode eksperimen di *towing tank*. Namun metode ini membutuhkan biaya dan waktu yang tidak sedikit. Kini analisis tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan program yang dioperasikan melalui komputer. Hal ini tentu saja mempermudah dan mempersingkat waktu dalam menganalisis serta biaya yang dikeluarkan dapat diminimalisir. Salah satu program yang dapat digunakan adalah dalam melakukan analisis tersebut adalah *software Maxsurf Motion* dan menggunakan *Strip theory*.



Gambar 3. 7 Lambung kapal dalam *strip theory*

Untuk melakukan analisis dengan *Maxsurf Motion* terlebih dahulu dilakukan pemodelan dengan menggunakan *software* pendukung seperti Design Modeler atau bisa juga dengan program lain seperti Maxsurf.

3.2.5 Validasi *Motion*

Setelah melakukan pemodelan dan divalidasi dengan data kapal asli, selanjutnya akan dilakukan validasi *motion* dari kapal. Validasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa *setup* yang dilakukan atau digunakan pada *software maxsurf motion* sudah sesuai dengan *setup* yang dilakukan saat melakukan *towing test*.

Data yang divalidasi dalam hal ini adalah *motion heave* dan *motion pitch* maksimum kapal pada gelombang *irregular*. Dalam hal ini dilakukan 5 variasi sudut *heading* yaitu 0, 45, 90, 135, dan 180 derajat. Berikut adalah *setup* untuk *towing test* dan juga pada *software maxsurf motion*

:

A. *Towing Tank Test*

Towing test pada kapal *open top container* 800 TEUS ini dilakukan di *Shanghai, China* oleh *Shanghai Odely Marine Engineering Co., LTD.* di *SSSRI (Shanghai Ship and Shipping Research Institute)*. Pengujian *towing tank* ini dilakukan pada bulan maret tahun 2018.



Gambar 3. 8 Model kapal *open top container* 800 TEUS

Selanjutnya *model test* ini dilakukan pada *setup* seperti berikut:

Tabel 3. 2 Data percobaan *towing tank* kapal *open top container* 800 TEUS

Designation	Simbol	Unit	Ship	Model
Length of Waterline	LwL	m	145,7	3,311
Length between Perpendicular	Lpp	m	142,2	3,232
Breadth Moulded	B	m	23,25	0,528
Draft on AP	Ta	m	6,5	0,148
Draft on FP	Tf	m	6,5	0,148
Displacement Volume Moulded	∇	m ³	17998	0,209
Mass radius of Gyration Y axis	Ryy	m	0,25Lpp	0,25Lpp
Mass radius of Gyration X axis	Rxx	m	0,3B	0,3B
Block Coefficient	Cb		0,8282	0,828
Actual Rudder Area	Ar	m ²	15,47	0,008
Diameter of Propeller	Dp	m	4,8	0,109

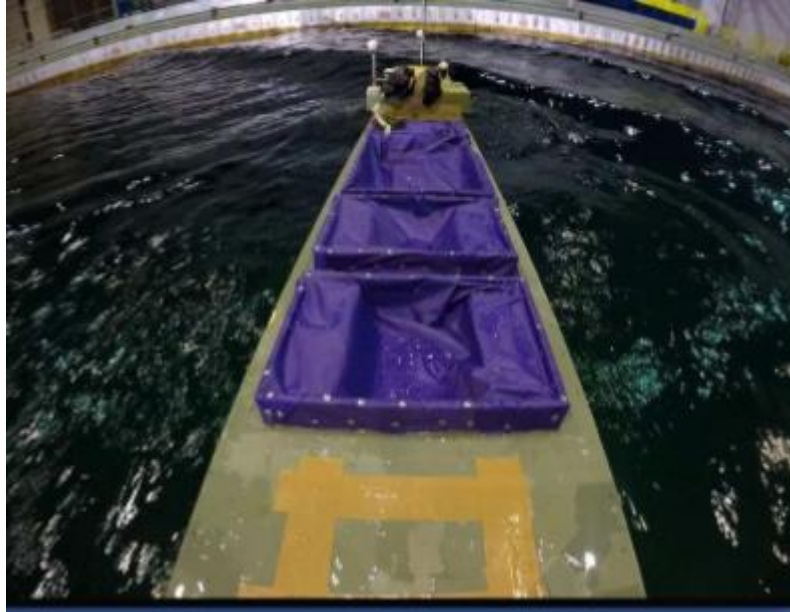
Model tersebut kemudian diuji *motion*-nya dalam *towing tank* untuk melihat *heave*, *pitch*, dan jumlah air yang masuk kedalam *cargo hold*. Arah gelombang datang atau *sudut heading* bervariasi, yaitu 0, 45, 90, 135, dan 180 derajat.

Wave spectrum yang digunakan adalah ITTC *two parameter spectrum* atau *Bretschneider*. Untuk tinggi gelombang yang digunakan adalah 7,5m sesuai aturan IMO dan juga aturan dari kelas, dengan

periode 10s. Kecepatan kapal yang digunakan adalah $6,71 \text{ m/s}$ untuk kapal asli dan $0,52 \text{ m/s}$ untuk kapal model. Barulah setelah itu didapat hasil *motion* dari kapal *open top container* 800 TEUS ini.



Gambar 3. 9 *Towing test* dengan sudut *heading* 0 derajat



Gambar 3. 10 Hasil *towing tank test*

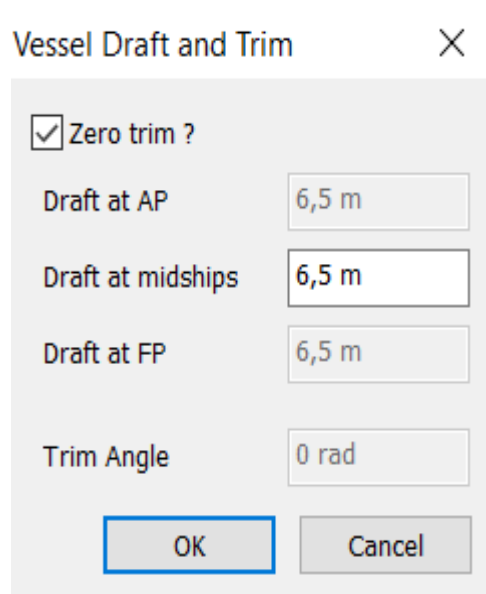
B. *Setup Maxsurf Motion*

Sebelum dapat dilakukan *running* pada *Maxsurf Motions* maka harus dilakukan beberapa pemenuhan kondisi agar *running* yang dilakukan sesuai dengan kondisi kapal yang sebenarnya. Berikut adalah tahapan-tahapan simulasi *maxsurf motion*:

a. *Input Environmental Condition*

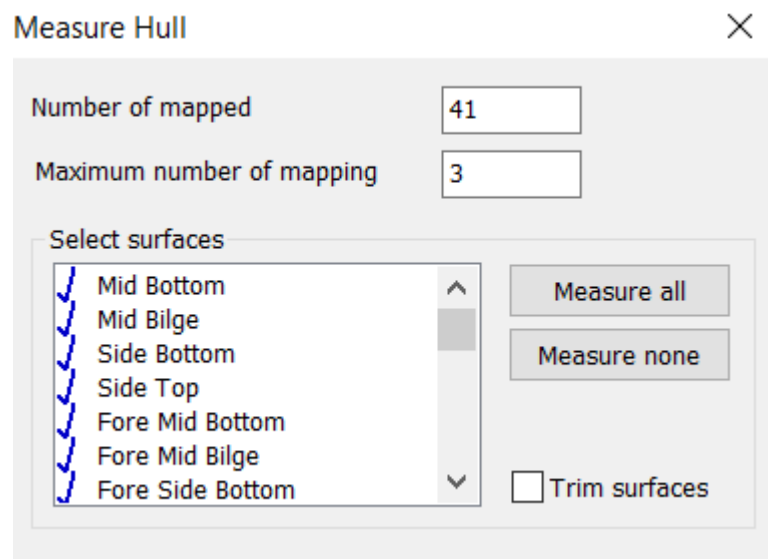
Sebelum memulai simulasi, ada beberapa kondisi yang harus d2si terlebih dahulu sesuai dengan kondisi kapal dan lingkungan yang sebenarnya. Kondisi-kondisi yang dimaksud meliputi:

1. Jenis teori yang digunakan, seperti telah dijelaskan di atas, teori atau metode yang digunakan kali ini adalah *strip theory*.
2. *Draft* dan *Trim* dari kapal yang ingin di simulasi. Dalam percobaan yang telah dilakukan, kapal yang digunakan dianggap *even keel* (tidak ada trim) maka *draft* pada AP dan FP dianggap sama sesuai *draft* asli.



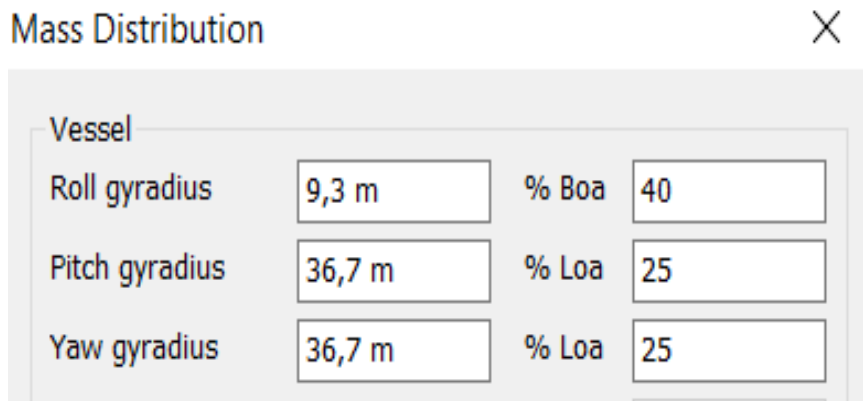
Gambar 3. 11 Draft dan trim pada maxsurf motion

3. *Measure Hull* untuk membagi dan menentukan bagian-bagian kapal yang ingin diuji atau dilakukan simulasi. Jumlah *section* yang digunakan adalah *default* dari *maxsurf motion* yaitu 41 dengan jumlah *mapping* sebanyak 3 kali.



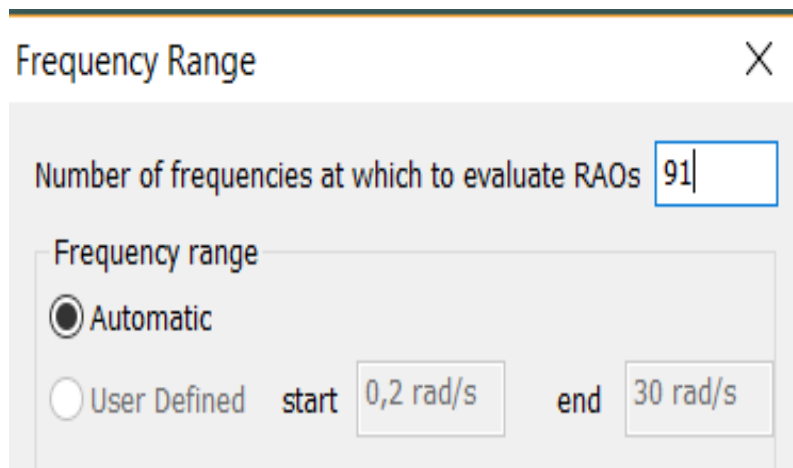
Gambar 3. 12 Measure hull pada maxsurf motion

4. *Mass Distribution* dalam bagian ini, dimasukkan 3 hal yaitu *roll gyradius*, *heave gyradius*, dan *yaw gyradius*. Karena yang dipakai dalam tugas akhir ini hanya *heave* dan *pitch* maka hanya perlu mengganti *pitch gyradius* menjadi 25% Loa kapal.



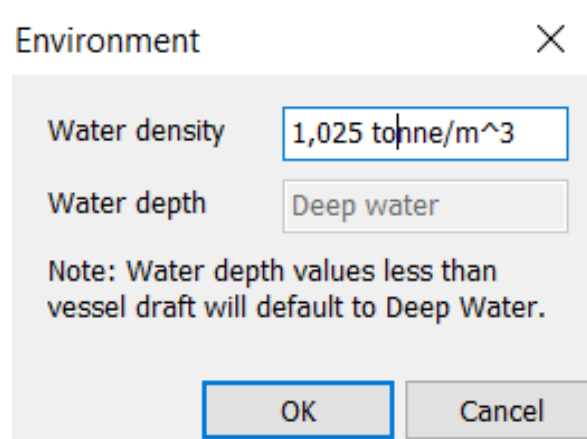
Gambar 3. 13 *Mass distribution* pada *maxsurf motion*

5. *Frequency range* berfungsi untuk menentukan jumlah frekuensi yang ingin dihasilkan oleh pengguna, sehingga pengguna dapat menentukan hasil respons motion dibagi dalam berapa frekuensi.



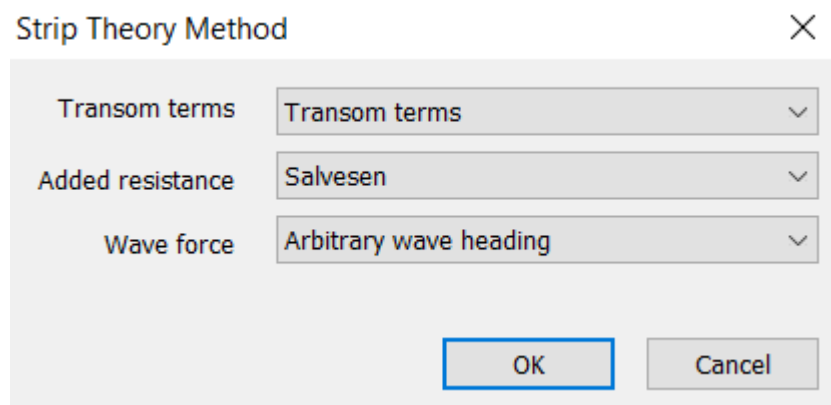
Gambar 3. 14 *Frequency range* pada *maxsurf motion*

6. *Environment* berfungsi untuk mengisi massa jenis atau *density* dari air yang digunakan untuk simulasi. Dalam tugas akhir ini digunakan massa jennies dari air laut yaitu $1025 \text{ kg} / \text{m}^3$ atau $1,025 \text{ ton} / \text{m}^3$.



Gambar 3. 15 *Environment* pada *maxsurf motion*

7. *Strip Theory Method* berfungsi untuk mengisi beberapa kondisi lain seperti penggunaan transom dan arah ombak.

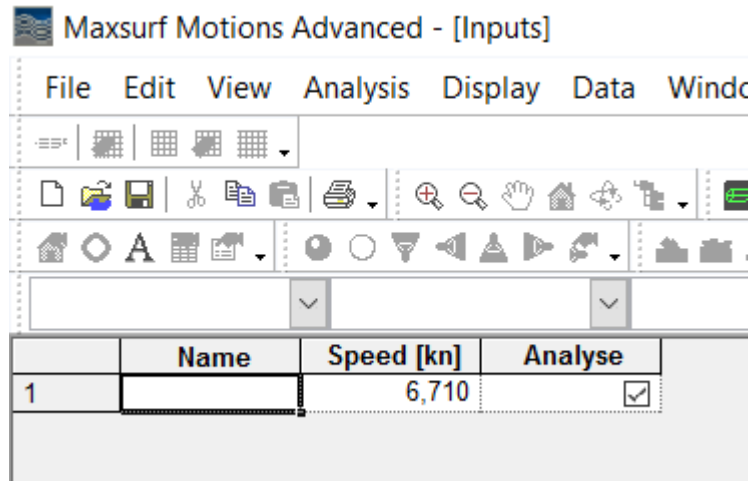


Gambar 3. 16 *Strip theory method* pada *maxsurf motion*

b. *Input Panel*

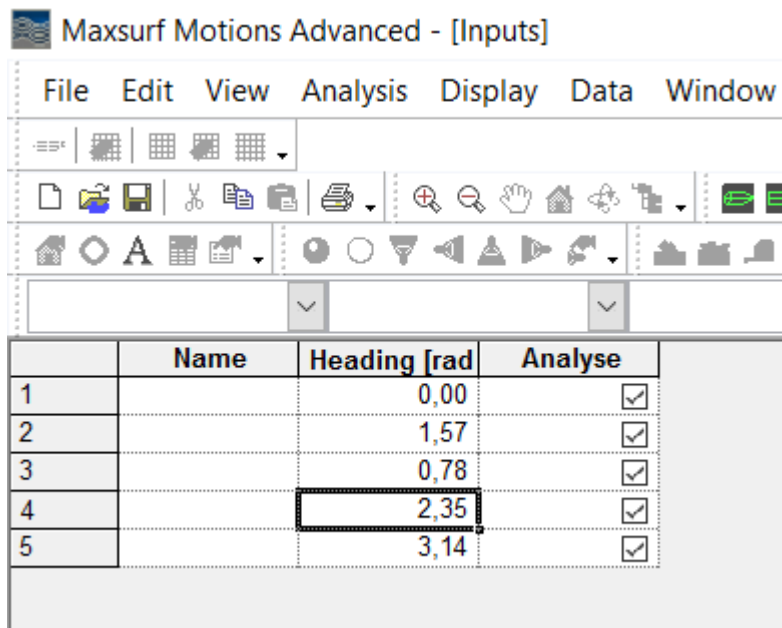
Dalam panel *input* ini, kita dapat memasukkan data-data variasi percobaan yang kita inginkan, yaitu:

1. Kecepatan kapal.



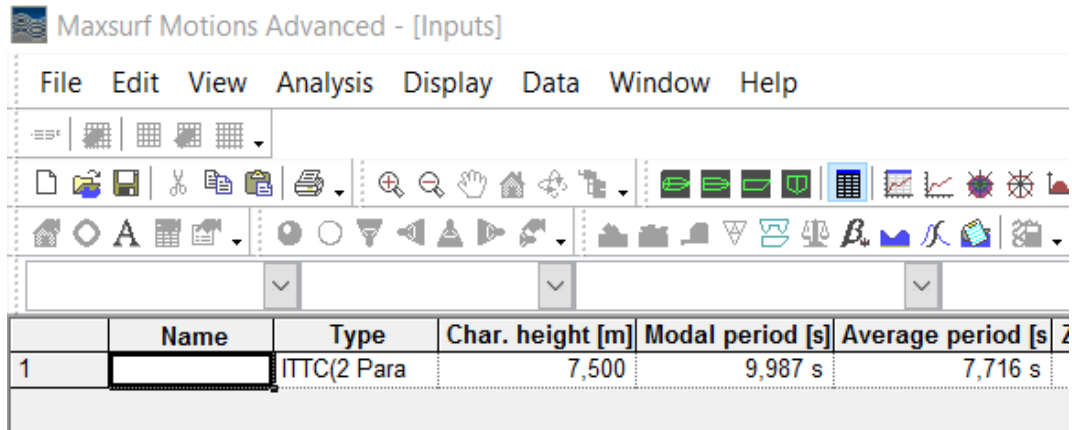
Gambar 3. 17 *Speed input* pada *maxsurf motion*

2. Sudut *heading* gelombang. Dalam tugas akhir ini, sudut gelombang yang digunakan adalah 0, 45, 90, 135, dan 180 derajat.



Gambar 3. 18 Sudut *heading input* pada *maxsurf motion*

3. *Wave Spectrum* Dalam tugas akhir ini, *wave spectrum* yang digunakan adalah ITTC *two parameter* sesuai dengan percobaan pada *towing tank* dengan tinggi gelombang 7,5 meter (sesuai percobaan) dan 3 meter (tinggi gelombang saat rute pelayaran di Indonesia).

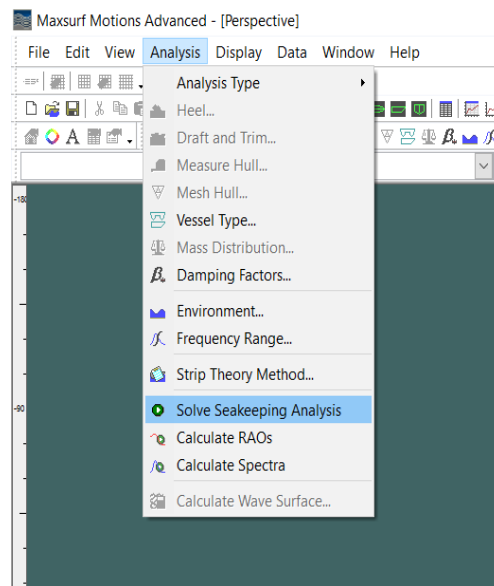


Gambar 3. 19 Wave spectrum input pada maxsurf motion

c. *Running*

Langkah berikutnya setelah kita memasukkan kondisi kapal, lingkungan, dan gelombang adalah melakukan *running* simulasi di *maxsurf motion*. Caranya :

1. Klik menu *analysis*.
2. Pilih *option solve seakeeping analysis*.



Gambar 3. 20 Solve seakeeping analysis

d. Hasil

Setelah melakukan *running* simulasi *seakeeping* akan keluar hasil dari *seakeeping* tersebut. Dalam tugas akhir ini, yang dibutuhkan adalah *heave*, *pitch*, *wave length*, *wave spectrum*, *frequency of wave encounter*, dan sudut fase dari *heave* dan *pitch*. Jika sudah didapat hasil dari simulasi *seakeeping* ini maka sudah bisa dilakukan validasi terhadap hasil percobaan *seakeeping* di *towing tank*.

Maxsurf Motions Advanced - [Results]

File Edit View Analysis Display Data Window Help

	Encounter freq. rad/s	Wave freq. rad/s	Wavelength m	Heave RAO	Heave Phase rad	Roll RAO	Roll Phase rad	Pitch RAO	Pitch Phase rad
;									

Gambar 3. 21 Hasil RAO

Maxsurf Motions Advanced - [Results]

File Edit View Analysis Display Data Window Help

	Encounter freq. rad/s	S Wave $m^2/(rad/s)$	S Heave $m^2/(rad/s)$	S Roll $rad^2/(rad/s)$	S Pitch $rad^2/(rad/s)$	S Added resistance $kN/(rad/s)$	Wave freq. rad/s	S Wave(Wave freq.) $m^2/(rad/s)$
;;								

Gambar 3. 22 Hasil Spectrum

3.2.6 Variasi Freeboard Kapal

Variasi *freeboard* dari model kapal dapat dilakukan pada *maxsurf modeler* dengan cara mengganti sarat atau DWL dari kapal tersebut pada menu *frame of reference*. Tinggi sarat yang digunakan adalah 6,5m , 7m, 7,5m, 8m, 8,5m. Berikut adalah perubahan variable yang berubah saat *sarat* kapal dirubah.

Tabel 3. 3 Tabel Variasi Freeboard Kapal

Freeboard(m)	Waterplane Area (m ²)	BM (m)	KB (m)	LCB From AP (m)
4	3056,326	7,147	3,38	72,792
3,5	3119,752	6,737	3,65	72,337
3	3159,304	6,384	3,92	71,951
2,5	3184,048	6,039	4,20	71,551
2	3203,195	5,717	4,46	71,196

3.2.7 Perhitungan Vertical Motion dan Relative Bow Motion

Perhitungan *Vertical Motion* dan *relative bow motion* dihitung dengan menggunakan rumus dari Bhattacharya (1978) yang juga telah dijelaskan sebelumnya pada bab 2 (4) dan (6). Untuk menghitung *vertical motion* dan *relative bow motion* dibutuhkan beberapa variable yang bisa didapat setelah melalui proses simulasi dari *maxsurf motion*, seperti: *heave*, *pitch*, sudut fase, panjang gelombang, dan *wave spectrum*.

3.2.8 Perhitungan Deck Wetness

Perhitungan *deck wetness* dihitung dengan menggunakan rumus Bhattacharya (1978) yang juga telah dijelaskan pada bab 2 (9). Langkah – langkah perhitungan *deck wetness* adalah sebagai berikut:

- a. Cari *relative bow motion* RAO dari data *relative bow motion* yang telah didapat.
- b. Masukkan *wave spectrum* dari *maxsurf motion*.
- c. Kalikan *relative bow motion* RAO dengan *wave spectrum*, akan didapat respons spektrum atau *relative bow motion spectrum*.
- d. Gunakan metode simson untuk mencari luasan grafik antara *relative bow motion spectrum* (sumbu y) dan *frequency of wave encounter* (sumbu x). Hasil yang didapat adalah m^0 .
- e. Cari *effective freeboard* dengan menggunakan rumus pada bab 2 (7).
- f. Lakukan perhitungan *deck wetness* dengan menggunakan rumus pada bab 2 (9).

Setelah itu hasil *deck wetness* akan divalidasi agar sesuai dengan peraturan dari NORDFORSK (1987).

3.2.9 Perhitungan Akselerasi Vertikal

Perhitungan akselerasi vertical dihitung sesuai dengan Bhattacharya (1978). Setelah itu dilakukan validasi sesuai dengan peraturan dari NORDFORSK (1987).

3.3 Spesifikasi Komputer

Guna mendukung berjalannya proses perhitungan numerik dengan komputer, maka diperlukan spesifikasi tertentu dari komputer agar proses *running* berjalan cepat. Adapun spesifikasi yang digunakan oleh penulis adalah:

1. Processor : Intel ® Core ™ i7-7700 HQ CPU @2.80Ghz
2. Installed Memory (RAM) : 16 GB
3. System Type : 64-bit Operating System, x64-based processor
4. Operating System : Windows 10 Pro © Microsoft Corporation

3.4 Kesimpulan dan Saran

Tahapan terakhir dalam penelitian ini adalah penarikan kesimpulan dan saran. Kesimpulan yang didapatkan harus mampu menjawab permasalahan yang ada dalam tugas akhir ini berupa besarnya probabilitas *deck wetness* serta memenuhi atau tidaknya nilai dari akselerasi vertikal. Sedangkan saran yang diberikan berupa masukan terhadap penelitian ini kedepannya.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Validasi Amplitudo *Heave* dan *Pitch*

Proses validasi dilakukan dengan cara membandingkan amplitudo *heave* dan *pitch* maksimum dari hasil simulasi *maxsurf motion* dengan hasil percobaan di *towing tank* yang sudah pernah dilakukan sebelumnya. Proses validasi ini dilakukan untuk memastikan bahwa parameter *input* yang dimasukkan pada *Maxsurf Motion* sudah benar. Sebelumnya kapal yang digunakan dalam tugas akhir ini sudah pernah dilakukan *towing tank test* untuk memenuhi kriteria *deck wetness* di China. Dengan menggunakan model yang sama, akan dilakukan simulasi pada *maxsurf motion*. Hasil amplitudo *heave* dan *pitch* maksimum dari *maxsurf motion* akan dibandingkan dengan hasil *towing test* kapal tersebut sebelumnya, apabila hasil amplitudo *heave* dan *pitch* maksimum dari *maxsurf motion* sama atau mendekati hasil dari *towing test* maka dapat dikatakan valid dan percobaan bisa dilanjutkan.. Ukuran model kapal dan *setup* dilakukan pada kondisi berikut:

- Panjang : 142,2 m
- Lebar : 23,25 m
- *Depth* : 10,5 m
- Sarat : 6,5 m
- *Displacement volume* : 17998 m³
- *Speed* : 6,71 knot
- Periode gelombang : 10 s
- Tinggi gelombang : 7,5 m
- Sudut *heading* : A. 0°
B. 45°
C. 90°
D. 135°
E. 180°

Setelah itu dilakukan running pada *maxsurf motion* untuk mengetahui hasil dari amplitudo *heave* dan *pitch* maksimum, dengan cara:

- A. Klik *option Analysis* lalu pilih *solve seakeeping analysis*.
- B. Tunggu sampai simulasi selesai.
- C. Klik *option Windows* lalu pilih *result*.
- D. Pada kolom *heave*, pilih *heave* maksimum atau paling besar.

Dari hasil *running* dengan variasi sudut *heading* yang dilakukan, didapat 5 hasil amplitudo *heave* dan *pitch* maksimum yang dapat dibandingkan dengan hasil *towing test* yang dilakukan. Berikut adalah hasil perbandingan antara *running maxsurf motion* dengan hasil *towing test*:

A. Hasil 0 derajat.

Tabel 4. 1 Validasi 0 derajat

0 degree	heave(m)	pitch(deg)
maxsurf	1,491	3,264
percobaan	1,496	3,276

Dari hasil percobaan tersebut dapat dilihat bahwa hasil amplitudo *heave and pitch* dari *maxsurf motion* sudah mendekati hasil dari *towing test* kapal yang dilakukan sebelumnya pada *towing tank*. Perbedaan *heave motion* antara *maxsurf motion* dengan *towing test* adalah 0,005 atau sekitar 0,3%, sedangkan perbedaan *pitch motion* antara *maxsurf motion* dengan *towing test* adalah 0,012 atau sekitar 0,36%. Sehingga, untuk percobaan pada 0 derajat ini dapat dikatakan valid.

B. Hasil 45 derajat

Tabel 4. 2 Validasi 45 derajat

45 degree	heave(m)	pitch(deg)
maxsurf	2,279	2,466
percobaan	2,293	2,478

Dari hasil percobaan tersebut dapat dilihat bahwa hasil amplitudo *heave and pitch* dari

maxsurf motion sudah mendekati hasil dari *towing test* kapal yang dilakukan sebelumnya pada *towing tank*. Perbedaan *heave motion* antara *maxsurf motion* dengan *towing test* adalah 0,014 atau sekitar 0,61%, sedangkan perbedaan *pitch motion* antara *maxsurf motion* dengan *towing test* adalah 0,012 atau sekitar 0,48%. Sehingga, untuk percobaan pada 45 derajat ini dapat dikatakan valid.

C. Hasil 90 derajat

Tabel 4. 3 Validasi 90 derajat

90 degree	heave(m)	pitch(deg)
maxsurf	3,527	1,69
percobaan	3,552	1,583

Dari hasil percobaan tersebut dapat dilihat bahwa hasil amplitudo *heave and pitch* dari *maxsurf motion* sudah mendekati hasil dari *towing test* kapal yang dilakukan sebelumnya pada *towing tank*. Perbedaan *heave motion* antara *maxsurf motion* dengan *towing test* adalah 0,025 atau sekitar 0,7%, sedangkan perbedaan *pitch motion* antara *maxsurf motion* dengan *towing test* adalah 0,014 atau sekitar 0,67%. Sehingga, untuk percobaan pada 90 derajat ini dapat dikatakan valid.

D. Hasil 135 derajat

Tabel 4. 4 Validasi 135 derajat

135 degree	heave (m)	pitch (deg)
maxsurf	2,614	3,677
percobaan	2,602	3,663

Dari hasil percobaan tersebut dapat dilihat bahwa hasil amplitudo *heave and pitch* dari *maxsurf motion* sudah mendekati hasil dari *towing test* kapal yang dilakukan sebelumnya pada *towing tank*. Perbedaan *heave motion* antara *maxsurf motion* dengan *towing test* adalah 0,012 atau sekitar 0,46%, sedangkan perbedaan *pitch motion* antara *maxsurf motion* dengan *towing test* adalah 0,018 atau sekitar 0,47%. Sehingga, untuk percobaan pada 135 derajat ini dapat dikatakan valid.

E. Hasil 180 derajat

Tabel 4. 5 Validasi 180 derajat

180 degree	heave(m)	pitch(deg)
maxsurf	2,206	4,284
percobaan	2,224	4,387

Dari hasil percobaan tersebut dapat dilihat bahwa hasil amplitudo *heave and pitch* dari *maxsurf motion* sudah mendekati hasil dari *towing test* kapal yang dilakukan sebelumnya pada *towing tank*. Perbedaan *heave motion* antara *maxsurf motion* dengan *towing test* adalah 0,018 atau sekitar 0,8%, sedangkan perbedaan *pitch motion* antara *maxsurf motion* dengan *towing test* adalah 0,011 atau sekitar 0,27%. Sehingga, untuk percobaan pada 180 derajat ini dapat dikatakan valid. Maka, dapat dikatakan hasil percobaan *maxsurf motion* untuk 5 sudut *heading* valid atau sesuai dengan hasil percobaan pada *towing tank*.

Dari hasil komparasi tersebut dapat dicari RMSE untuk mencari nilai *error* dan melakukan validasi antara *maxsurf* dan percobaan.

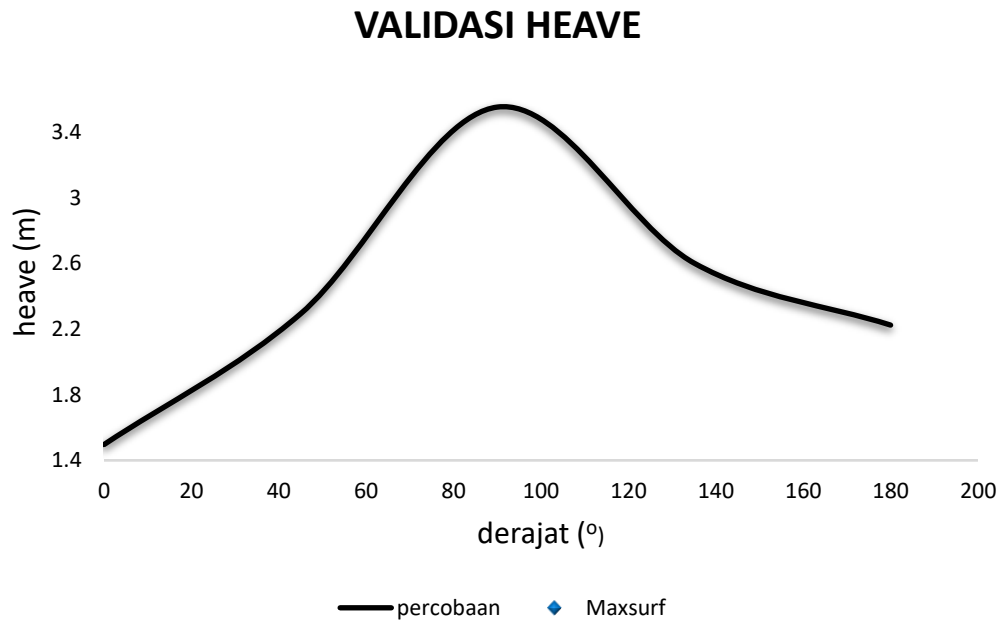
Tabel 4. 6 Tabel RMSE Heave dan Pitch

HEAVING					
EKSPERIMEN (a)	ANSYS AQWA (b)	(b-a)	(b-a) ²	S(b-a) ²	(S(b-a) ²)/5
1,496	1,491	-0,0050	0,0000	0,0013	0,0003
2,293	2,279	-0,0140	0,0002		
3,552	3,527	-0,0250	0,0006		
2,602	2,614	0,0120	0,0001		
2,224	2,206	-0,0180	0,0003		

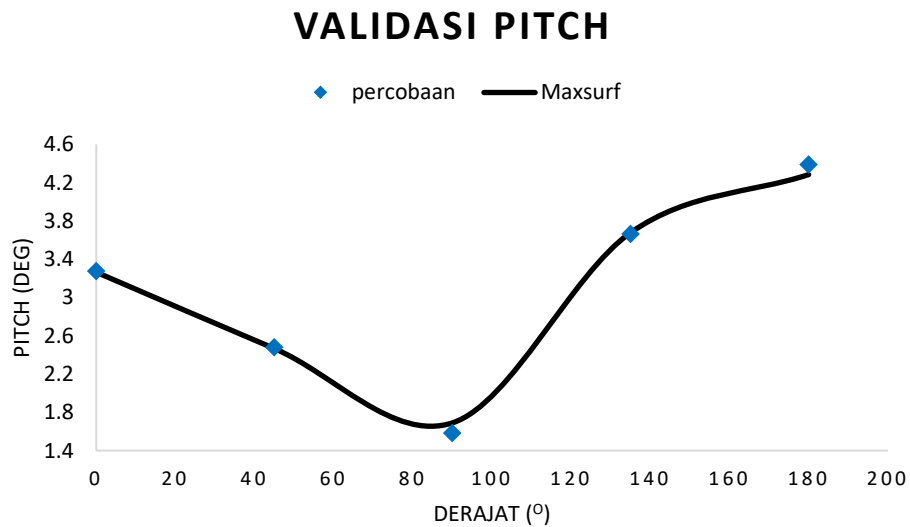
PITCHING					
EKSPERIMEN (a)	ANSYS AQWA (b)	(b-a)	(b-a) ²	S(b-a) ²	(S(b-a) ²)/5
3,264	3,276	0,0120	0,0001	0,0225	0,0045
2,466	2,478	0,0120	0,0001		
1,69	1,583	-0,1070	0,0114		
3,677	3,663	-0,0140	0,0002		
4,284	4,387	0,1030	0,0106		

Dari tabel 4.6 di atas dapat kita lihat presentasi *error* atau RMSE antara eksperimen dan *maxsurf motion*. Untuk *heave* RMSE yang didapat adalah 0,0003 sedangkan untuk *pitch* RMSE yang didapat adalah 0,0045

Hasil komparasi tersebut dapat juga dilihat dengan menggunakan titik pada gambar 4.1 dan 4.2 berikut:



Gambar 4. 1 Validasi *heave*



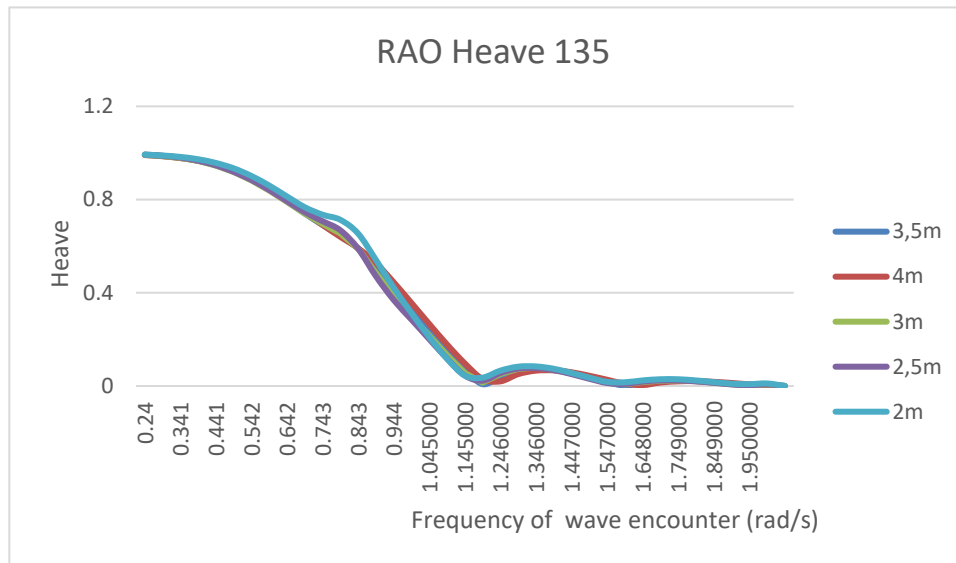
Gambar 4. 2 Validasi *Pitch*

4.2 RAO *Heave* dan *Pitch* Kapal *Open Top Container*

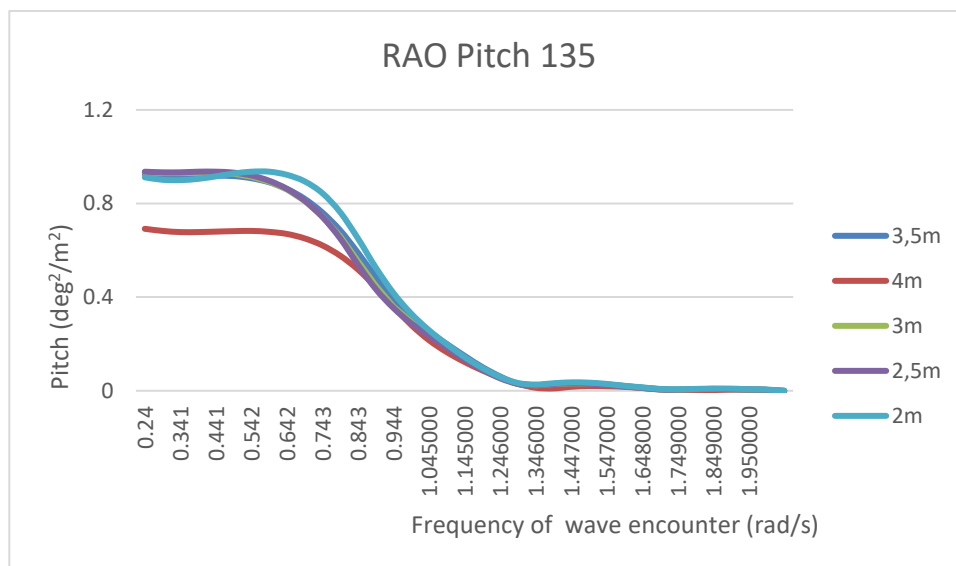
Heave dan *Pitch* kapal didapat dari hasil simulasi pada *maxsurf motion*. Dengan 5 variasi *freeboard* dan 5 variasi sudut *heading*, berikut adalah hasil *heave* dan *pitch* dari kapal *open top container*, yang nantinya akan digunakan untuk menghitung *relative bow motion* dari

kapal tersebut.

1. Hasil 135 derajat



Gambar 4. 3 RAO *Heave* 135 derajat

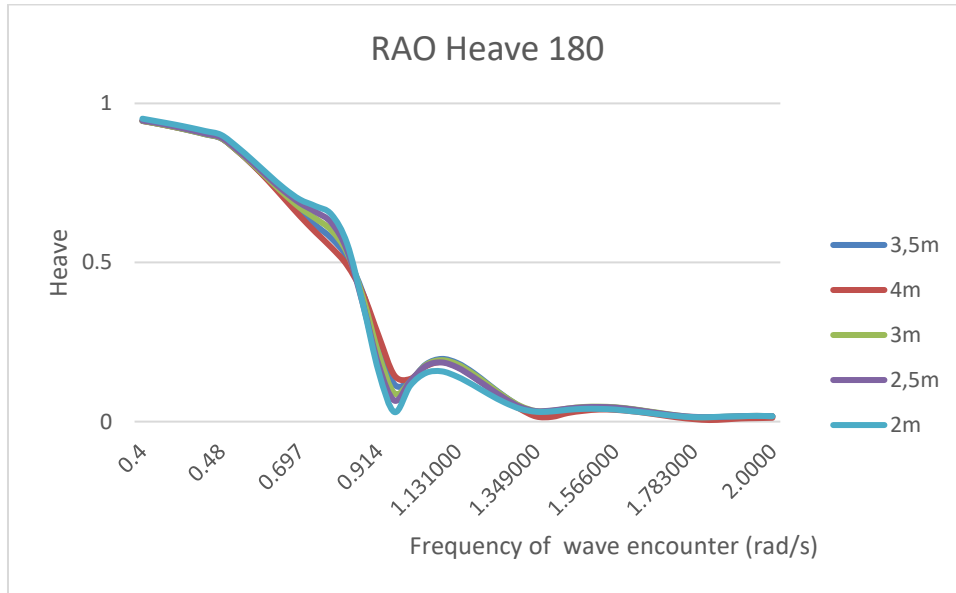


Gambar 4. 4 RAO *Pitch* 135 derajat

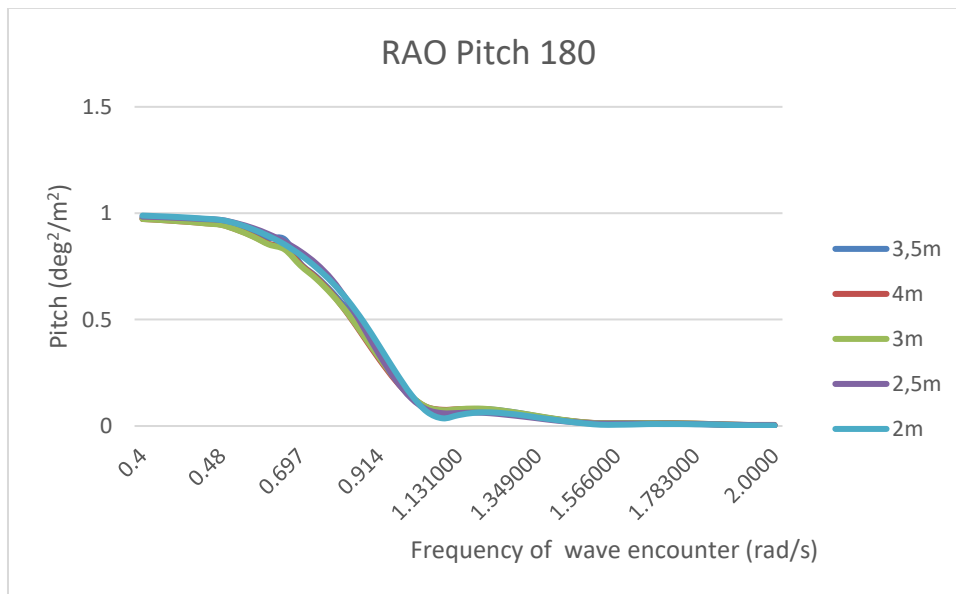
Dari gambar 4.1 dan 4.2 tersebut dapat kita lihat hasil *heave* dan *pitch* dari kapal *open top container* 800 TEUS pada sudut *heading* 135 derajat dan 5 variasi *freeboard*. Puncak RAO *heave* terbesar terjadi pada variasi *freeboard* paling rendah yaitu 2m, dengan 0,993 yang terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,24 rad/s. Sedangkan puncak RAO *heave* terendah terjadi pada variasi *freeboard* 4m, dengan 0,986 yang terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,24 rad/s. Untuk puncak RAO *pitch* tertinggi terjadi pada *freeboard* 2m dengan nilai 0,92 deg²/m² yang terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,642 rad/s dan puncak RAO terendah terjadi

pada *freeboard* 4m dengan 0,79 derajat yang terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,642 rad/s.

2. Hasil 180 derajat



Gambar 4. 5 RAO *Heave* 180 derajat

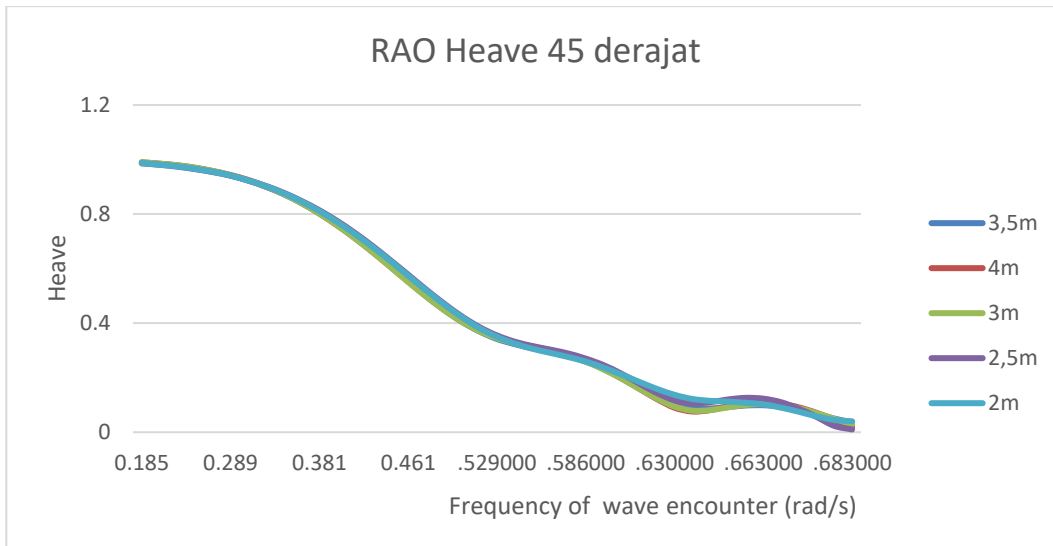


Gambar 4. 6 RAO *Pitch* 180 derajat

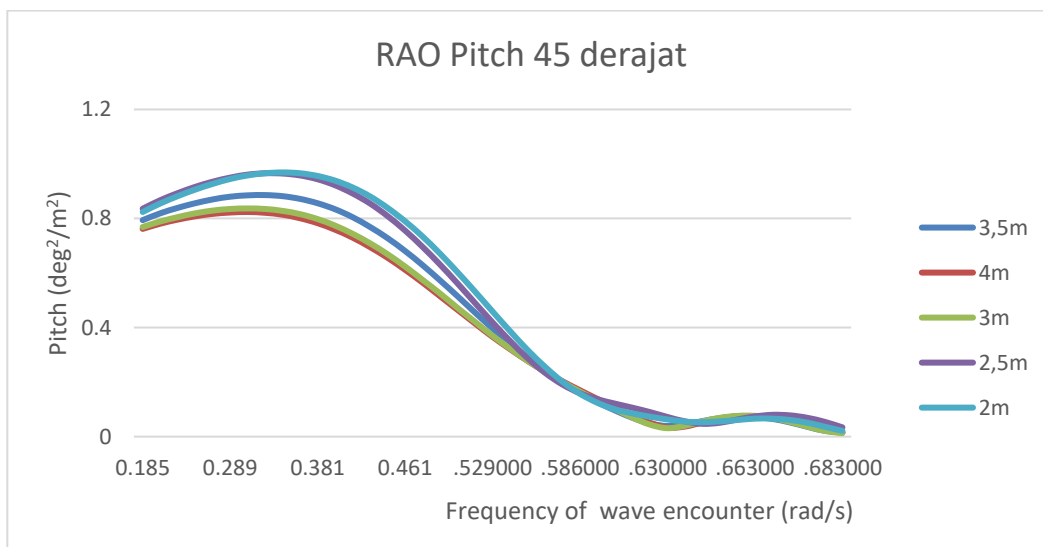
Dari gambar 4.3 dan 4.4 tersebut dapat kita lihat hasil *heave* dan *pitch* dari kapal *open top container* 800 TEUS pada sudut *heading* 180 derajat dan 5 variasi *freeboard*. Puncak RAO *heave* terbesar terjadi pada variasi *freeboard* paling rendah yaitu 2m, dengan 0,952 yang terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,4 rad/s. Sedangkan puncak RAO *heave* terendah terjadi

pada variasi *freeboard* 4m, dengan 0,94 yang terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,4 rad/s. Untuk puncak RAO *pitch* tertinggi terjadi pada *freeboard* 2m dengan nilai 0,989 deg^2/m^2 yang terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,4 rad/s dan puncak RAO *pitch* terendah terjadi pada *freeboard* 4m dengan 0,967 deg^2/m^2 yang terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,4 rad/s.

3. Hasil 45 derajat



Gambar 4. 7 RAO *Heave* 45 derajat

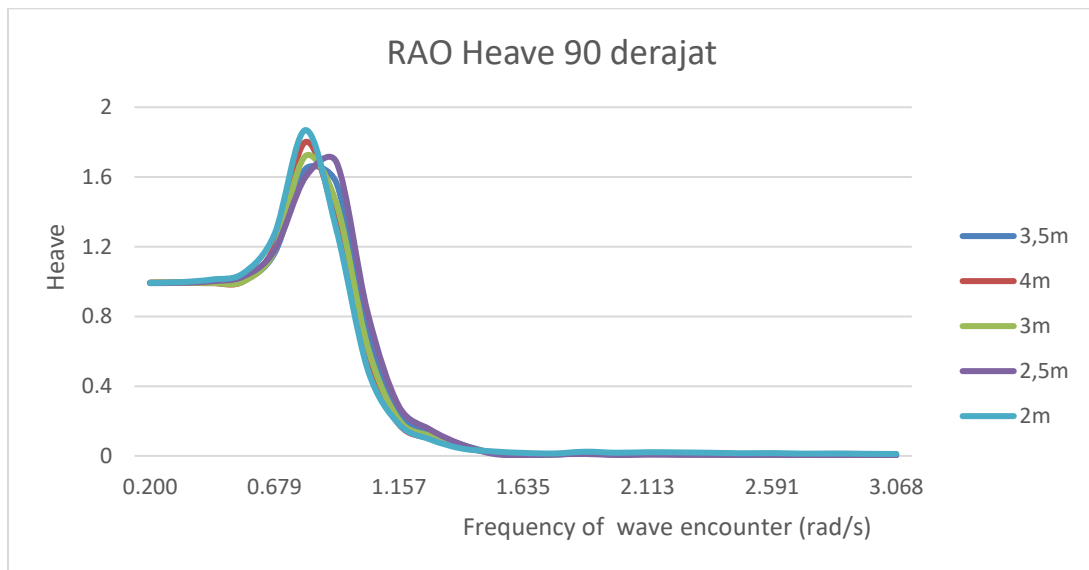


Gambar 4. 8 RAO *Pitch* 45 derajat

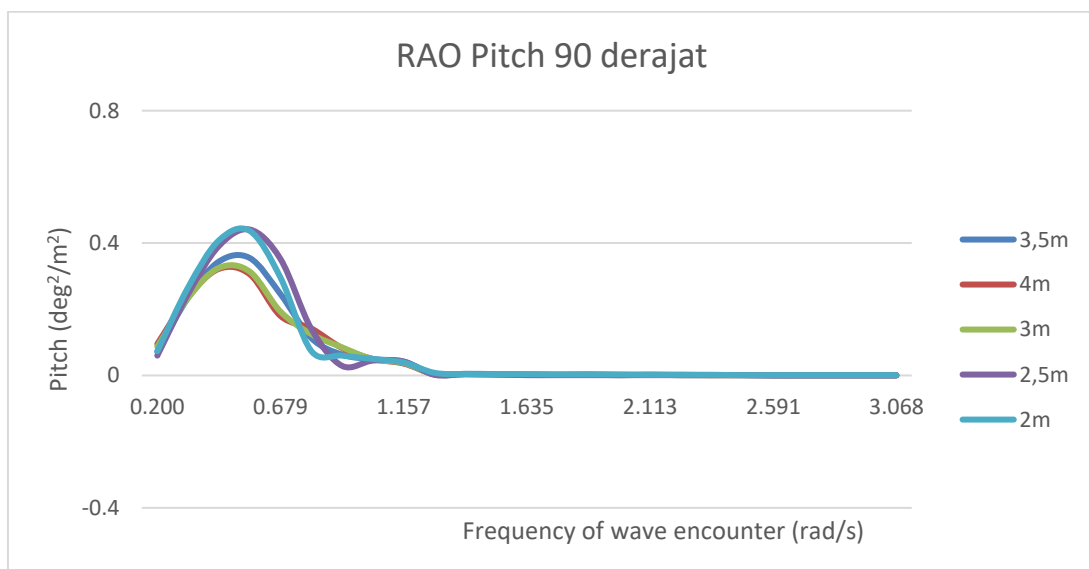
Dari gambar 4.5 dan 4.6 tersebut dapat kita lihat hasil *heave* dan *pitch* dari kapal *open top container* 800 TEUS pada sudut *heading* 45 derajat dan 5 variasi *freeboard*. Puncak RAO *heave* terbesar terjadi pada variasi *freeboard* paling rendah yaitu 2m, dengan 0,99 yang terjadi pada

frequency of wave encounter 0,185 rad/s. Sedangkan puncak RAO *heave* terendah terjadi pada variasi *freeboard* 4m, dengan 0,98 yang terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,185 rad/s. Untuk puncak RAO *pitch* tertinggi terjadi pada *freeboard* 2m dengan nilai 0,966 deg^2/m^2 yang terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,346 rad/s dan puncak RAO *pitch* terendah terjadi pada *freeboard* 4m dengan 0,784 deg^2/m^2 yang terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,346 rad/s.

4. Hasil 90 derajat



Gambar 4. 9 RAO *Heave* 90 derajat

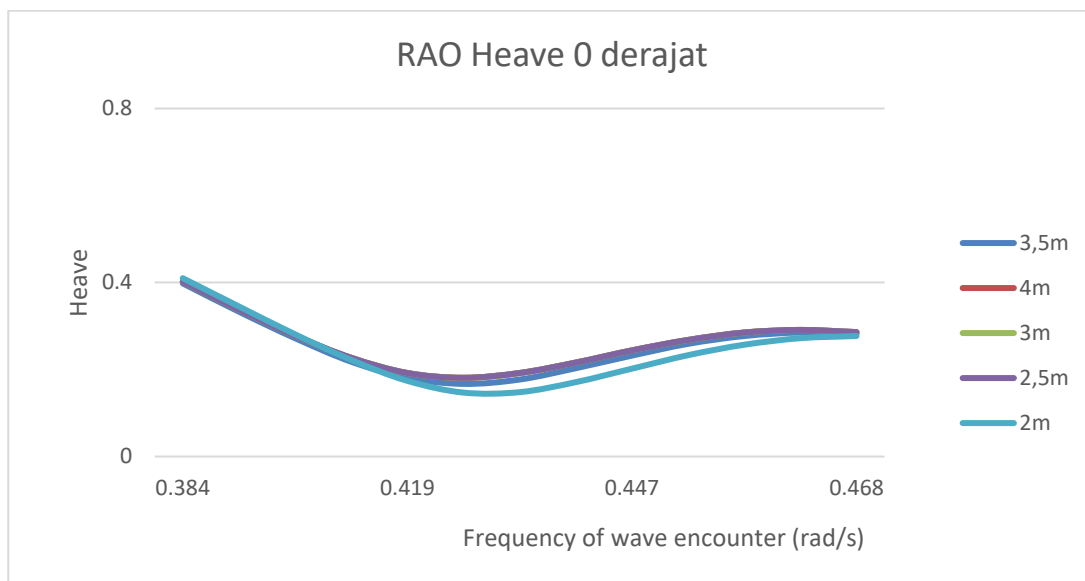


Gambar 4. 10 RAO *Pitch* 90 derajat

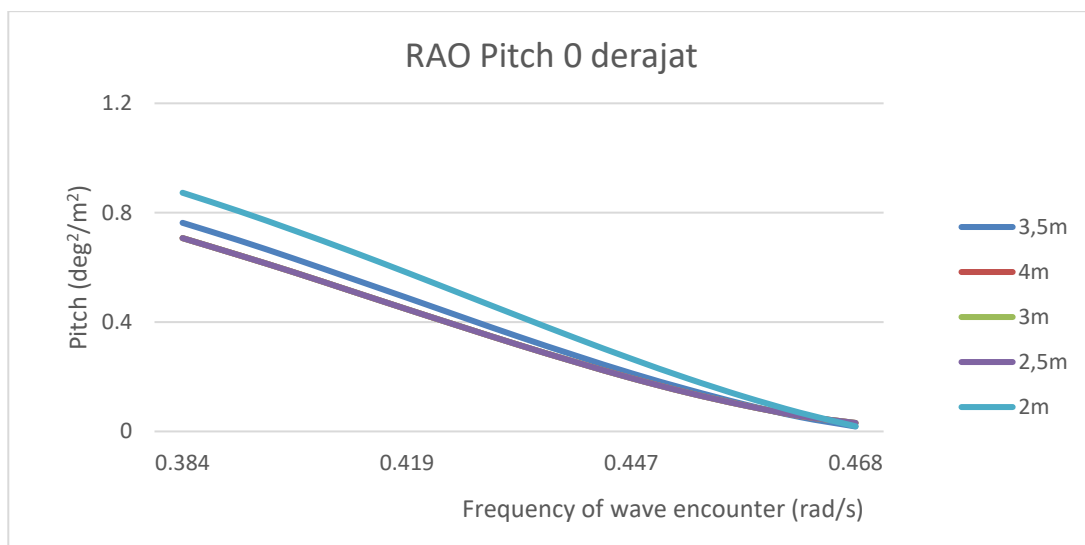
Dari gambar 4.7 dan 4.8 tersebut dapat kita lihat hasil *heave* dan *pitch* dari kapal *open top*

container 800 TEUS pada sudut heading 90 derajat dan 5 variasi freeboard. Puncak RAO heave terbesar terjadi pada variasi freeboard paling rendah yaitu 2m, dengan 1,869 yang terjadi pada frequency of wave encounter 0,798 rad/s. Sedangkan puncak RAO heave terendah terjadi pada variasi freeboard 4m, dengan 1,646 yang terjadi pada frequency of wave encounter 0,798 rad/s. Untuk puncak RAO pitch tertinggi terjadi pada freeboard 2m dengan nilai 0,437 deg²/m² yang terjadi pada frequency of wave encounter 0,559 rad/s dan puncak RAO pitch terendah terjadi pada freeboard 4m dengan 0,314 deg²/m² yang terjadi pada frequency of wave encounter 0,559 rad/s.

5. Hasil 0 derajat



Gambar 4. 11 RAO Heave 0 derajat



Gambar 4. 12 RAO Pitch 0 derajat

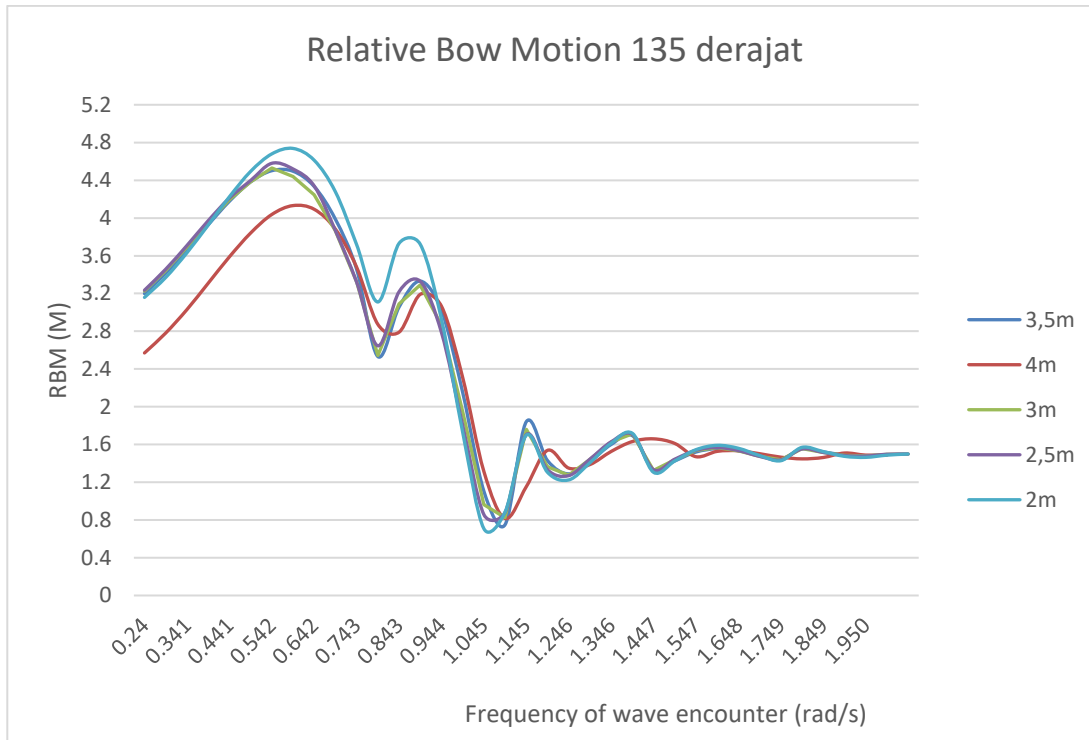
Dari gambar 4.9 dan 4.10 tersebut dapat kita lihat hasil *heave* dan *pitch* dari kapal *open top container* 800 TEUS pada sudut *heading* 0 derajat dan 5 variasi *freeboard*. Puncak RAO *heave* terbesar terjadi pada variasi *freeboard* paling rendah yaitu 2m, dengan 0,475 yang terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,384 rad/s. Sedangkan puncak RAO *heave* terendah terjadi pada variasi *freeboard* 4m, dengan 0,464 yang terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,384 rad/s. Untuk puncak RAO *pitch* tertinggi terjadi pada *freeboard* 2m dengan nilai 1,204 deg²/m² yang terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,384 rad/s dan puncak RAO *pitch* terendah terjadi pada *freeboard* 4m dengan 1,102 deg²/m² yang terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,384 rad/s.

Berdasarkan hasil *heave* dan *pitch* dari simulasi *maxsurf motion* dapat disimpulkan bahwa *heave* tertinggi terjadi pada sudut *heading* 90 derajat dengan nilai 2,05 meter, sedangkan *pitch* tertinggi terjadi pada sudut 180 derajat dengan nilai 2,325 derajat. Hasil ini sama dengan pola pada *towing tank test* yang dilakukan sebelumnya.

4.3 Relative Bow Motion Kapal Open Top Container

Proses perhitungan *relative bow motion* dari kapal *open top container* 800 TEUS dilakukan setelah proses validasi antara simulasi *maxsurf motion* dengan *towing test* telah valid. Perhitungan *relative bow motion* menggunakan 5 variasi sudut *heading* (0, 45, 90, 135, dan 180) derajat, serta menggunakan 5 variasi tinggi *freeboard* yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m serta tinggi gelombang yang digunakan adalah 3m. Perhitungan menggunakan rumus (6) pada bab 2.

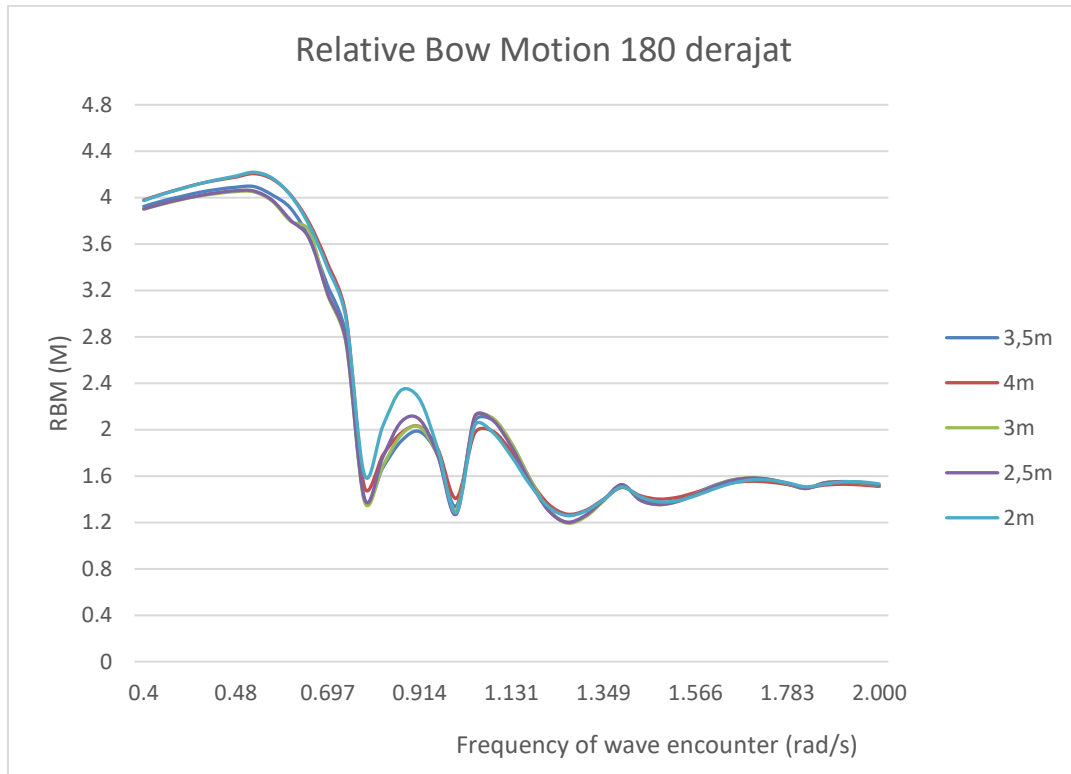
1. Hasil 135 derajat.



Gambar 4. 13 *Relative bow motion* 135 derajat

Dari gambar 4.13 tersebut dapat kita lihat hasil *relative bow motion* pada sudut 135 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Hasil *relative bow motion* paling tinggi didapatkan pada tinggi *freeboard* paling rendah, yaitu 2m, dengan *relative bow motion* sebesar 4,68m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,542 rad/s. Sedangkan pada tinggi *freeboard* 2,5m didapat hasil *relative bow motion* tertinggi adalah 4,58m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,542 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 3m didapat hasil *relative bow motion* tertinggi adalah 4,53m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,542 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 3,5m didapat hasil *relative bow motion* tertinggi adalah 4,5m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,542 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 4m didapat hasil *relative bow motion* tertinggi adalah 4,13m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,542 rad/s.

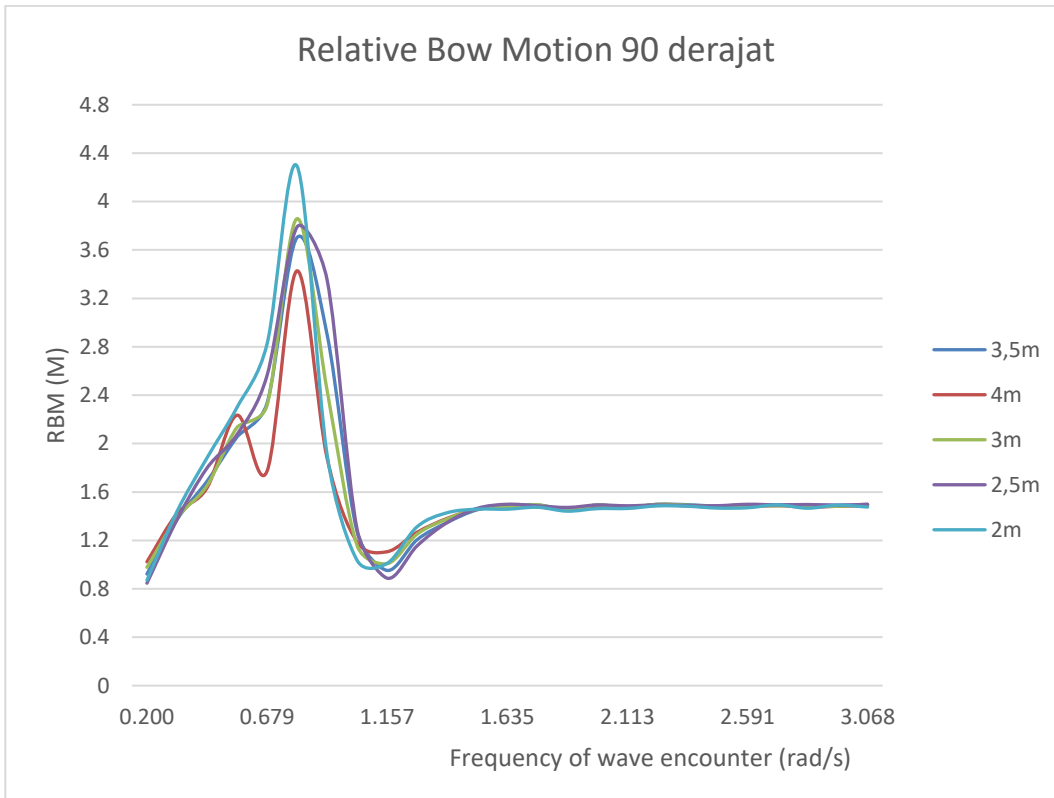
2. Hasil 180 derajat.



Gambar 4. 14 *Relative bow motion* 180 derajat

Dari gambar 4.14 tersebut dapat kita lihat hasil *relative bow motion* pada sudut 180 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Hasil *relative bow motion* paling tinggi didapatkan pada tinggi *freeboard* paling rendah, yaitu 2m, dengan *relative bow motion* sebesar 4,21m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,542 rad/s. Sedangkan pada tinggi *freeboard* 2,5m didapat hasil *relative bow motion* tertinggi adalah 4,06m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,542 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 3m didapat hasil *relative bow motion* tertinggi adalah 4,05m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,542 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 3,5m didapat hasil *relative bow motion* tertinggi adalah 4,03m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,542 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 4m didapat hasil *relative bow motion* tertinggi adalah 4 m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,542 rad/s.

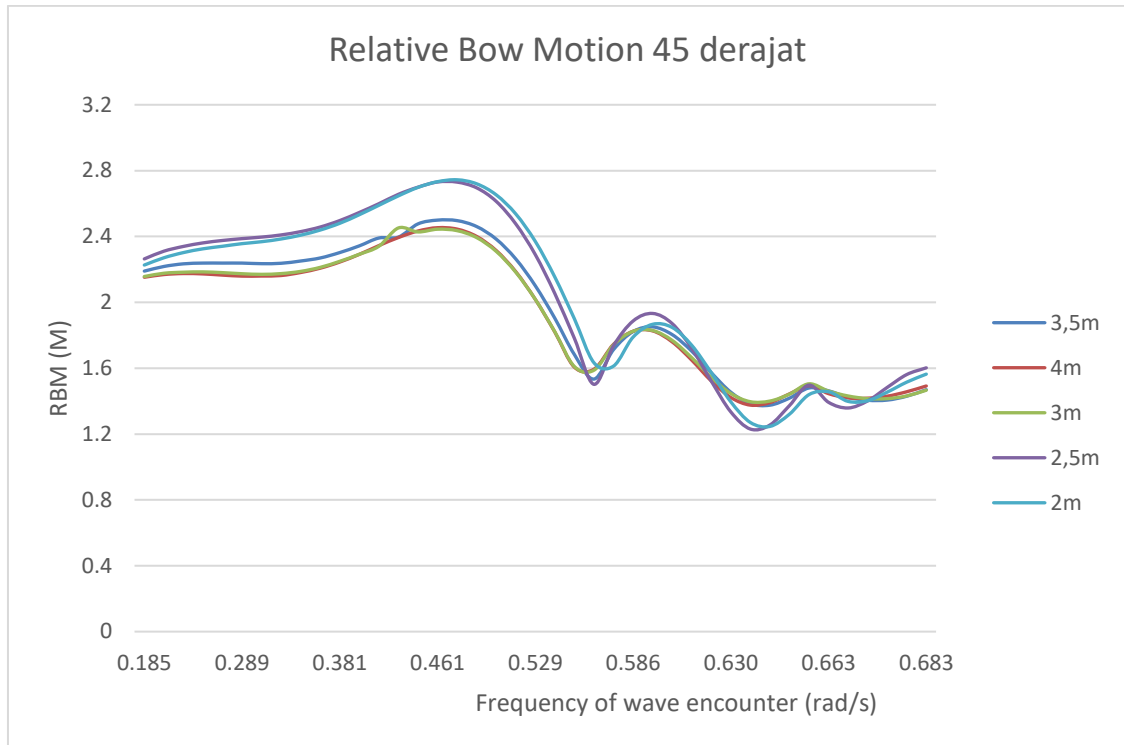
3. Hasil 90 derajat.



Gambar 4. 15 *Relative bow motion* 90 derajat

Dari gambar 4.15 tersebut dapat kita lihat hasil *relative bow motion* pada sudut 90 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Hasil *relative bow motion* paling tinggi didapatkan pada tinggi *freeboard* paling rendah, yaitu 2m, dengan *relative bow motion* sebesar 4,2m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,798 rad/s. Sedangkan pada tinggi *freeboard* 2,5m didapat hasil *relative bow motion* tertinggi adalah 3,8m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,798 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 3m didapat hasil *relative bow motion* tertinggi adalah 3,68m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,798 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 3,5m didapat hasil *relative bow motion* tertinggi adalah 3,6m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,798 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 4m didapat hasil *relative bow motion* tertinggi adalah 3,4 m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,798 rad/s.

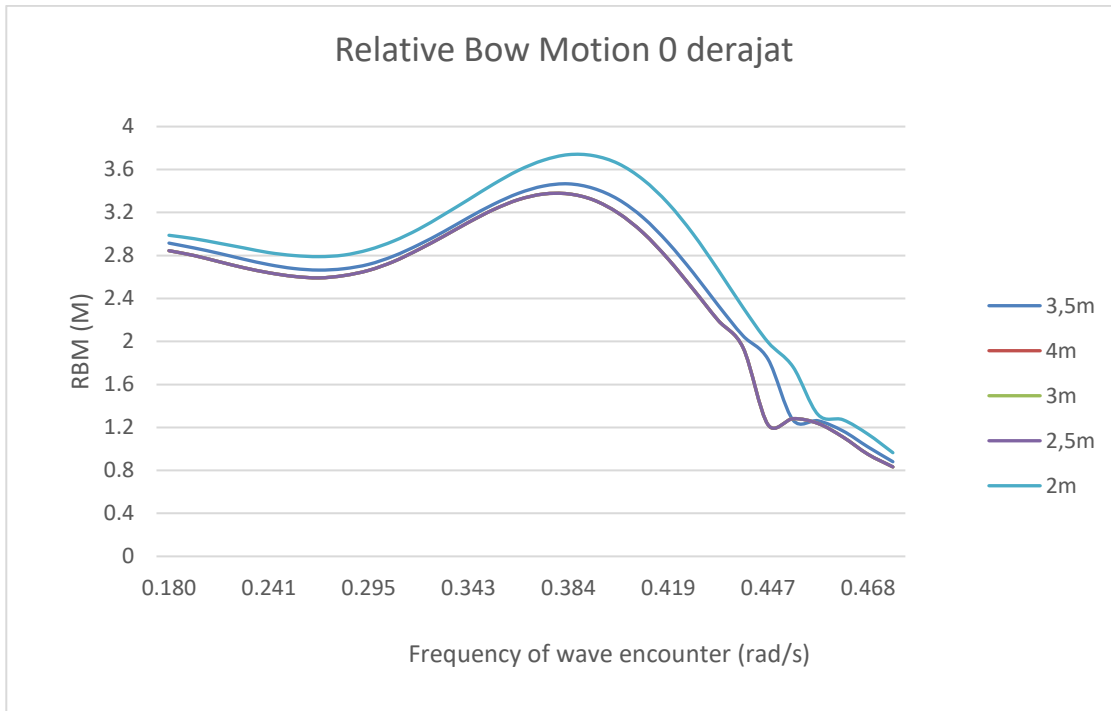
4. Hasil 45 derajat.



Gambar 4. 16 *Relative bow motion* 45 derajat

Dari gambar 4.16 tersebut dapat kita lihat hasil *relative bow motion* pada sudut 45 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Hasil *relative bow motion* paling tinggi didapatkan pada tinggi *freeboard* paling rendah, yaitu 2m, dengan *relative bow motion* sebesar 2,74m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,476 rad/s. Sedangkan pada tinggi *freeboard* 2,5m didapat hasil *relative bow motion* tertinggi adalah 2,73m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,476 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 3m didapat hasil *relative bow motion* tertinggi adalah 2,47m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,476 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 3,5m didapat hasil *relative bow motion* tertinggi adalah 2,45m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,476 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 4m didapat hasil *relative bow motion* tertinggi adalah 2,45 m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,476 rad/s.

5. Hasil 0 derajat.



Gambar 4. 17 *Relative bow motion* 0 derajat

Dari gambar 4.17 tersebut dapat kita lihat hasil *relative bow motion* pada sudut 90 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Hasil *relative bow motion* paling tinggi didapatkan pada tinggi *freeboard* paling rendah, yaitu 2m, dengan *relative bow motion* sebesar 2,74m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,476 rad/s. Sedangkan pada tinggi *freeboard* 2,5m didapat hasil *relative bow motion* tertinggi adalah 2,73m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,476 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 3m didapat hasil *relative bow motion* tertinggi adalah 2,47m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,476 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 3,5m didapat hasil *relative bow motion* tertinggi adalah 2,45m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,476 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 4m didapat hasil *relative bow motion* tertinggi adalah 2,45 m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,476 rad/s.

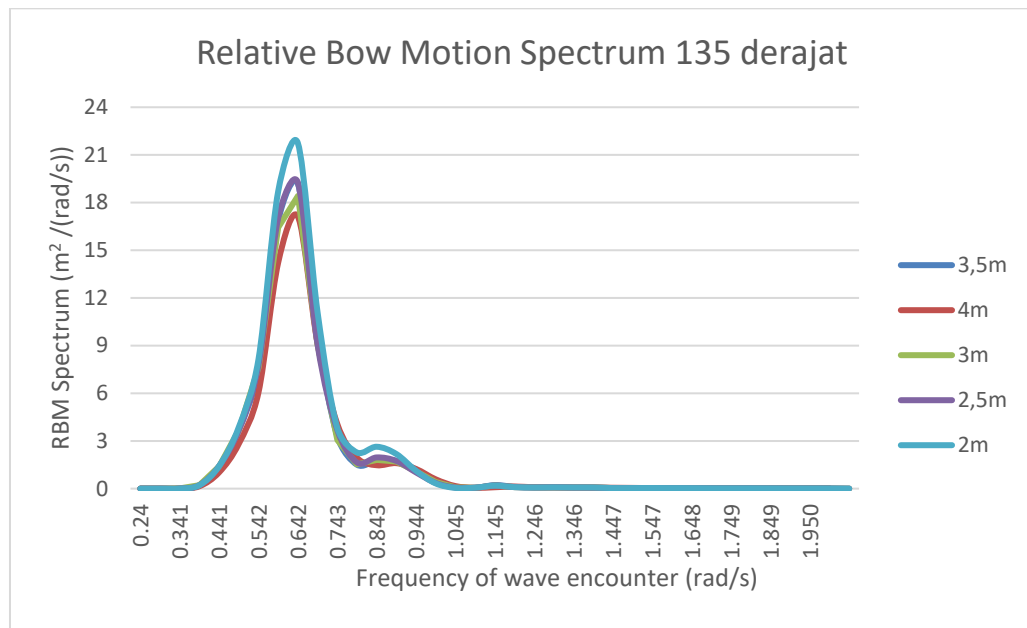
Berdasarkan hasil *relative bow motion* kapal pada keadaan *heave* dan *pitch* di berbagai sudut *heading* dan juga berbagai tinggi *freeboard*, dapat disimpulkan bahwa gerakan *relative bow motion* terbesar saat sudut hadapnya 135 derajat yaitu sebesar 4,62m. Juga dapat dikatakan bahwa semakin kecil *freeboard* kapal maka akan semakin tinggi puncak dari gerakan *relative bow motion*.

4.4 Relative Bow Motion Spectrum

Proses perhitungan *relative bow motion spectrum* dari kapal *open top container* 800

TEUS dilakukan setelah perhitungan *relative bow motion* dari kapal sudah selesai. Perhitungan *relative bow motion* menggunakan 5 variasi sudut *heading* (0, 45, 90, 135, dan 180) derajat, serta menggunakan 5 variasi tinggi *freeboard* yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m serta tinggi gelombang yang digunakan adalah 3m. Perhitungan dengan cara mengalikan *relative bow motion* kapal dengan *encountering wave spectrum* sehingga didapat *relative bow motion spectrum* dari kapal tersebut.

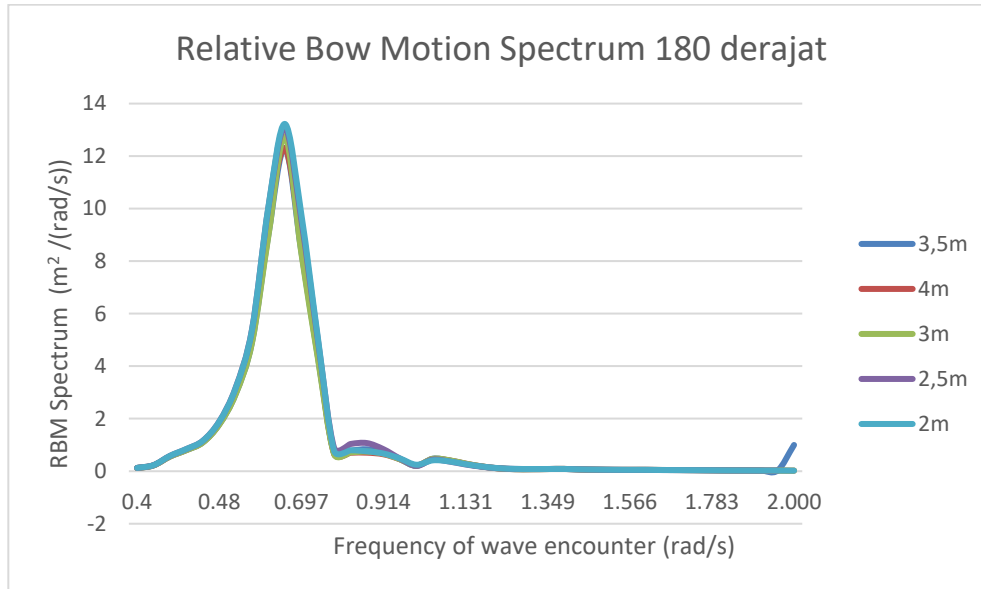
A. Hasil 135 derajat.



Gambar 4. 18 *Relative bow motion spectrum* 135 derajat

Dari gambar 4.18 tersebut dapat kita lihat hasil *relative bow motion spectrum* pada sudut 135 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Hasil *relative bow motion spectrum* paling tinggi didapatkan pada tinggi *freeboard* paling rendah, yaitu 2m, dengan *relative bow motion spectrum* sebesar 21,7 dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,642 rad/s. Sedangkan pada tinggi *freeboard* 2,5m didapat hasil *relative bow motion spectrum* tertinggi adalah 19,4 dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,642 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 3m didapat hasil *relative bow motion spectrum* tertinggi adalah 19,2 dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,642 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 3,5m didapat hasil *relative bow motion spectrum* tertinggi adalah 18,4 dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,642 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 4m didapat hasil *relative bow motion spectrum* tertinggi adalah 17,122 dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,642 rad/s.

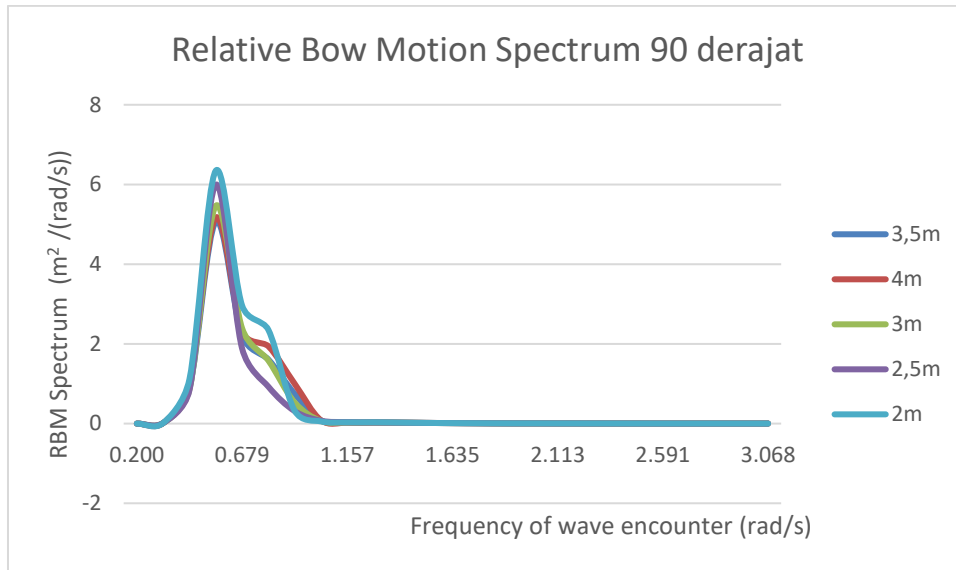
B. Hasil 180 derajat.



Gambar 4. 19 *Relative bow motion spectrum* 180 derajat

Dari gambar 4.19 tersebut dapat kita lihat hasil *relative bow motion spectrum* pada sudut 180 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Hasil *relative bow motion spectrum* paling tinggi didapatkan pada tinggi *freeboard* paling rendah, yaitu 2m, dengan *relative bow motion spectrum* sebesar 13,2 dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,654 rad/s. Sedangkan pada tinggi *freeboard* 2,5m didapat hasil *relative bow motion* tertinggi adalah 13,02 dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,654 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 3m didapat hasil *relative bow motion spectrum* tertinggi adalah 12,7 dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,654 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 3,5m didapat hasil *relative bow motion spectrum* tertinggi adalah 12,38 dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,654 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 4m didapat hasil *relative bow motion spectrum* tertinggi adalah 12,33 dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,654 rad/s.

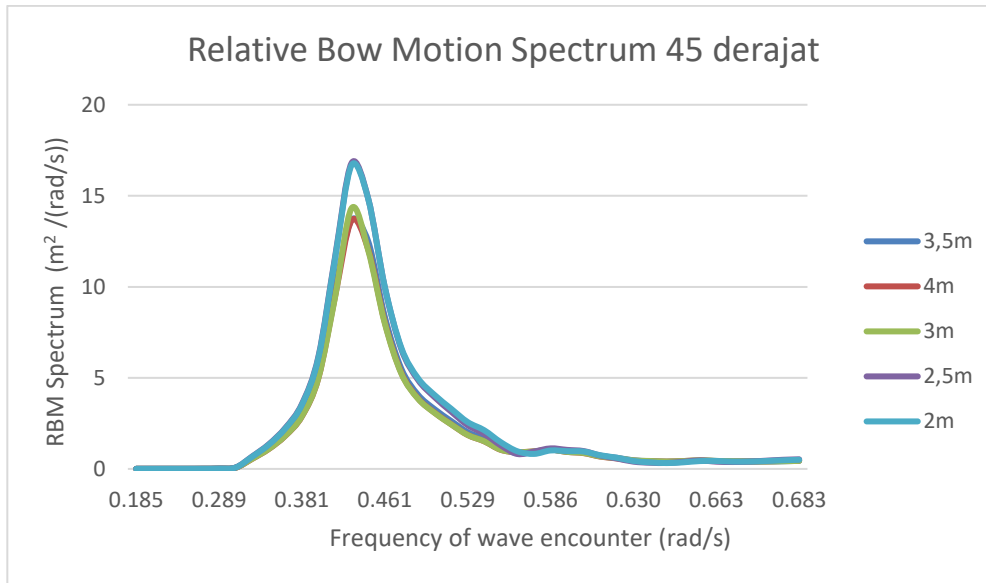
C. Hasil 90 derajat.



Gambar 4. 20 *Relative bow motion spectrum* 90 derajat

Dari gambar 4.20 tersebut dapat kita lihat hasil *relative bow motion spectrum* pada sudut 90 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Hasil *relative bow motion spectrum* paling tinggi didapatkan pada tinggi *freeboard* paling rendah, yaitu 2m, dengan *relative bow motion spectrum* sebesar 6,33 dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,559 rad/s. Sedangkan pada tinggi *freeboard* 2,5m didapat hasil *relative bow motion spectrum* tertinggi adalah 5,99 dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,559 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 3m didapat hasil *relative bow motion spectrum* tertinggi adalah 5,46 dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,559 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 3,5m didapat hasil *relative bow motion spectrum* tertinggi adalah 5,16 dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,559 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 4m didapat hasil *relative bow motion spectrum* tertinggi adalah 5,04 m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,559 rad/s.

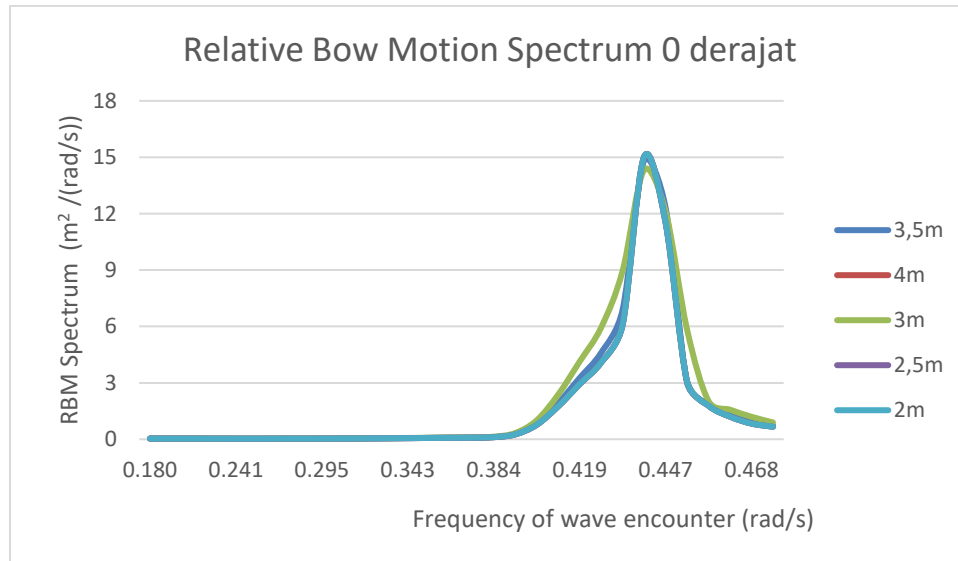
D. Hasil 45 derajat.



Gambar 4. 21 *Relative bow motion spectrum* 45 derajat

Dari gambar 4.21 tersebut dapat kita lihat hasil *relative bow motion spectrum* pada sudut 45 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Hasil *relative bow motion spectrum* paling tinggi didapatkan pada tinggi *freeboard* paling rendah, yaitu 2m, dengan *relative bow motion spectrum* sebesar 16,81 dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,431 rad/s. Sedangkan pada tinggi *freeboard* 2,5m didapat hasil *relative bow motion spectrum* tertinggi adalah 16,60 dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,431 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 3m didapat hasil *relative bow motion spectrum* tertinggi adalah 14,3 dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,431 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 3,5m didapat hasil *relative bow motion spectrum* tertinggi adalah 13,7 dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,431 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 4m didapat hasil *relative bow motion spectrum* tertinggi adalah 13,6 dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,431 rad/s.

E. Hasil 0 derajat.



Gambar 4. 22 *Relative bow motion spectrum* 0 derajat

Dari gambar 4.22 tersebut dapat kita lihat hasil *relative bow motion spectrum* pada sudut 90 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Hasil *relative bow motion spectrum* paling tinggi didapatkan pada tinggi *freeboard* paling rendah, yaitu 2m, dengan *relative bow motion spectrum* sebesar 15,08 dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,441 rad/s. Sedangkan pada tinggi *freeboard* 2,5m didapat hasil *relative bow motion spectrum* tertinggi adalah 15,01 dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,441 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 3m didapat hasil *relative bow motion spectrum* tertinggi adalah 15,00 dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,441 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 3,5m didapat hasil *relative bow motion spectrum* tertinggi adalah 14,70 dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,441 rad/s. Pada tinggi *freeboard* 4m didapat hasil *relative bow motion spectrum* tertinggi adalah 14,30 m dan terjadi pada *frequency of wave encounter* 0,441 rad/s.

Berdasarkan hasil *relative bow motion spectrum* kapal pada keadaan *heave* dan *pitch* di berbagai sudut *heading* dan juga berbagai tinggi *freeboard*, dapat disimpulkan bahwa gerakan *relative bow motion spectrum* terbesar saat sudut hadapnya 135 derajat yaitu sebesar 21,7. Juga dapat dikatakan bahwa semakin kecil *freeboard* kapal maka akan semakin tinggi puncak dari gerakan *relative bow motion spectrum*.

4.5 Luasan Respons Spektrum

Relative bow motion yang telah didapat selanjutnya diubah menjadi respons spektrum dengan menggunakan rumus *Bhattacharyya* (1978) yaitu dengan mengalikan *relative bow motion* dan *wave spectrum encounter*. Barulah, dihitung luasan di bawah grafik *relative bow*

motion spectrum atau disebut M0 menggunakan metode simpson. M0 ini lah yang nantinya menjadi salah satu variable dalam menghitung probabilitas *deck wetness* pada kapal *open top container*.

Hasil luasan grafik *relative bow motion spectrum* ini dihitung tiap variasi *freeboard* dan tiap variasi sudut *heading*. Berikut adalah hasil dari perhitungan M0 tiap variasi:

A. Hasil 135 derajat

Tabel 4. 7 Luas grafik *relative bow motion spectrum* 135 derajat

Hasil 135			
Variasi	Freeboard	M0	Significant RBM
1	4m	3,114	3,529
2	3,5m	3,365	3,669
3	3m	3,473	3,727
4	2,5m	3,532	3,759
5	2m	3,776	3,887

Dari tabel 4.7 tersebut dapat kita lihat hasil luasan grafik *relative bow motion* pada sudut 135 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Hasil M0 atau luasan grafik paling besar adalah pada *freeboard* dengan tinggi 2m dengan besar M0 sama dengan 3,776. Sedangkan hasil M0 atau luasan grafik paling kecil adalah pada *freeboard* dengan tinggi 4m dengan besar M0 sama dengan 3,114.

B. Hasil 180 derajat

Tabel 4. 8 Luas grafik *relative bow motion spectrum* 180 derajat

Hasil 180			
Variasi	Freeboard	M0	Significant RBM
1	4m	2,900	3,406
2	3,5m	2,963	3,443
3	3m	3,144	3,546
4	2,5m	3,412	3,694
5	2m	3,605	3,797

Dari tabel 4.8 tersebut dapat kita lihat hasil luasan grafik *relative bow motion* pada sudut 180 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Hasil M0

atau luasan grafik paling besar adalah pada *freeboard* dengan tinggi 2m dengan besar M0 sama dengan 3,605. Sedangkan hasil M0 atau luasan grafik paling kecil adalah pada *freeboard* dengan tinggi 4m dengan besar M0 sama dengan 2,9.

C. Hasil 90 derajat

Tabel 4. 9 Luas grafik *relative bow motion spectrum* 90 derajat

Hasil 90			
Variasi	Freeboard	M0	Significant RBM
1	4m	1,231	2,219
2	3,5m	1,239	2,226
3	3m	1,263	2,248
4	2,5m	1,290	2,272
5	2m	1,563	2,501

Dari tabel 4.9 tersebut dapat kita lihat hasil luasan grafik *relative bow motion* pada sudut 90 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Hasil M0 atau luasan grafik paling besar adalah pada *freeboard* dengan tinggi 2m dengan besar M0 sama dengan 1,563. Sedangkan hasil M0 atau luasan grafik paling kecil adalah pada *freeboard* dengan tinggi 4m dengan besar M0 sama dengan 1,231.

D. Hasil 45 derajat

Tabel 4. 10 Luas grafik *relative bow motion spectrum* 45 derajat

Hasil 45			
Variasi	Freeboard	M0	Significant RBM
1	4m	0,845	1,838
2	3,5m	0,853	1,847
3	3m	0,873	1,869
4	2,5m	1,024	2,024
5	2m	1,029	2,029

Dari tabel 4.10 tersebut dapat kita lihat hasil luasan grafik *relative bow motion* pada sudut 45 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Hasil M0 atau luasan grafik paling besar adalah pada *freeboard* dengan tinggi 2m dengan besar M0 sama

dengan 1,209. Sedangkan hasil M0 atau luasan grafik paling kecil adalah pada *freeboard* dengan tinggi 4m dengan besar M0 sama dengan 0,845.

E. Hasil 0 derajat

Tabel 4. 11 Luas grafik *relative bow motion spectrum* 0 derajat

Hasil 0			
Variasi	Freeboard	M0	Significant RBM
1	4m	0,589	1,535
2	3,5m	0,600	1,549
3	3m	0,607	1,558
4	2,5m	0,614	1,567
5	2m	0,635	1,594

Dari tabel 4.11 tersebut dapat kita lihat hasil luasan grafik *relative bow motion* pada sudut 0 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Hasil M0 atau luasan grafik paling besar adalah pada *freeboard* dengan tinggi 2m dengan besar M0 sama dengan 1,635. Sedangkan hasil M0 atau luasan grafik paling kecil adalah pada *freeboard* dengan tinggi 4m dengan besar M0 sama dengan 0,589.

4.6 Deck Wetness

Setelah dilakukan perhitungan luasan grafik *relative bow motion spectrum*, maka selanjutnya dilakukan perhitungan probabilitas *deck wetness* dengan langkah yang dapat di lihat di Lampiran. Rumus perhitungan menggunakan rumus (9) pada bab 2.

Pada Lampiran diberikan perhitungan probabilitas *deck wetness* untuk 5 variasi sudut *heading* dan 5 variasi tinggi *freeboard*. Rekapitulasi dari hasil perhitungan probabilitas *deck wetness* untuk masing-masing variasi adalah sebagai berikut:

A. Hasil 0 derajat

Tabel 4. 12 Probabilitas *deck wetness* 0 derajat

Hasil 0		
Variasi	Freeboard	deck wetness
1	4m	0,000%
2	3,5m	0,000%
3	3m	0,000%
4	2,5m	0,000%
5	2m	0,000%

Dari tabel 4.12 tersebut dapat kita lihat hasil perhitungan probabilitas *deck wetness* pada sudut 0 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Pada sudut 0 derajat ini probabilitas *deck wetness* yang terjadi adalah 0% atau 0,00 untuk semua variasi *freeboard* sehingga, dapat dikatakan bahwa tidak terjadi *deck wetness* jika sudut *heading* sebesar 0 derajat.

B. Hasil 45 derajat

Tabel 4. 13 Probabilitas *deck wetness* 45 derajat

Hasil 45		
Variasi	Freeboard	deck wetness
1	4m	0,000%
2	3,5m	0,000%
3	3m	0,000%
4	2,5m	0,000%
5	2m	0,041%

Dari tabel 4.13 tersebut dapat kita lihat hasil perhitungan probabilitas *deck wetness* pada sudut 45 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Pada sudut 45 derajat ini probabilitas *deck wetness* yang terjadi adalah 0% atau 0,00 untuk variasi *freeboard* 4m hingga 2,5m , dan bernilai 0,041% atau 0,00041 untuk tinggi *freeboard* 2m.

C. Hasil 90 derajat.

Tabel 4. 14 Probabilitas *deck wetness* 90 derajat

Hasil 90		
Variasi	Freeboard	deck wetness
1	4m	0,000%
2	3,5m	0,000%
3	3m	0,002%
4	2,5m	0,011%
5	2m	0,317%

Dari tabel 4.14 tersebut dapat kita lihat hasil perhitungan probabilitas *deck wetness* pada sudut 90 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Pada sudut 90 derajat ini probabilitas *deck wetness* yang terjadi adalah 0% atau 0,00 untuk variasi *freeboard* 4m dan 3,5m, dan probabilitas *deck wetness* paling tinggi terjadi pada saat tinggi *freeboard* sebesar 2m, dengan nilai probabilitas *deck wetness* sebesar 0,317% atau 0,00317.

D. Hasil 180 derajat

Tabel 4. 15 Probabilitas *deck wetness* 180 derajat

Hasil 180		
Variasi	Freeboard	deck wetness
1	4m	0,121%
2	3,5m	0,383%
3	3m	0,924%
4	2,5m	3,707%
5	2m	8,243%

Dari tabel 4.15 tersebut dapat kita lihat hasil perhitungan probabilitas *deck wetness* pada sudut 180 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Pada sudut 180 derajat ini probabilitas *deck wetness* yang paling kecil terjadi pada saat kondisi tinggi *freeboard* sebesar 4m dengan nilai probabilitas *deck wetness* sebesar 0,121% atau 0,00121, sedangkan untuk probabilitas *deck wetness* paling besar terjadi pada kondisi tinggi *freeboard* sebesar 2m, dengan nilai 8,243% atau 0,08243.

E. Hasil 135 derajat

Tabel 4. 16 Probabilitas *deck wetness* 135 derajat

Hasil 135		
Variasi	Freeboard	deck wetness
1	4m	0,192%
2	3,5m	0,868%
3	3m	1,685%
4	2,5m	4,146%
5	2m	9,233%

Dari tabel 4.16 tersebut dapat kita lihat hasil perhitungan probabilitas *deck wetness* pada sudut 180 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Pada sudut 180 derajat ini probabilitas *deck wetness* yang paling kecil terjadi pada saat kondisi tinggi *freeboard* sebesar 4m dengan nilai probabilitas *deck wetness* sebesar 0,192% atau 0,00192, sedangkan untuk probabilitas *deck wetness* paling besar terjadi pada kondisi tinggi *freeboard* sebesar 2m, dengan nilai 9,233% atau 0,09233.

Berdasarkan hasil perhitungan *deck wetness* dari 5 variasi *freeboard* dan 5 variasi sudut *heading* dapat kita lihat bahwa probabilitas *deck wetness* paling tinggi selalu terjadi pada variasi tinggi *freeboard* paling rendah yaitu 2m dari tiap sudut *heading*. Hal ini mendandakan bahwa semakin kecil tinggi *freeboard* kapal maka akan semakin tinggi probabilitas *deck wetness* yang dimiliki kapal tersebut.

Kita juga dapat melihat bahwa hasil probabilitas *deck wetness* paling besar terjadi pada sudut 135 derajat dengan nilai 9,233% atau 0,0923 dan pada sudut 180 derajat dengan nilai 8,243% atau 0,0824. Tetapi, kedua nilai ini tidak masuk dalam persyaratan atau kriteria dari NORDFORSK 1987 dan juga Moan, et al. dalam bukunya yang berjudul “*Comparative reliability Analysis of ships considering different ship types and the effect of ship operations on loads*” yang mengatakan bahwa batas maksimum probabilitas *deck wetness* dari kapal adalah 0,05 atau 5% (Moan, et al., 2006). Maka dapat dikatakan bahwa *deck wetness* kapal *open top container* 800 teus ini hanya aman jika berlayar dengan tinggi *freeboard* hingga 2,5m.

4.7 Vertical Acceleration

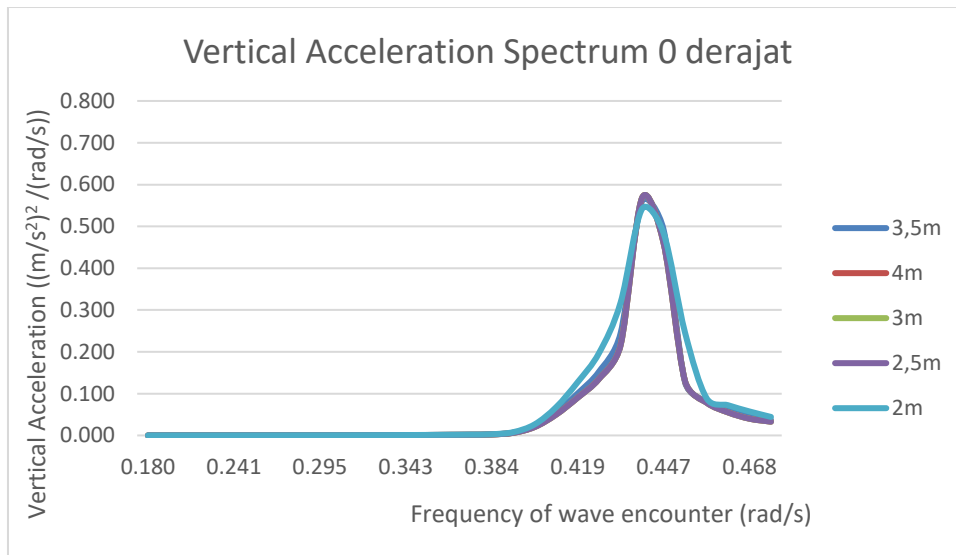
Perhitungan *vertical acceleration* didapatkan dengan mengkalikan RAO *motion* dengan pangkat empat dari frekuensi gelombang *encounter*. Nilai signifikan dari *vertical acceleration*

kemudian dihitung untuk kemudian dibandingkan dengan regulasi dari NORDFORSK.

$$RAO(\text{acceleration}) = RAO(\text{relative bow motion})\omega_e^4$$

Berikut adalah hasil perhitungan dari *vertical acceleration* dengan 5 variasi tinggi *freeboard* dan 5 variasi sudut *heading*:

A. Hasil 0 derajat



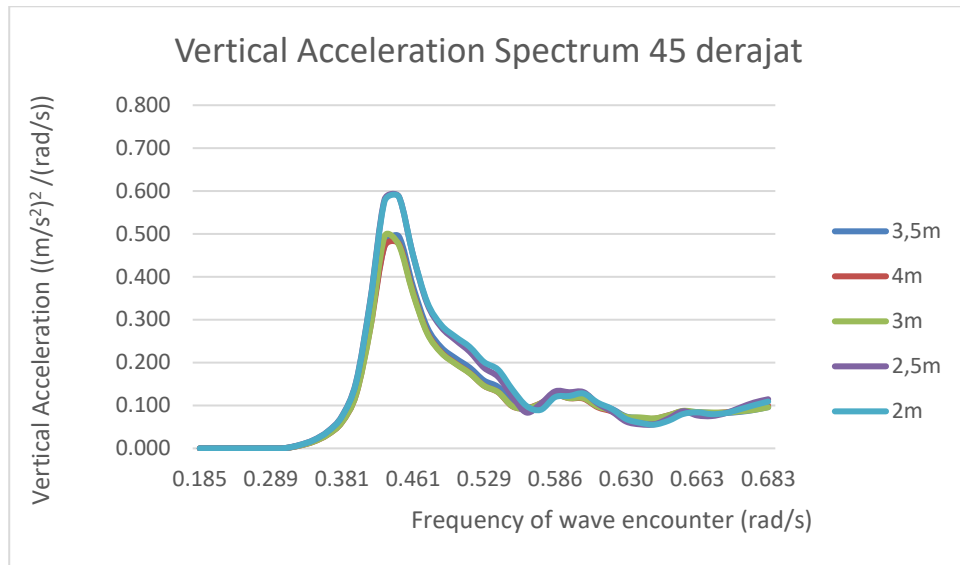
Gambar 4. 23 Grafik Vertical Acceleration 0 derajat

Tabel 4. 17 Vertical Acceleration 0 derajat

Hasil 0		
Variasi	Freeboard	Acceleration (m/s ²)
1	4m	0,275
2	3,5m	0,280
3	3m	0,283
4	2,5m	0,295
5	2m	0,301

Tabel di atas menunjukkan besar atau luasan di bawah grafik *vertical acceleration spectrum* yang merupakan nilai dari *vertical acceleration* itu sendiri. Dari tabel 4.17 tersebut dapat kita lihat hasil perhitungan *vertical acceleration* pada sudut 0 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Pada sudut 0 derajat ini probabilitas *deck wetness* yang paling kecil terjadi pada saat kondisi tinggi *freeboard* sebesar 4m dengan nilai *vertical acceleration* sebesar 0,275, sedangkan untuk *vertical acceleration* paling besar terjadi pada kondisi tinggi *freeboard* sebesar 2m, dengan nilai 0,301.

B. Hasil 45 derajat.



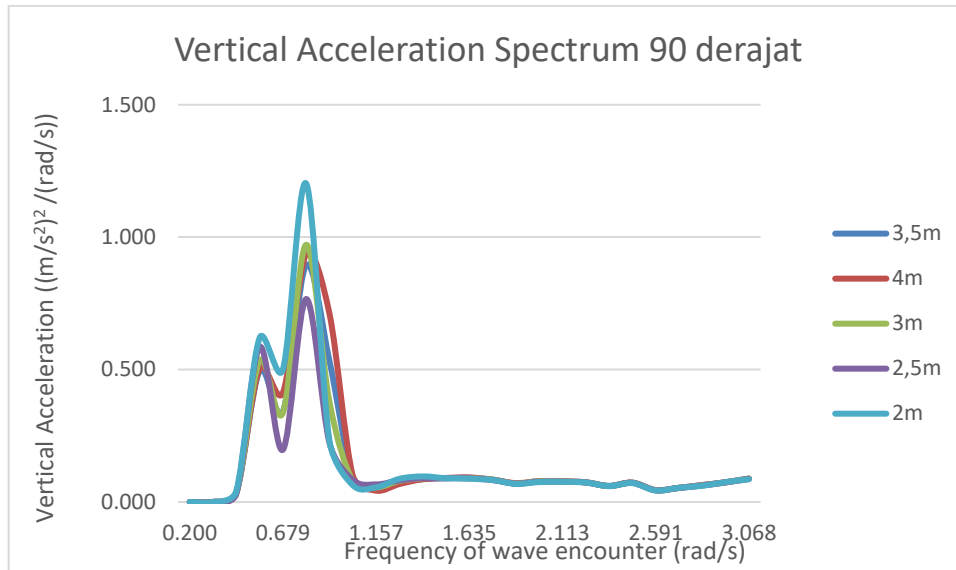
Gambar 4. 24 Grafik *Vertical Acceleration* 45 derajat

Tabel 4. 18 *Vertical acceleration* 45 derajat

Hasil 45		
Variasi	Freeboard	Acceleration (m/s ²)
1	4m	0,612
2	3,5m	0,614
3	3m	0,621
4	2,5m	0,660
5	2m	0,663

Tabel di atas menunjukkan besar atau luasan di bawah grafik *vertical acceleration spectrum* yang merupakan nilai dari *vertical acceleration* itu sendiri. Dari tabel 4.18 tersebut dapat kita lihat hasil perhitungan *vertical acceleration* pada sudut 45 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Pada sudut 45 derajat ini probabilitas *deck wetness* yang paling kecil terjadi pada saat kondisi tinggi *freeboard* sebesar 4m dengan nilai *vertical acceleration* sebesar 0,612, sedangkan untuk *vertical acceleration* paling besar terjadi pada kondisi tinggi *freeboard* sebesar 2m, dengan nilai 0,663.

C. Hasil 90 derajat



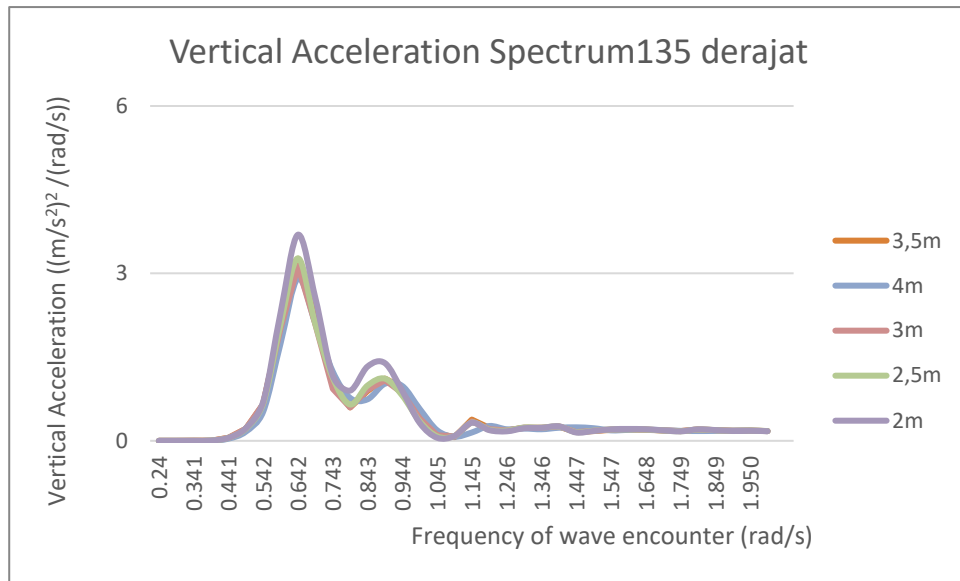
Gambar 4. 25 Grafik *Vertical Acceleration* 90 derajat

Tabel 4. 19 *Vertical acceleration* 90 derajat

Hasil 90		
Variasi	Freeboard	Acceleration (m/s ²)
1	4m	0,827
2	3,5m	0,869
3	3m	0,873
4	2,5m	0,896
5	2m	0,920

Tabel di atas menunjukkan besar atau luasan di bawah grafik *vertical acceleration spectrum* yang merupakan nilai dari *vertical acceleration* itu sendiri. Dari tabel 4.19 tersebut dapat kita lihat hasil perhitungan *vertical acceleration* pada sudut 90 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Pada sudut 90 derajat ini probabilitas *deck wetness* yang paling kecil terjadi pada saat kondisi tinggi *freeboard* sebesar 4m dengan nilai *vertical acceleration* sebesar 0,827, sedangkan untuk *vertical acceleration* paling besar terjadi pada kondisi tinggi *freeboard* sebesar 2m, dengan nilai 0,920.

D. Hasil 135 derajat.



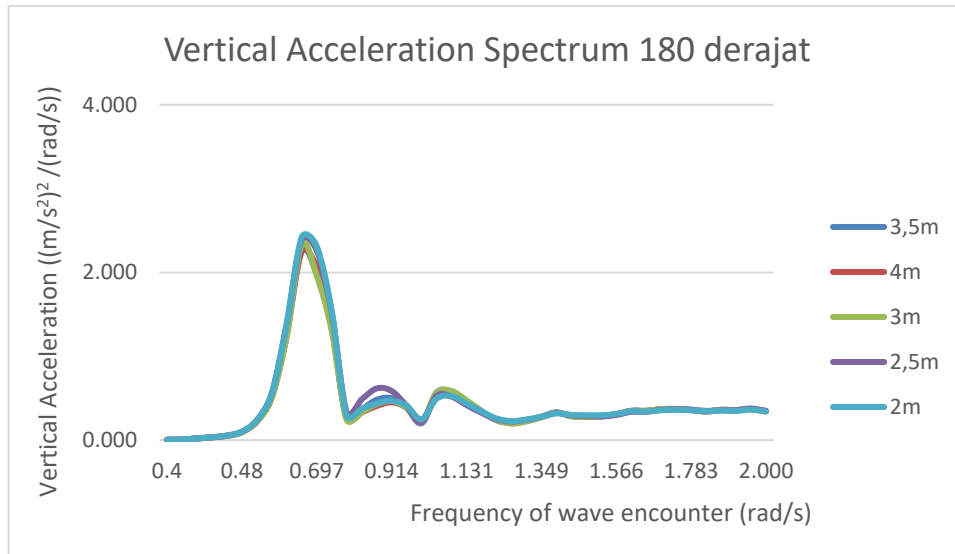
Gambar 4. 26 Grafik *Vertical Acceleration* 135 derajat

Tabel 4. 20 *Vertical acceleration* 135 derajat

Hasil 135		
Variasi	Freeboard	Acceleration (m/s ²)
1	4m	1,938
2	3,5m	1,956
3	3m	1,959
4	2,5m	1,994
5	2m	2,060

Tabel di atas menunjukkan besar atau luasan di bawah grafik *vertical acceleration spectrum* yang merupakan nilai dari *vertical acceleration* itu sendiri. Dari tabel 4.20 tersebut dapat kita lihat hasil perhitungan *vertical acceleration* pada sudut 135 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Pada sudut 135 derajat ini probabilitas *deck wetness* yang paling kecil terjadi pada saat kondisi tinggi *freeboard* sebesar 4m dengan nilai *vertical acceleration* sebesar 1,938, sedangkan untuk *vertical acceleration* paling besar terjadi pada kondisi tinggi *freeboard* sebesar 2m, dengan nilai 2,060.

E. Hasil 180 derajat.



Gambar 4. 27 Grafik *Vertical Acceleration* 180 derajat

Tabel 4. 21 *Vertical acceleration* 180 derajat

Hasil 180		
Variasi	Freeboard	Acceleration (m/s ²)
1	4m	1,887
2	3,5m	1,888
3	3m	1,891
4	2,5m	1,934
5	2m	1,948

Tabel di atas menunjukkan besar atau luasan di bawah grafik *vertical acceleration spectrum* yang merupakan nilai dari *vertical acceleration* itu sendiri. Dari tabel 4.21 tersebut dapat kita lihat hasil perhitungan *vertical acceleration* pada sudut 135 derajat dengan variasi tinggi *freeboard* kapal yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Pada sudut 135 derajat ini probabilitas *deck wetness* yang paling kecil terjadi pada saat kondisi tinggi *freeboard* sebesar 4m dengan nilai *vertical acceleration* sebesar 1,887, sedangkan untuk *vertical acceleration* paling besar terjadi pada kondisi tinggi *freeboard* sebesar 2m, dengan nilai 1,948.

Berdasarkan hasil *vertical acceleration* dari 5 variasi tinggi *freeboard* didapatkan bahwa nilai *vertical acceleration* tertinggi terjadi pada tinggi *freeboard* 2m untuk masing-masing sudut *heading*. Sedangkan nilai paling tinggi dari 5 variasi sudut *heading*, nilai *vertical acceleration* paling tinggi terjadi pada sudut *heading* 135 derajat dengan nilai 2,060 dan yang

kedua adalah pada sudut *heading* 180 derajat dengan nilai 1,948.

Nilai-nilai *vertical acceleration* ini kemudian dibandingkan dengan kriteria NORDFORSK 1987 dan juga Moan, et al. dalam bukunya yang berjudul “*Comparative reliability Analysis of ships considering different ship types and the effect of ship operations on loads*”. NORDFORSK 1987 dan Moan, et al., menyebutkan bahwa batas maksimum nilai *vertical acceleration* pada *bow* kapal adalah 0,275g atau sama dengan 2,697. Maka, dapat dikatakan bahwa semua nilai *vertical acceleration* dari 5 variasi tinggi *freeboard* dan 5 variasi sudut *heading* masuk dalam kriteria NORDFORSK 1987 ini.

4.8 Penambahan Displacement

Penambahan *draft* atau penurunan tinggi *freeboard* berarti *displacement* atau berat kapal yang tercelup akan ikut bertambah. Hal ini akan membuat muatan atau *payload* yang dapat diangkut oleh sebuah kapal menjadi lebih banyak dan lebih menguntungkan. Dalam tugas akhir ini ada 5 variasi *freeboard* yang digunakan, yaitu 4m, 3,5m, 3m, 2,5m, dan 2m. Berikut adalah tabel yang menunjukkan jumlah kenaikan *displacement* terhadap penurunan *freeboard*:

Tabel 4. 22 Penambahan *displacement* kapal *open top container* 800 TEUS

Freeboard	Displacement	kenaikkan
4	18146	0%
3,5	19730	8,729%
3	21340	17,602%
2,5	22564	24,347%
2	24601	35,573%

Dari tabel 4.22 tersebut dapat kita lihat kenaikan *displacement* kapal terhadap penurunan tinggi *freeboard* kapal. Pada tinggi *freeboard* 3,5m terdapat penurunan tinggi *freeboard* sebesar 0,5m dan terjadi peningkatan *displacement* sebesar 8,729%, pada tinggi *freeboard* 3m, terjadi penurunan tinggi *freeboard* sebesar 1m dan terjadi peningkatan *displacement* sebesar 17,602% dari semula, pada tinggi *freeboard* 2,5m, terjadi penurunan tinggi *freeboard* sebesar 1,5m dan terjadi peningkatan *displacement* sebesar 24,347% dari semula, pada tinggi *freeboard* 2m, terjadi penurunan tinggi *freeboard* sebesar 2m dan terjadi peningkatan *displacement* sebesar 35,573%.

Berdasarkan data dari *deck wetness* dan *vertical acceleration* yang sudah dihitung dan

didapatkan hasilnya, kita telah mengetahui bahwa pada *deck wetness* kapal hanya bisa berlayar dengan tinggi *freeboard* minimum 2,5m, sedangkan pada *vertical acceleration* kapal bisa berlayar dengan tinggi *freeboard* minimum 2m. Untuk memenuhi kedua kriteria NORDFORSK 1987 tersebut, disimpulkan kapal hanya dapat berlayar dengan tinggi *freeboard* minimum sebesar 2,5m (NORDFORSK, 1987). Maka, penambahan *displacement* yang terjadi pada kapal ini adalah sebesar 4418 ton atau sekitar 24,347% dari *displacement* awal.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Maxsurf motion telah sukses digunakan untuk mendapatkan hasil *heave* dan *pitch*, yang kemudian dikonversi menjadi respons spectrum dengan cara mengalikan dengan spectrum gelombang dan didapat juga *deck wetness* serta *vertical acceleration* dari kapal *open top container* 800 TEUS. Dari hasil tersebut, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Probabilitas *deck wetness* kapal *open top container* 800 TEUS ini hanya memenuhi standard dari oleh NORDFORSK dan Moan, et al. pada saat tinggi *freeboard* minimumnya adalah 2,5m dengan nilai probabilitas *deck wetness* sebesar 4,146% atau 0,4146.
2. Besar *vertical acceleration* kapal *open top container* 800 TEUS yang bernilai maksimum 2,060 ini sudah memenuhi persyaratan NORDFORSK dan Moan, et al. dengan batas 0,275g atau 2,697.
3. Berdasarkan kriteria *deck wetness* dan *vertical acceleration* kapal *open top container* 800 TEUS ini dapat berlayar dengan tinggi *freeboard* minimum 2,5m. Maka dapat disimpulkan, minimum tinggi *freeboard* kapal *open top container* 800 TEUS ini agar tetap memenuhi kriteria *deck wetness* dan *vertical acceleration* adalah sebesar 2,5m
4. Penambahan *displacement* yang dapat ditambahkan pada kapal agar tetap memenuhi kriteria *deck wetness* dan *vertical acceleration* pada kapal *open top container* 800 TEUS ini adalah sebesar 4418 ton atau sekitar 24,347% dari *displacement* awal

5.2 Saran

Dalam penelitian ini masih ada kekurangan-kekurangan yang terjadi, oleh karena masih banyaknya pokok bahasan yang akan diteliti dan dikembangkan lagi, selain itu untuk saran pada penelitian selanjutnya, adalah sebagai berikut:

1. Tidak menghitung stabilitas kapal. Untuk selanjutnya, sebaiknya dilakukan perhitungan stabilitas kapal.
2. Tidak menghitung analisa ekonomi dari penambahan *displacement*. Untuk selanjutnya sebaiknya dilakukan analisa ekonomi dari penambahan *displacement* untuk mengetahui untung yang bisa didapatkan

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSAKA

- Bentley System, I. (2013). *Maxsurf Motions Manual*.
- Bhattacharyya, R. (1978). *Dynamic of Marine Vehicles*. New York, United State of America.
- BMKG. (2017). *Data Tinggi Gelombang*. Jakarta: BMKG.
- Cepowski, T. (2011). *Modelling of seakeeping qualities of open top container carriers in the preliminary design phase*. Szczecin Maritime University.
- Chakrabarti, S. (1987). *Hydrodynamics of Offshore Structures*. Southampton, Boston: Computational Mechanics Publications.
- Fatnanta, F. (2009). *Kajian perilaku transmisi dan stabilitas pemecah gelombang kantong pasir tipe tenggelam*.
- IMO. (1994). *MSC/Circular.608/rev.1*. London.
- Iswara, N. (2014). *Evaluasi Aspek Greenwater pada Perancangan Drillship Displasmen 3500 Ton*. Surabaya: Jurnal POMITS ITS.
- ITTC. (1987). Seakeeping Session. In ITTC, *Seakeeping Session Volume 1* (p. 401-468). ITTC.
- J. Parunov, L. Mudronja, P. Vidan. (2014). *Review of seakeeping criteria for container ship sustainable speed calculation in rough weather*. Croatia.
- Moan, et al. (2006). *Comparative reliability analysis of ship considering different ship types and the effect of ship operations on loads*. Norwegia.
- NORDFORSK. (1987). *Seakeeping Criteria*.
- Willfred, E. (1995). *Open Cellular Containership*. Elsevier: Oxford.

LAMPIRAN

Lampiran A *Heave dan Pitch*

Lampiran B *Relative bow motion dan relative bow motion spectrum*

Lampiran C Perhitungan *effective freeboard*

Lampiran D *Vertical acceleration*

LAMPIRAN A HEAVE DAN PITCH

135 DERAJAT

4m			3,5m		
we	heave	pitch	we	heave	pitch
0,24	1,493235	1,957	0,24	1,493988	2,082
0,29	1,489463	1,93675	0,29	1,490218	2,07
0,341	1,483408	1,9255	0,341	1,484166	2,064
0,391	1,475042	1,9255	0,391	1,474279	2,067
0,441	1,461249	1,93	0,441	1,459709	2,067
0,491	1,442654	1,9345	0,491	1,438749	2,064
0,542	1,41748	1,93675	0,542	1,411914	2,043
0,592	1,384558	1,92775	0,592	1,377225	2,004
0,642	1,343317	1,8564	0,642	1,335758	1,941
0,693	1,296437	1,6465	0,693	1,290349	1,845
0,743	1,246896	1,39725	0,743	1,246896	1,713
0,793	1,2	1,29825	0,793	1,204678	1,542
0,843	1,153148	1,1655	0,843	1,152172	1,326
0,894	1,089954	0,99675	0,894	1,067005	1,095
0,944	1,000625	0,81	0,944	0,960469	0,882
0,994	0,894986	0,63225	0,994	0,852496	0,711
1,045	0,773628	0,486	1,045	0,733314	0,57
1,095	0,632851	0,37125	1,095	0,584808	0,45
1,145	0,467172	0,27675	1,145	0,402492	0,336
1,195	0,259808	0,19575	1,195	0,134164	0,228
1,246	0,212132	0,126	1,246	0,3	0,138
1,296	0,338748	0,06975	1,296	0,385357	0,066
1,346	0,385357	0,02925	1,346	0,410792	0,039
1,397	0,388265	0,0225	1,397	0,396863	0,054
1,447	0,364349	0,03825	1,447	0,354965	0,066
1,497	0,314643	0,045	1,497	0,288531	0,069
1,547	0,246475	0,04275	1,547	0,195576	0,06
1,598	0,15	0,03825	1,598	0,067082	0,045
1,648	0,094868	0,027	1,648	0,171026	0,03
1,698	0,183712	0,01575	1,698	0,217371	0,015
1,749	0,212132	0,00675	1,749	0,227486	0,006
1,799	0,217371	0,0045	1,799	0,217371	0,012
1,849	0,201246	0,00675	1,849	0,183712	0,015
1,899	0,171026	0,01125	1,899	0,142302	0,015
1,950	0,125499	0,01125	1,950	0,067082	0,012
2,000	0,047434	0,009	2,000	0,094868	0,009

3m

2,5m

we	heave	pitch	we	heave	pitch
0,24	1,493988	2,1	0,24	1,494741	2,106
0,29	1,490218	2,091	0,29	1,490973	2,1
0,341	1,484166	2,091	0,341	1,484924	2,1
0,391	1,474279	2,094	0,391	1,475042	2,106
0,441	1,458938	2,094	0,441	1,459709	2,106
0,491	1,437185	2,085	0,491	1,437967	2,097
0,542	1,409521	2,058	0,542	1,410319	2,07
0,592	1,373954	2,01	0,592	1,375591	2,019
0,642	1,333229	1,935	0,642	1,335758	1,941
0,693	1,290349	1,824	0,693	1,295569	1,827
0,743	1,251399	1,674	0,743	1,261249	1,671
0,793	1,213981	1,482	0,793	1,225969	1,464
0,843	1,152172	1,245	0,843	1,151195	1,212
0,894	1,045706	1,008	0,894	1,029442	0,978
0,944	0,929516	0,81	0,944	0,911181	0,795
0,994	0,820213	0,66	0,994	0,800781	0,648
1,045	0,697137	0,54	1,045	0,672495	0,528
1,095	0,544977	0,426	1,095	0,515267	0,414
1,145	0,351781	0,318	1,145	0,318198	0,303
1,195	0,183712	0,213	1,195	0,227486	0,204
1,246	0,342053	0,126	1,246	0,354965	0,12
1,296	0,408044	0,066	1,296	0,410792	0,066
1,346	0,421604	0,051	1,346	0,416233	0,054
1,397	0,396863	0,066	1,397	0,391152	0,066
1,447	0,348569	0,072	1,447	0,338748	0,072
1,497	0,276586	0,072	1,497	0,264102	0,069
1,547	0,177482	0,06	1,547	0,171026	0,057
1,598	0,125499	0,045	1,598	0,142302	0,042
1,648	0,195576	0,027	1,648	0,206761	0,027
1,698	0,227486	0,012	1,698	0,232379	0,012
1,749	0,232379	0,009	1,749	0,232379	0,012
1,799	0,217371	0,015	1,799	0,212132	0,015
1,849	0,177482	0,018	1,849	0,177482	0,018
1,899	0,125499	0,015	1,899	0,125499	0,015
1,950	0,082158	0,012	1,950	0,094868	0,012
2,000	0,11619	0,009	2,000	0,125499	0,009

2m

we	heave	pitch
0,24	1,494741	2,052
0,29	1,491727	2,028
0,341	1,487195	2,025
0,391	1,479611	2,037
0,441	1,467396	2,061
0,491	1,449655	2,088
0,542	1,423815	2,106
0,592	1,391043	2,106
0,642	1,352498	2,076
0,693	1,313678	2,013
0,743	1,285982	1,899
0,793	1,26659	1,716
0,843	1,213054	1,464
0,894	1,103291	1,185
0,944	0,974423	0,939
0,994	0,839196	0,741
1,045	0,687386	0,582
1,095	0,513079	0,447
1,145	0,318198	0,324
1,195	0,284605	0,219
1,246	0,385357	0,132
1,296	0,432146	0,075
1,346	0,434741	0,06
1,397	0,408044	0,072
1,447	0,354965	0,081
1,497	0,284605	0,078
1,547	0,201246	0,066
1,598	0,189737	0,048
1,648	0,232379	0,033
1,698	0,255441	0,018
1,749	0,255441	0,015
1,799	0,232379	0,018
1,849	0,195576	0,021
1,899	0,15	0,021
1,950	0,134164	0,015
2,000	0,157321	0,012

180 derajat

4m			3,5m		
we	heave	pitch	we	heave	pitch
0,4	1,458167	2,22525	0,4	1,458167	2,19825
0,416	1,451206	2,2185	0,416	1,451206	2,1915
0,432	1,443433	2,21175	0,432	1,443433	2,18025
0,448	1,435618	2,20275	0,448	1,434834	2,169
0,464	1,426184	2,1915	0,464	1,425395	2,1555
0,48	1,415892	2,178	0,48	1,415097	2,13975
0,523	1,384558	2,1375	0,523	1,384558	2,088
0,567	1,347498	2,079	0,567	1,347498	2,0205
0,61	1,304224	2,007	0,61	1,305948	1,986306
0,654	1,255886	1,91925	0,654	1,262141	1,973121
0,697	1,205612	1,809	0,697	1,218606	1,719
0,741	1,157044	1,67625	0,741	1,17824	1,5795
0,784	1,109392	1,51875	0,784	1,13842	1,41525
0,827	1,051071	1,3275	0,827	1,077497	1,2195
0,871	0,951052	1,10025	0,871	0,953415	0,9945
0,914	0,777978	0,8415	0,914	0,743976	0,75375
0,958	0,571183	0,576	0,958	0,513079	0,51975
1,001	0,54909	0,333	1,001	0,538749	0,3195
1,045	0,6257	0,15075	1,045	0,636396	0,18225
1,088	0,648652	0,081	1,088	0,66577	0,14625
1,131	0,622093	0,11475	1,131	0,643428	0,1665
1,175	0,565243	0,1395	1,175	0,588643	0,18
1,218	0,488365	0,144	1,218	0,510882	0,1755
1,262	0,396863	0,13275	1,262	0,421604	0,1575
1,305	0,296226	0,11475	1,305	0,325192	0,13275
1,349	0,189737	0,09	1,349	0,250998	0,1035
1,392	0,183712	0,0675	1,392	0,255441	0,0765
1,435	0,246475	0,045	1,435	0,288531	0,054
1,479	0,276586	0,027	1,479	0,314643	0,036
1,522	0,292404	0,0135	1,522	0,321714	0,02475
1,566	0,288531	0,0135	1,566	0,314643	0,02475
1,609	0,272489	0,01575	1,609	0,296226	0,027
1,653	0,246475	0,02025	1,653	0,268328	0,02925
1,696	0,212132	0,02025	1,696	0,232379	0,02925
1,739	0,171026	0,02025	1,739	0,195576	0,027
1,783	0,134164	0,018	1,783	0,164317	0,0225
1,826	0,106066	0,01575	1,826	0,157321	0,018
1,870	0,125499	0,01125	1,870	0,171026	0,0135
1,913	0,15	0,00675	1,913	0,183712	0,01125
1,957	0,157321	0,0045	1,957	0,189737	0,009
2,000	0,164317	0,0045	2,000	0,189737	0,00675

3m

we	heave	pitch
0,4	1,458167	2,18925
0,416	1,451206	2,18025
0,432	1,443433	2,169
0,448	1,434834	2,15775
0,464	1,425395	2,142
0,48	1,415892	2,12625
0,523	1,384558	2,07225
0,567	1,349166	2,0025
0,61	1,309389	1,91925
0,654	1,268365	1,866497
0,697	1,229634	1,6965
0,741	1,198124	1,557
0,784	1,162863	1,38825
0,827	1,092016	1,188
0,871	0,93675	0,954
0,914	0,690652	0,71775
0,958	0,447493	0,49725
1,001	0,532447	0,315
1,045	0,632851	0,20025
1,088	0,658976	0,1665
1,131	0,636396	0,17775
1,175	0,580948	0,1845
1,218	0,506458	0,17775
1,262	0,418927	0,1575
1,305	0,332039	0,13275
1,349	0,272489	0,10575
1,392	0,276586	0,07875
1,435	0,303727	0,05625
1,479	0,321714	0,03825
1,522	0,325192	0,02925
1,566	0,318198	0,02925
1,609	0,3	0,02925
1,653	0,272489	0,0315
1,696	0,241868	0,02925
1,739	0,206761	0,027
1,783	0,177482	0,02475
1,826	0,177482	0,02025
1,870	0,183712	0,01575
1,913	0,195576	0,01125
1,957	0,201246	0,009
2,000	0,195576	0,009

2,5m

we	heave	pitch
0,4	1,458938	2,18925
0,416	1,452756	2,18025
0,432	1,444991	2,169
0,448	1,436402	2,15775
0,464	1,426972	2,14425
0,48	1,41748	2,1285
0,523	1,386993	2,0745
0,567	1,352498	2,007
0,61	1,313678	1,926
0,654	1,276323	1,885987
0,697	1,243282	1,70775
0,741	1,217682	1,56825
0,784	1,185854	1,39725
0,827	1,100227	1,1835
0,871	0,911181	0,94275
0,914	0,631071	0,702
0,958	0,385357	0,48375
1,001	0,534556	0,30825
1,045	0,627495	0,20025
1,088	0,646916	0,171
1,131	0,618466	0,17775
1,175	0,561249	0,18
1,218	0,488365	0,171
1,262	0,405278	0,15075
1,305	0,321714	0,126
1,349	0,272489	0,099
1,392	0,280624	0,07425
1,435	0,303727	0,054
1,479	0,318198	0,03825
1,522	0,321714	0,02925
1,566	0,314643	0,02925
1,609	0,296226	0,02925
1,653	0,268328	0,02925
1,696	0,237171	0,02925
1,739	0,206761	0,027
1,783	0,183712	0,02475
1,826	0,177482	0,02025
1,870	0,183712	0,01575
1,913	0,195576	0,01125
1,957	0,201246	0,01125
2,000	0,195576	0

2m

we	heave	pitch
0,4	1,463557	2,214
0,416	1,456623	2,2095
0,432	1,449655	2,20275
0,448	1,441874	2,196
0,464	1,433266	2,187
0,48	1,423815	2,178
0,523	1,394274	2,142
0,567	1,359136	2,0925
0,61	1,321363	2,02725
0,654	1,284231	1,94625
0,697	1,253196	1,845
0,741	1,2342	1,71675
0,784	1,210269	1,54575
0,827	1,121495	1,31625
0,871	0,911181	1,0395
0,914	0,592453	0,7515
0,958	0,259808	0,49275
1,001	0,504232	0,29475
1,045	0,586728	0,17325
1,088	0,596238	0,135
1,131	0,56325	0,13725
1,175	0,508675	0,14175
1,218	0,439886	0,135
1,262	0,367423	0,11925
1,305	0,3	0,10125
1,349	0,264102	0,081
1,392	0,268328	0,06075
1,435	0,288531	0,045
1,479	0,3	0,0315
1,522	0,3	0,02475
1,566	0,292404	0,02475
1,609	0,272489	0,02475
1,653	0,250998	0,02475
1,696	0,222486	0,02475
1,739	0,195576	0,0225
1,783	0,177482	0,02025
1,826	0,177482	0,018
1,870	0,189737	0,0135
1,913	0,195576	0,01125
1,957	0,201246	0,009
2,000	0,195576	0,009

90 derajat

4m			3,5m		
we	heave	pitch	we	heave	pitch
0,2	1,493235	0,135	0,2	1,494741	0,162
0,32	1,494741	0,5535	0,32	1,495493	0,52875
0,439	1,501499	0,87975	0,439	1,496245	0,774
0,559	1,521595	0,99225	0,559	1,505241	0,79875
0,679	1,628036	0,792	0,679	1,616246	0,5535
0,798	1,897367	0,31725	0,798	1,924448	0,25425
0,918	1,945957	0,06525	0,918	1,8753	0,14175
1,037	1,358308	0,10125	1,037	1,275441	0,11025
1,157	0,802185	0,0945	1,157	0,742462	0,0945
1,276	0,584808	0,0045	1,276	0,542909	0,009
1,396	0,388265	0,009	1,396	0,385357	0,01125
1,516	0,171026	0,00675	1,516	0,206761	0,009
1,635	0,082158	0,00225	1,635	0,082158	0,0045
1,755	0,134164	0,00225	1,755	0,11619	0,0045
1,874	0,157321	0,00225	1,874	0,195576	0,0045
1,994	0,106066	0,00225	1,994	0,11619	0,00225
2,113	0,125499	0,00225	2,113	0,171026	0,0045
2,233	0,11619	0,00225	2,233	0,142302	0,00225
2,352	0,11619	0,00225	2,352	0,134164	0,00225
2,471	0,106066	0,00225	2,471	0,11619	0,00225
2,591	0,11619	0	2,591	0,094868	0
2,710	0,082158	0	2,710	0,094868	0
2,830	0,082158	0	2,830	0,106066	0
2,949	0,094868	0	2,949	0,106066	0
3,068	0,082158	0	3,068	0,11619	0

3m

we	heave	pitch
0,2	1,495493	0,19575
0,32	1,496245	0,5265
0,439	1,493988	0,73125
0,559	1,5	0,7065
0,679	1,624577	0,43425
0,798	1,967803	0,28125
0,918	1,803122	0,19125
1,037	1,185854	0,11025
1,157	0,684105	0,0855
1,276	0,506458	0,00675
1,396	0,354965	0,009
1,516	0,212132	0,00675
1,635	0,134164	0,00675
1,755	0,134164	0,0045
1,874	0,201246	0,00675
1,994	0,134164	0,00225
2,113	0,183712	0,0045
2,233	0,157321	0,00225
2,352	0,157321	0,00225
2,471	0,134164	0,00225
2,591	0,142302	0,00225
2,710	0,134164	0,00225
2,830	0,134164	0,00225
2,949	0,142302	0,00225
3,068	0,142302	0,00225

2,5m

we	heave	pitch
0,2	1,495493	0,21375
0,32	1,496245	0,53325
0,439	1,493235	0,7245
0,559	1,50075	0,6885
0,679	1,643168	0,405
0,798	2,01302	0,3195
0,918	1,729884	0,18675
1,037	1,111418	0,1125
1,157	0,639922	0,081
1,276	0,474342	0,009
1,396	0,332039	0,009
1,516	0,217371	0,00675
1,635	0,15	0,00675
1,755	0,15	0,0045
1,874	0,206761	0,00675
1,994	0,157321	0,0045
2,113	0,195576	0,0045
2,233	0,177482	0,0045
2,352	0,177482	0,00225
2,471	0,157321	0,00225
2,591	0,164317	0,00225
2,710	0,15	0,00225
2,830	0,157321	0,00225
2,949	0,157321	0,00225
3,068	0,15	0,00225

2m

we	heave	pitch
0,2	1,493988	0,16425
0,32	1,497748	0,5985
0,439	1,508973	0,918
0,559	1,535578	0,98325
0,679	1,69108	0,666
0,798	2,050671	0,1665
0,918	1,705652	0,135
1,037	1,055344	0,1125
1,157	0,641677	0,08775
1,276	0,462331	0,018
1,396	0,311047	0,009
1,516	0,241868	0,009
1,635	0,195576	0,009
1,755	0,177482	0,00675
1,874	0,232379	0,00675
1,994	0,201246	0,00675
2,113	0,217371	0,0045
2,233	0,212132	0,0045
2,352	0,201246	0,0045
2,471	0,183712	0,00225
2,591	0,189737	0,00225
2,710	0,171026	0,00225
2,830	0,177482	0,00225
2,949	0,164317	0,00225
3,068	0,157321	0,00225

45 derajat

4m			3,5m		
we	heave	pitch	we	heave	pitch
0,185	1,490218	1,854	0,185	1,490973	1,7865
0,207	1,485682	1,92375	0,207	1,487195	1,84275
0,228	1,481131	1,9845	0,228	1,48265	1,88775
0,249	1,474279	2,0385	0,249	1,475805	1,926
0,269	1,465862	2,08575	0,269	1,466629	1,9575
0,289	1,455077	2,12625	0,289	1,45585	1,98
0,309	1,441093	2,1555	0,309	1,441093	1,99125
0,327	1,424605	2,1735	0,327	1,423025	1,9935
0,346	1,403923	2,18025	0,346	1,401517	1,9845
0,364	1,379674	2,1735	0,364	1,374773	1,962
0,381	1,350833	2,151	0,381	1,344154	1,926
0,398	1,317099	2,11275	0,398	1,30767	1,8765
0,415	1,278964	2,0565	0,415	1,26659	1,81125
0,431	1,236022	1,98225	0,431	1,220451	1,73025
0,446	1,188697	1,88775	0,446	1,170577	1,638
0,461	1,136442	1,7775	0,461	1,116468	1,53225
0,476	1,082705	1,6515	0,476	1,06066	1,41525
0,490	1,028348	1,50975	0,490	1,006231	1,28925
0,503	0,975577	1,35675	0,503	0,955772	1,15875
0,517	0,927092	1,197	0,517	0,912414	1,02375
0,529	0,887412	1,03275	0,529	0,877211	0,89325
0,542	0,855132	0,87075	0,542	0,852496	0,76725
0,553	0,829759	0,7155	0,553	0,832466	0,65025
0,565	0,809166	0,576	0,565	0,813327	0,54225
0,575	0,788036	0,45225	0,575	0,792307	0,4455
0,586	0,763381	0,35325	0,586	0,763381	0,36
0,595	0,73024	0,279	0,595	0,724051	0,2835
0,605	0,690652	0,225	0,605	0,674166	0,216
0,614	0,645174	0,19125	0,614	0,616644	0,15525
0,622	0,598122	0,16425	0,622	0,551135	0,108
0,630	0,555203	0,14175	0,630	0,490663	0,08775
0,638	0,523927	0,12375	0,638	0,45	0,10125
0,645	0,508675	0,11925	0,645	0,442436	0,12825
0,651	0,501996	0,126	0,651	0,454973	0,153
0,657	0,49295	0,13725	0,657	0,469574	0,16425
0,663	0,479062	0,1485	0,663	0,471964	0,162
0,668	0,45	0,1485	0,668	0,459891	0,14625
0,672	0,410792	0,13725	0,672	0,432146	0,117
0,677	0,361248	0,11475	0,677	0,391152	0,081
0,680	0,318198	0,081	0,680	0,33541	0,04725
0,683	0,3	0,04725	0,683	0,284605	0,03375

3m		
we	heave	pitch
0,185	1,492481	1,73025
0,207	1,488707	1,77525
0,228	1,484166	1,81125
0,249	1,477329	1,84275
0,269	1,468162	1,86525
0,289	1,456623	1,87875
0,309	1,441874	1,88325
0,327	1,423815	1,87875
0,346	1,401517	1,863
0,364	1,374773	1,836
0,381	1,343317	1,7955
0,398	1,306809	1,7415
0,415	1,264812	1,674
0,431	1,218606	1,59525
0,446	1,16769	1,50525
0,461	1,113441	1,404
0,476	1,058537	1,29375
0,490	1,005112	1,18125
0,503	0,955772	1,062
0,517	0,913647	0,94725
0,529	0,881051	0,8325
0,542	0,856446	0,72675
0,553	0,837854	0,6255
0,565	0,817466	0,5355
0,575	0,795141	0,45
0,586	0,763381	0,37125
0,595	0,719375	0,297
0,605	0,66577	0,22725
0,614	0,6	0,1575
0,622	0,528205	0,099
0,630	0,459891	0,06975
0,638	0,421604	0,09
0,645	0,426907	0,126
0,651	0,452493	0,15525
0,657	0,474342	0,171
0,663	0,481404	0,16875
0,668	0,471964	0,153
0,672	0,444972	0,1215
0,677	0,396863	0,08325
0,680	0,332039	0,04725
0,683	0,255441	0,02925

2,5m		
we	heave	pitch
0,185	1,492481	1,7145
0,207	1,488707	1,75725
0,228	1,484166	1,791
0,249	1,477329	1,818
0,269	1,468162	1,83825
0,289	1,456623	1,8495
0,309	1,442654	1,854
0,327	1,423815	1,84725
0,346	1,40232	1,8315
0,364	1,375591	1,80225
0,381	1,343317	1,76175
0,398	1,306809	1,70775
0,415	1,265701	1,6425
0,431	1,219529	1,56375
0,446	1,168653	1,476
0,461	1,11546	1,377
0,476	1,06066	1,27125
0,490	1,007348	1,15875
0,503	0,958123	1,04625
0,517	0,916106	0,93375
0,529	0,883601	0,8235
0,542	0,860378	0,72225
0,553	0,840536	0,6255
0,565	0,822952	0,53775
0,575	0,799375	0,45675
0,586	0,767789	0,3825
0,595	0,724051	0,3105
0,605	0,667458	0,24075
0,614	0,6	0,17325
0,622	0,523927	0,11475
0,630	0,45	0,07425
0,638	0,413521	0,08325
0,645	0,426907	0,117
0,651	0,462331	0,1485
0,657	0,488365	0,16875
0,663	0,497494	0,171
0,668	0,486056	0,15975
0,672	0,452493	0,135
0,677	0,399687	0,099
0,680	0,318198	0,06075
0,683	0,212132	0,03375

2m

we	heave	pitch
0,185	1,489463	1,881
0,207	1,485682	1,95075
0,228	1,480372	2,00925
0,249	1,473516	2,061
0,269	1,465094	2,10375
0,289	1,455077	2,1375
0,309	1,441093	2,16225
0,327	1,425395	2,1735
0,346	1,405525	2,17125
0,364	1,381304	2,1555
0,381	1,353329	2,124
0,398	1,320511	2,0745
0,415	1,282478	2,007
0,431	1,239657	1,92375
0,446	1,191533	1,82025
0,461	1,140395	1,701
0,476	1,085818	1,566
0,490	1,031625	1,41975
0,503	0,97903	1,2645
0,517	0,931933	1,1025
0,529	0,893728	0,94275
0,542	0,864292	0,78975
0,553	0,843208	0,648
0,565	0,825682	0,5265
0,575	0,806381	0,42975
0,586	0,779423	0,35775
0,595	0,743976	0,30825
0,605	0,695521	0,27225
0,614	0,634626	0,2385
0,622	0,56921	0,2025
0,630	0,513079	0,162
0,638	0,488365	0,126
0,645	0,497494	0,10575
0,651	0,519615	0,11475
0,657	0,532447	0,14175
0,663	0,52607	0,1665
0,668	0,497494	0,18
0,672	0,439886	0,1755
0,677	0,354965	0,15525
0,680	0,227486	0,1215
0,683	0,15	0,0765

0 derajat

4m

we	heave	pitch
0,384	1,033804	2,1015
0,394	0,960469	1,96425
0,403	0,881051	1,8135
0,411	0,795141	1,6515
0,419	0,706753	1,48275
0,427	0,6257	1,30725
0,434	0,575109	1,12725
0,441	0,577062	0,94725
0,447	0,620282	0,7695
0,453	0,674166	0,5985
0,458	0,724051	0,4365
0,463	0,760428	0,288
0,468	0,782304	0,15525
0,472	0,789462	0,04275

3,5m

we	heave	pitch
0,384	1,021763	1,854
0,394	0,946309	1,71675
0,403	0,865592	1,57275
0,411	0,782304	1,41975
0,419	0,700357	1,26
0,427	0,638161	1,10025
0,434	0,612985	0,93825
0,441	0,631071	0,7785
0,447	0,675833	0,6255
0,453	0,722496	0,47925
0,458	0,763381	0,3465
0,463	0,789462	0,225
0,468	0,800781	0,11925
0,472	0,796555	0,0405

3m

we	heave	pitch
0,384	1,023963	1,7235
0,394	0,951052	1,59075
0,403	0,872067	1,45125
0,411	0,790886	1,30725
0,419	0,714668	1,1565
0,427	0,657267	1,00575
0,434	0,638161	0,85725
0,441	0,657267	0,711
0,447	0,697137	0,5715
0,453	0,740945	0,43875
0,458	0,776531	0,3195
0,463	0,800781	0,216
0,468	0,809166	0,12825
0,472	0,802185	0,06975

2,5m

we	heave	pitch
0,384	1,023963	1,7235
0,394	0,951052	1,59075
0,403	0,872067	1,45125
0,411	0,790886	1,30725
0,419	0,714668	1,1565
0,427	0,657267	1,00575
0,434	0,638161	0,85725
0,441	0,657267	0,711
0,447	0,697137	0,5715
0,453	0,740945	0,43875
0,458	0,776531	0,3195
0,463	0,800781	0,216
0,468	0,809166	0,12825
0,472	0,802185	0,06975

2m

we	heave	pitch
0,384	1,023963	1,7235
0,394	0,951052	1,59075
0,403	0,872067	1,45125
0,411	0,790886	1,30725
0,419	0,714668	1,1565
0,427	0,657267	1,00575
0,434	0,638161	0,85725
0,441	0,657267	0,711
0,447	0,697137	0,5715
0,453	0,740945	0,43875
0,458	0,776531	0,3195
0,463	0,800781	0,216
0,468	0,809166	0,12825
0,472	0,802185	0,06975

LAMPIRAN B Relative Bow Motion dan relative bow motion spectrum

135 derajat
4m

3,5m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum	we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,24	3,19878	0,000	0	0,24	2,5698	0,000	0
0,29	3,415392	0,000	0	0,29	2,781004	0,000	0
0,341	3,662143	0,001	0,005960575	0,341	3,029571	0,001	0,004079245
0,391	3,926949	0,031	0,212466124	0,391	3,308127	0,031	0,150779884
0,441	4,176552	0,179	1,387734106	0,441	3,587741	0,179	1,024029716
0,491	4,382414	0,431	3,678930886	0,491	3,840062	0,431	2,824693541
0,542	4,501482	0,836	7,52895522	0,542	4,037124	0,836	6,055748637
0,592	4,495973	1,875	16,84480963	0,592	4,13193	1,875	14,22737344
0,642	4,334038	2,300	19,20130746	0,642	4,09266	2,300	17,12208138
0,693	3,987076	1,365	9,644044836	0,693	3,881923	1,365	9,142056964
0,743	3,457519	0,624	3,315364235	0,743	3,479609	0,757	4,073560238
0,793	2,532082	0,529	1,507400228	0,793	2,873704	0,529	1,941588061
0,843	3,056098	0,426	1,768323421	0,843	2,789975	0,426	1,473762674
0,894	3,331596	0,354	1,746326783	0,894	3,191071	0,354	1,602114976
0,944	3,023338	0,296	1,202493122	0,944	3,065414	0,296	1,236196632
0,994	2,15147	0,247	0,508142071	0,994	2,309724	0,247	0,585645302
1,045	1,104705	0,207	0,112274362	1,045	1,313927	0,207	0,158829252
1,095	0,751192	0,174	0,043638412	1,095	0,815988	0,174	0,051491315
1,145	1,841921	0,147	0,22165456	1,145	1,153592	0,147	0,086943902
1,195	1,429382	0,124	0,112599357	1,195	1,538181	0,124	0,130392864
1,246	1,288744	0,106	0,078245044	1,246	1,349841	0,106	0,085839794
1,296	1,421682	0,091	0,081745445	1,296	1,387454	0,091	0,077856676
1,346	1,600498	0,061	0,069447659	1,346	1,526349	0,061	0,063161903
1,397	1,693382	0,052	0,06627209	1,397	1,631556	0,052	0,061521235
1,447	1,327293	0,045	0,035234112	1,447	1,660124	0,045	0,055120259
1,497	1,425817	0,039	0,035237869	1,497	1,611198	0,039	0,044996638
1,547	1,520291	0,034	0,034926085	1,547	1,47077	0,034	0,032687797
1,598	1,555879	0,029	0,031200906	1,598	1,527637	0,029	0,030078468
1,648	1,534674	0,026	0,027215923	1,648	1,533675	0,026	0,027180496
1,698	1,482736	0,023	0,02247362	1,698	1,502646	0,023	0,023081231
1,749	1,445785	0,02	0,018580396	1,749	1,465835	0,02	0,019099303
1,799	1,553968	0,018	0,019318533	1,799	1,447823	0,018	0,016769521
1,849	1,521455	0,016	0,016460984	1,849	1,462398	0,016	0,015207882
1,899	1,490759	0,014	0,013828027	1,899	1,509712	0,014	0,014181887
1,950	1,481702	0,013	0,012684767	1,950	1,487635	0,013	0,012786552
2,000	1,493161	0,011	0,010899926	2,000	1,48699	0,011	0,01081002

3m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,24	3,22385	0,000	0
0,29	3,441288	0,000	0
0,341	3,692731	0,001	0,006060561
0,391	3,953873	0,031	0,2153895
0,441	4,19328	0,179	1,398872761
0,491	4,381785	0,431	3,677873753
0,542	4,53	0,836	7,6246544
0,592	4,440842	1,875	16,4342335
0,642	4,245398	2,300	18,42392342
0,693	3,867809	1,365	9,075702446
0,743	3,320978	0,624	3,058679968
0,793	2,542251	0,529	1,51953294
0,843	3,089356	0,426	1,807020184
0,894	3,2912	0,354	1,704234159
0,944	2,863444	0,296	1,078664819
0,994	1,946861	0,247	0,416087174
1,045	0,962133	0,207	0,085164455
1,095	0,825292	0,174	0,052672263
1,145	1,759009	0,147	0,202148594
1,195	1,36374	0,124	0,102494906
1,246	1,273487	0,106	0,076403296
1,296	1,440028	0,091	0,083868912
1,346	1,627545	0,061	0,071814726
1,397	1,711234	0,052	0,067676805
1,447	1,327515	0,045	0,035245923
1,497	1,439075	0,039	0,035896225
1,547	1,535752	0,034	0,035640072
1,598	1,567511	0,029	0,031669151
1,648	1,532669	0,026	0,027144843
1,698	1,474622	0,023	0,022228337
1,749	1,439005	0,02	0,018406531
1,799	1,555117	0,018	0,019347107
1,849	1,516061	0,016	0,016344464
1,899	1,48502	0,014	0,013721763
1,950	1,478642	0,013	0,012632427
2,000	1,496075	0,011	0,010942503

2,5m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,24	3,234953	0,000	0
0,29	3,457531	0,000	0
0,341	3,708383	0,001	0,006112048
0,391	3,970796	0,031	0,217237265
0,441	4,211067	0,179	1,410765178
0,491	4,396841	0,431	3,703193203
0,542	4,58	0,836	7,793897956
0,592	4,52	1,875	17,02533333
0,642	4,34	2,300	19,25416889
0,693	3,866458	1,365	9,069360474
0,743	3,321129	0,757	3,710948316
0,793	2,646001	0,529	1,64608786
0,843	3,218658	0,426	1,961447392
0,894	3,329278	0,354	1,743897539
0,944	2,787137	0,296	1,021941297
0,994	1,804593	0,247	0,357497635
1,045	0,857651	0,207	0,06767202
1,095	0,881809	0,174	0,060133469
1,145	1,704623	0,147	0,189841543
1,195	1,33249	0,124	0,097851403
1,246	1,270352	0,106	0,076027604
1,296	1,445234	0,091	0,084476381
1,346	1,628588	0,061	0,071906746
1,397	1,707235	0,052	0,067360851
1,447	1,332822	0,045	0,035528307
1,497	1,444768	0,039	0,036180834
1,547	1,539073	0,034	0,035794371
1,598	1,568001	0,029	0,03168899
1,648	1,535772	0,026	0,027254866
1,698	1,474182	0,023	0,022215056
1,749	1,436063	0,02	0,018331342
1,799	1,553626	0,018	0,019310038
1,849	1,516033	0,016	0,016343855
1,899	1,482509	0,014	0,013675409
1,950	1,477326	0,013	0,012609961
2,000	1,496619	0,011	0,010950471

2m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,24	3,158578	0,000	0
0,29	3,369696	0,000	0
0,341	3,631215	0,001	0,00586
0,391	3,92509	0,031	0,212265
0,441	4,22421	0,179	1,419585
0,491	4,493262	0,431	3,867392
0,542	4,679334	0,836	8,135641
0,592	4,737489	1,875	18,70317
0,642	4,612066	2,300	21,74385
0,693	4,27774	1,365	11,10143
0,743	3,717988	0,624	3,833699
0,793	3,110548	0,529	2,274819
0,843	3,731239	0,426	2,635926
0,894	3,72186	0,354	2,179419
0,944	2,927301	0,296	1,127311
0,994	1,730165	0,247	0,328617
1,045	0,708081	0,207	0,046127
1,095	0,884889	0,174	0,060554
1,145	1,698693	0,147	0,188523
1,195	1,304953	0,124	0,093849
1,246	1,224778	0,106	0,070671
1,296	1,406839	0,091	0,080047
1,346	1,613539	0,061	0,070584
1,397	1,718572	0,052	0,068258
1,447	1,304919	0,045	0,034056
1,497	1,426091	0,039	0,035251
1,547	1,545349	0,034	0,036087
1,598	1,591326	0,029	0,032639
1,648	1,56014	0,026	0,028127
1,698	1,483818	0,023	0,022506
1,749	1,428316	0,02	0,018134
1,799	1,569758	0,018	0,019713
1,849	1,524817	0,016	0,016534
1,899	1,474714	0,014	0,013532
1,950	1,463897	0,013	0,012382
2,000	1,487213	0,011	0,010813

180 derajat

4m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,4	3,923662	0,018	0,123160977
0,416	3,970375	0,032	0,224197376
0,432	4,008128	0,079	0,564063064
0,448	4,044554	0,112	0,814285523
0,464	4,070409	0,151	1,111912034
0,48	4,08916	0,243	1,80589286
0,523	4,09484	0,402	2,995832204
0,567	4,021835	0,701	5,03945916
0,61	3,905369	1,403	9,510411381
0,654	3,64646	2,081	12,29794283
0,697	3,239967	1,871	8,729157404
0,741	2,807602	1,296	4,540393941
0,784	1,400732	0,761	0,663609338
0,827	1,671579	0,567	0,704132408
0,871	1,900735	0,44	0,706502205
0,914	1,982978	0,369	0,644881293
0,958	1,779759	0,327	0,460349237
1,001	1,340969	0,28	0,223775772
1,045	2,071269	0,24	0,457616537
1,088	2,081748	0,214	0,412180586
1,131	1,874943	0,184	0,287482601
1,175	1,574529	0,165	0,181803666
1,218	1,313331	0,143	0,109623123
1,262	1,200918	0,124	0,079481461
1,305	1,253193	0,112	0,078175636
1,349	1,389184	0,097	0,083197243
1,392	1,521619	0,085	0,087467809
1,435	1,397358	0,078	0,067690488
1,479	1,360628	0,071	0,058419062
1,522	1,389428	0,062	0,05319629
1,566	1,451069	0,055	0,051470283
1,609	1,517565	0,051	0,052201419
1,653	1,564539	0,043	0,046779866
1,696	1,579626	0,04	0,044359416
1,739	1,565018	0,037	0,040277068
1,783	1,529986	0,034	0,035372948
1,826	1,491961	0,031	0,03066863
1,870	1,53679	0,028	0,029390342
1,913	1,546759	0,025	0,02658293
1,957	1,536225	0,024	0,025173197
2,000	1,512418	0,021	0,021349141

3,5m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,4	3,979067	0,018	0,126663819
0,416	4,030413	0,032	0,231028977
0,432	4,076142	0,079	0,583368888
0,448	4,118567	0,112	0,844360048
0,464	4,150097	0,151	1,155875333
0,48	4,176595	0,243	1,883946238
0,523	4,20643	0,402	3,16133727
0,567	4,158896	0,701	5,388794605
0,61	4,020493	1,403	10,0793804
0,654	3,781643	2,081	13,22667244
0,697	3,43178	1,871	9,793322759
0,741	2,982639	1,296	5,124172618
0,784	1,507454	0,761	0,768581783
0,827	1,778432	0,567	0,797030633
0,871	1,970257	0,44	0,759129922
0,914	2,026101	0,369	0,673233857
0,958	1,830928	0,327	0,487200715
1,001	1,407554	0,28	0,246550347
1,045	1,969759	0,24	0,413861429
1,088	1,984482	0,214	0,374563609
1,131	1,807912	0,184	0,267294429
1,175	1,563513	0,165	0,179268793
1,218	1,359417	0,143	0,117451577
1,262	1,271671	0,124	0,089122798
1,305	1,301475	0,112	0,084315458
1,349	1,399227	0,097	0,0844045
1,392	1,500806	0,085	0,085091395
1,435	1,430407	0,078	0,070930238
1,479	1,401147	0,071	0,061950307
1,522	1,415593	0,062	0,055218674
1,566	1,457851	0,055	0,051952466
1,609	1,505522	0,051	0,051376167
1,653	1,542171	0,043	0,045451809
1,696	1,554447	0,04	0,042956564
1,739	1,547525	0,037	0,039381716
1,783	1,526843	0,034	0,035227791
1,826	1,499172	0,031	0,030965772
1,870	1,521137	0,028	0,028794674
1,913	1,52887	0,025	0,02597161
1,957	1,52312	0,024	0,024745539
2,000	1,510298	0,021	0,021289332

3m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,4	3,901636	0,018	0,121782
0,416	3,946696	0,032	0,221531
0,432	3,984834	0,079	0,557526
0,448	4,01644	0,112	0,803004
0,464	4,042339	0,151	1,09663
0,48	4,059499	0,243	1,779789
0,523	4,056727	0,402	2,940323
0,567	3,975428	0,701	4,923832
0,61	3,80341	1,403	9,020311
0,654	3,64846	2,081	12,31144
0,697	3,173539	1,871	8,374888
0,741	2,763354	1,296	4,398408
0,784	1,407273	0,761	0,669821
0,827	1,761322	0,567	0,781768
0,871	2,066788	0,44	0,835337
0,914	2,087468	0,369	0,714634
0,958	1,772257	0,327	0,456477
1,001	1,271444	0,28	0,201173
1,045	2,113048	0,24	0,476264
1,088	2,078432	0,214	0,410869
1,131	1,851773	0,184	0,280421
1,175	1,552605	0,165	0,176776
1,218	1,303607	0,143	0,108006
1,262	1,201714	0,124	0,079587
1,305	1,258469	0,112	0,078835
1,349	1,392238	0,097	0,083563
1,392	1,52536	0,085	0,087898
1,435	1,392548	0,078	0,067225
1,479	1,354471	0,071	0,057892
1,522	1,379171	0,062	0,052414
1,566	1,440478	0,055	0,050722
1,609	1,510629	0,051	0,051725
1,653	1,561102	0,043	0,046575
1,696	1,582408	0,04	0,044516
1,739	1,571547	0,037	0,040614
1,783	1,537297	0,034	0,035712
1,826	1,493687	0,031	0,03074
1,870	1,540014	0,028	0,029514
1,913	1,551706	0,025	0,026753
1,957	1,54518	0,024	0,025468
2,000	1,530449	0,024	0,024984

2,5m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,4	3,900008	0,018	0,121680515
0,416	3,942606	0,032	0,221072218
0,432	3,980815	0,079	0,556401778
0,448	4,013516	0,112	0,801835749
0,464	4,034991	0,151	1,092646378
0,48	4,05233	0,243	1,773508855
0,523	4,048965	0,402	2,929081692
0,567	3,967963	0,701	4,905358124
0,61	3,794605	1,403	8,978594466
0,654	3,713234	2,081	12,75246672
0,697	3,162361	1,871	8,315993425
0,741	2,743758	1,296	4,336248915
0,784	1,383132	0,761	0,647037541
0,827	1,685976	0,567	0,716313622
0,871	1,953868	0,44	0,746552743
0,914	2,022299	0,369	0,670709538
0,958	1,7721	0,327	0,456395694
1,001	1,306563	0,28	0,21243997
1,045	2,104916	0,24	0,47260495
1,088	2,097013	0,214	0,418247531
1,131	1,883996	0,184	0,290265278
1,175	1,578193	0,165	0,182650856
1,218	1,311052	0,143	0,109242851
1,262	1,194579	0,124	0,078644664
1,305	1,244864	0,112	0,077139944
1,349	1,383101	0,097	0,08247017
1,392	1,523123	0,085	0,087640825
1,435	1,390893	0,078	0,06706555
1,479	1,352422	0,071	0,057716513
1,522	1,378858	0,062	0,052390009
1,566	1,442536	0,055	0,050866667
1,609	1,513631	0,051	0,051931127
1,653	1,566255	0,043	0,046882484
1,696	1,584294	0,04	0,044622012
1,739	1,57079	0,037	0,040574695
1,783	1,534812	0,034	0,035596439
1,826	1,492082	0,031	0,030673591
1,870	1,541288	0,028	0,02956262
1,913	1,551664	0,025	0,026751808
1,957	1,541331	0,024	0,025340798
2,000	1,515771	0,021	0,021443898

2m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,4	3,973398	0,018	0,126303109
0,416	4,028099	0,032	0,230763799
0,432	4,073934	0,079	0,582736879
0,448	4,118356	0,112	0,844273642
0,464	4,154075	0,151	1,158091927
0,48	4,185043	0,243	1,891574881
0,523	4,218418	0,402	3,179381674
0,567	4,167098	0,701	5,410070866
0,61	4,016474	1,403	10,05923729
0,654	3,760102	2,081	13,0764156
0,697	3,39464	1,871	9,5824996
0,741	2,959096	1,296	5,043598024
0,784	1,612432	0,761	0,879356816
0,827	2,028751	0,567	1,037189145
0,871	2,340035	0,44	1,070815767
0,914	2,262719	0,369	0,839663005
0,958	1,828297	0,327	0,485801129
1,001	1,284386	0,28	0,205289516
1,045	2,034396	0,24	0,441468518
1,088	1,972754	0,214	0,370149606
1,131	1,768411	0,184	0,255741756
1,175	1,527167	0,165	0,171030869
1,218	1,336111	0,143	0,113458934
1,262	1,259124	0,124	0,087372731
1,305	1,294831	0,112	0,083456781
1,349	1,395784	0,097	0,08398968
1,392	1,505255	0,085	0,085596641
1,435	1,420748	0,078	0,069975555
1,479	1,377844	0,071	0,05990676
1,522	1,385767	0,062	0,052916329
1,566	1,428657	0,055	0,049892628
1,609	1,488128	0,051	0,050195893
1,653	1,537547	0,043	0,045179641
1,696	1,565491	0,04	0,043569126
1,739	1,564955	0,037	0,040273822
1,783	1,541945	0,034	0,035928095
1,826	1,507152	0,031	0,031296318
1,870	1,529407	0,028	0,029108637
1,913	1,549013	0,025	0,026660468
1,957	1,549539	0,024	0,025611428
2,000	1,531413	0,021	0,02188878

45 derajat
4m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,185	2,189716	0,002	0,004262093
0,207	2,217805	0,002	0,004372141
0,228	2,233825	0,002	0,004435531
0,249	2,238439	0,002	0,004453874
0,269	2,23836	0,003	0,006680338
0,289	2,23839	0,007	0,015587886
0,309	2,234845	0,030	0,066593739
0,327	2,23729	0,265	0,589532897
0,346	2,251079	0,515	1,15986123
0,364	2,269453	0,839	1,920533167
0,381	2,302412	1,287	3,032230424
0,398	2,343159	2,146	5,236613658
0,415	2,39067	3,877	9,848106158
0,431	2,39646	5,36	13,68115113
0,446	2,476522	4,584	12,4952988
0,461	2,499399	3,013	8,365422922
0,476	2,496292	1,985	5,497544546
0,490	2,460427	1,516	4,07884876
0,503	2,383961	1,299	3,281141638
0,517	2,263675	1,156	2,632713534
0,529	2,100885	1,03	2,020501114
0,542	1,903011	1,03	1,65781951
0,553	1,682617	0,914	1,150096122
0,565	1,533747	0,817	0,854175086
0,575	1,712736	0,712	0,928278154
0,586	1,822295	0,712	1,050835206
0,595	1,850992	0,629	0,957805269
0,605	1,804269	0,629	0,910061591
0,614	1,703474	0,558	0,719652448
0,622	1,572895	0,558	0,613551897
0,630	1,454445	0,502	0,47197158
0,638	1,38387	0,502	0,427279055
0,645	1,375357	0,464	0,390091395
0,651	1,418082	0,464	0,414703916
0,657	1,479836	0,466	0,453555538
0,663	1,462454	0,461	0,438210432
0,668	1,422907	0,461	0,414831164
0,672	1,404927	0,461	0,404413802
0,677	1,40621	0,461	0,405152941
0,680	1,429741	0,461	0,418825729
0,683	1,469476	0,461	0,442428588

3,5m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,185	2,226471	0,002	0,004406377
0,207	2,270694	0,002	0,004583157
0,228	2,302245	0,002	0,004711407
0,249	2,325114	0,002	0,004805472
0,269	2,340722	0,003	0,007305304
0,289	2,356478	0,007	0,017275962
0,309	2,368274	0,030	0,074782961
0,327	2,384928	0,265	0,669905824
0,346	2,408097	0,515	1,327310412
0,364	2,439165	0,839	2,218512109
0,381	2,480164	1,287	3,518493607
0,398	2,532301	2,146	6,116143751
0,415	2,589587	3,877	11,55511505
0,431	2,646874	5,36	16,68970856
0,446	2,698292	4,584	14,8333733
0,461	2,73282	3,013	10,00089015
0,476	2,744454	1,985	6,644920202
0,490	2,720073	1,516	4,98514381
0,503	2,652828	1,299	4,062981994
0,517	2,537147	1,156	3,307245759
0,529	2,370198	1,03	2,571720961
0,542	2,153345	1,03	2,122667814
0,553	1,899837	0,914	1,466210798
0,565	1,633061	0,817	0,968376893
0,575	1,612677	0,712	0,822985437
0,586	1,788623	0,712	1,012360079
0,595	1,86661	0,629	0,974037151
0,605	1,847558	0,629	0,954254233
0,614	1,739334	0,558	0,750270291
0,622	1,573358	0,558	0,613912974
0,630	1,395853	0,502	0,434710988
0,638	1,270405	0,502	0,360085395
0,645	1,246337	0,464	0,320336359
0,651	1,320513	0,464	0,359601024
0,657	1,439528	0,466	0,4291842
0,663	1,456543	0,461	0,434675401
0,668	1,398345	0,461	0,400633174
0,672	1,402385	0,461	0,402951508
0,677	1,454398	0,461	0,433396285
0,680	1,515392	0,461	0,470509634
0,683	1,564033	0,461	0,501198767

3m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,185	2,15245	0,002	0,004118259
0,207	2,168777	0,002	0,004180972
0,228	2,174934	0,002	0,004204744
0,249	2,172619	0,002	0,004195799
0,269	2,165397	0,003	0,006251925
0,289	2,159226	0,007	0,014504798
0,309	2,159667	0,030	0,062188809
0,327	2,162967	0,265	0,551014629
0,346	2,181243	0,515	1,089012741
0,364	2,207492	0,839	1,817096127
0,381	2,244849	1,287	2,882506476
0,398	2,291481	2,146	5,008176347
0,415	2,344733	3,877	9,473276815
0,431	2,393803	5,36	13,65083409
0,446	2,433275	4,584	12,06269582
0,461	2,453485	3,013	8,060900322
0,476	2,444787	1,985	5,273027885
0,490	2,400375	1,516	3,882172955
0,503	2,314713	1,299	3,093291359
0,517	2,18653	1,156	2,456327927
0,529	2,018175	1,03	1,864542202
0,542	1,819345	1,03	1,515252177
0,553	1,606039	0,914	1,047794131
0,565	1,593709	0,817	0,922269109
0,575	1,745139	0,712	0,963735278
0,586	1,824283	0,712	1,0531297
0,595	1,82652	0,629	0,932646853
0,605	1,759882	0,629	0,865834731
0,614	1,649081	0,558	0,674428482
0,622	1,522513	0,558	0,574875566
0,630	1,422181	0,502	0,451264547
0,638	1,375662	0,502	0,422225797
0,645	1,390868	0,464	0,398939461
0,651	1,44397	0,464	0,429983342
0,657	1,493749	0,466	0,462124415
0,663	1,445251	0,461	0,427961883
0,668	1,419434	0,461	0,412808544
0,672	1,417889	0,461	0,411910706
0,677	1,429892	0,461	0,41891386
0,680	1,456902	0,461	0,434889805
0,683	1,491945	0,461	0,456062381

2,5m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,185	2,156946	0,002	0,004135482
0,207	2,176662	0,002	0,004211427
0,228	2,183044	0,002	0,004236163
0,249	2,18488	0,002	0,004243288
0,269	2,180353	0,003	0,006338584
0,289	2,173831	0,007	0,014701686
0,309	2,170082	0,030	0,062790082
0,327	2,174573	0,265	0,556943954
0,346	2,187993	0,515	1,095763242
0,364	2,212452	0,839	1,825269904
0,381	2,249319	1,287	2,893997276
0,398	2,29208	2,146	5,010796834
0,415	2,340618	3,877	9,440054359
0,431	2,451976	5,36	14,32236528
0,446	2,427595	4,584	12,00644658
0,461	2,44416	3,013	7,999741563
0,476	2,43547	1,985	5,232915138
0,490	2,393245	1,516	3,859144423
0,503	2,309629	1,299	3,079718938
0,517	2,183218	1,156	2,448891061
0,529	2,018154	1,03	1,864503992
0,542	1,821133	1,03	1,518231158
0,553	1,609772	0,914	1,052670054
0,565	1,587786	0,817	0,915426322
0,575	1,741698	0,712	0,959938493
0,586	1,824077	0,712	1,052891419
0,595	1,829035	0,629	0,935216011
0,605	1,769048	0,629	0,874878124
0,614	1,664091	0,558	0,686761579
0,622	1,54495	0,558	0,591943864
0,630	1,44644	0,502	0,466790522
0,638	1,396358	0,502	0,435025774
0,645	1,400246	0,464	0,404337452
0,651	1,442184	0,464	0,428920577
0,657	1,505161	0,466	0,469212175
0,663	1,460788	0,461	0,437212602
0,668	1,431299	0,461	0,419738643
0,672	1,414962	0,461	0,410211855
0,677	1,414995	0,461	0,410230871
0,680	1,431359	0,461	0,419774176
0,683	1,466284	0,461	0,440508922

2m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,185	2,263658	0,002	0,004554799
0,207	2,310726	0,002	0,004746182
0,228	2,339595	0,002	0,004865516
0,249	2,36108	0,002	0,004955289
0,269	2,375749	0,003	0,007525576
0,289	2,386926	0,007	0,017725296
0,309	2,396373	0,030	0,076568052
0,327	2,409446	0,265	0,683750458
0,346	2,429591	0,515	1,351110513
0,364	2,457444	0,839	2,251886869
0,381	2,4969	1,287	3,56614084
0,398	2,54598	2,146	6,182400505
0,415	2,599265	3,877	11,64164803
0,431	2,656254	5,36	16,8082099
0,446	2,699722	4,584	14,84910475
0,461	2,731022	3,013	9,987734307
0,476	2,73023	1,985	6,57622125
0,490	2,69546	1,516	4,895336665
0,503	2,613372	1,299	3,943021324
0,517	2,476718	1,156	3,15158076
0,529	2,289994	1,03	2,400620764
0,542	2,053126	1,03	1,929681929
0,553	1,781265	0,914	1,288904732
0,565	1,501979	0,817	0,819157606
0,575	1,736541	0,712	0,954261723
0,586	1,886518	0,712	1,126210154
0,595	1,932577	0,629	1,04409876
0,605	1,871188	0,629	0,978819838
0,614	1,720682	0,558	0,734264758
0,622	1,521825	0,558	0,574356019
0,630	1,334607	0,502	0,397399963
0,638	1,230295	0,502	0,337706656
0,645	1,254783	0,464	0,324692623
0,651	1,372905	0,464	0,388701843
0,657	1,497121	0,466	0,464212661
0,663	1,392678	0,461	0,397392375
0,668	1,358403	0,461	0,378072893
0,672	1,401245	0,461	0,402296608
0,677	1,483163	0,461	0,45070887
0,680	1,561468	0,461	0,499556485
0,683	1,60231	0,461	0,526031051

90 derajat
4m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,2	0,921899	0,000	0
0,32	1,371008	0,016	0,0133665
0,439	1,687823	0,708	0,896406042
0,559	2,053803	2,701	5,063603255
0,679	2,33325	0,665	2,205972008
0,798	3,702857	0,362	1,609021058
0,918	2,902284	0,200	0,748733646
1,037	1,270292	0,115	0,08247498
1,157	0,951701	0,068	0,027373336
1,276	1,206065	0,043	0,027798866
1,396	1,347823	0,028	0,022606913
1,516	1,45298	0,018	0,016889209
1,635	1,487682	0,013	0,012787359
1,755	1,493212	0,009	0,008918728
1,874	1,456187	0,006	0,005654612
1,994	1,493258	0,005	0,004955156
2,113	1,470988	0,004	0,003846764
2,233	1,498558	0,003	0,002994234
2,352	1,49511	0,002	0,001986981
2,471	1,48384	0,002	0,00195714
2,591	1,49561	0,001	0,000994155
2,710	1,492887	0,001	0,000990538
2,830	1,495214	0,001	0,000993629
2,949	1,489083	0,001	0,000985497
3,068	1,497765	0,001	0,000997022

3,5m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,2	1,023039	0,000	0
0,32	1,42092	0,016	0,014357433
0,439	1,633252	0,708	0,83937687
0,559	2,234569	2,701	5,994177583
0,679	1,771571	0,665	1,89034089
0,798	3,427733	0,362	0,927590585
0,918	1,880529	0,200	0,314345694
1,037	1,186284	0,115	0,071927133
1,157	1,106571	0,068	0,037007064
1,276	1,26785	0,043	0,030720027
1,396	1,382175	0,028	0,023773965
1,516	1,457904	0,018	0,017003863
1,635	1,470766	0,013	0,012498221
1,755	1,478008	0,009	0,008738025
1,874	1,451673	0,006	0,005619612
1,994	1,476774	0,005	0,004846358
2,113	1,469309	0,004	0,003837989
2,233	1,492765	0,003	0,00297113
2,352	1,48559	0,002	0,001961757
2,471	1,473932	0,002	0,00193109
2,591	1,479225	0,001	0,000972492
2,710	1,487378	0,001	0,000983241
2,830	1,474745	0,001	0,00096661
2,949	1,482266	0,001	0,000976495
3,068	1,486325	0,001	0,00098185

3m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,2	0,846286	0,000	0
0,32	1,370316	0,016	0,013353001
0,439	1,797754	0,708	1,016977817
0,559	2,075021	2,701	5,16876606
0,679	2,562247	0,665	2,311190375
0,798	3,790136	0,362	1,94035447
0,918	3,354664	0,200	1,00033541
1,037	1,291809	0,115	0,085292658
1,157	0,887791	0,068	0,023820316
1,276	1,155691	0,043	0,025525216
1,396	1,347932	0,028	0,022610571
1,516	1,464851	0,018	0,017166297
1,635	1,498631	0,013	0,012976274
1,755	1,48585	0,009	0,008831006
1,874	1,472483	0,006	0,005781882
1,994	1,492465	0,005	0,004949893
2,113	1,485994	0,004	0,003925652
2,233	1,493135	0,003	0,002972602
2,352	1,487078	0,002	0,001965689
2,471	1,486603	0,002	0,001964435
2,591	1,498508	0,001	0,000998012
2,710	1,493416	0,001	0,00099124
2,830	1,49667	0,001	0,000995566
2,949	1,491084	0,001	0,000988147
3,068	1,498596	0,001	0,000998128

2,5m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,2	0,977602	0,000	0
0,32	1,384835	0,016	0,013637471
0,439	1,652295	0,708	0,859064464
0,559	2,1334	2,701	5,463697514
0,679	2,315299	0,665	2,395381849
0,798	3,858552	0,362	1,584358429
0,918	2,441138	0,200	0,529702568
1,037	1,15808	0,115	0,068547685
1,157	1,007259	0,068	0,030662568
1,276	1,252059	0,043	0,029959562
1,396	1,377234	0,028	0,023604299
1,516	1,461385	0,018	0,01708516
1,635	1,475522	0,013	0,012579174
1,755	1,494085	0,009	0,008929154
1,874	1,452068	0,006	0,005622673
1,994	1,491684	0,005	0,004944714
2,113	1,470335	0,004	0,003843353
2,233	1,498247	0,003	0,002992992
2,352	1,490355	0,002	0,001974364
2,471	1,479574	0,002	0,001945903
2,591	1,486113	0,001	0,00098157
2,710	1,48597	0,001	0,000981381
2,830	1,483558	0,001	0,000978197
2,949	1,481855	0,001	0,000975954
3,068	1,495143	0,001	0,000993534

2m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,2	0,87022	0,000	0
0,32	1,43815	0,016	0,014707745
0,439	1,881455	0,708	1,11387968
0,559	2,298946	2,701	6,34453221
0,679	2,822094	0,665	2,965552297
0,798	4,293285	0,362	2,353868146
0,918	1,909525	0,200	0,324114379
1,037	1,035075	0,115	0,054759473
1,157	1,010533	0,068	0,030862243
1,276	1,313748	0,043	0,032984527
1,396	1,428709	0,028	0,025401722
1,516	1,458095	0,018	0,017008328
1,635	1,458089	0,013	0,012283695
1,755	1,473886	0,009	0,008689365
1,874	1,44161	0,006	0,005541971
1,994	1,462677	0,005	0,004754277
2,113	1,464053	0,004	0,003810581
2,233	1,485153	0,003	0,002940905
2,352	1,482563	0,002	0,001953771
2,471	1,467071	0,002	0,001913154
2,591	1,469821	0,001	0,000960166
2,710	1,493467	0,001	0,000991308
2,830	1,465961	0,001	0,00095513
2,949	1,491465	0,001	0,000988652
3,068	1,475379	0,001	0,000967441

0 derajat

4m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,384	3,373754	0,022	0,111292784
0,394	3,317476	0,053	0,25924412
0,403	3,194736	0,169	0,7666095
0,411	3,010616	0,434	1,748307415
0,419	2,766797	0,861	2,929376435
0,427	2,486362	1,485	4,080117754
0,434	2,196841	2,836	6,083044914
0,441	1,941444	6,011	15,01824306
0,447	1,224441	6,87	11,5405008
0,453	1,282162	4,227	3,088415455
0,458	1,237283	2,623	1,784652836
0,463	1,110864	2,191	1,201659435
0,468	0,950452	2,08	0,835104748
0,472	0,83286	2,158	0,66529308

3,5m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,384	3,373754	0,022	0,111292784
0,394	3,317476	0,053	0,25924412
0,403	3,194736	0,169	0,7666095
0,411	3,010616	0,434	1,748307415
0,419	2,766797	0,861	2,929376435
0,427	2,486362	1,485	4,080117754
0,434	2,196841	2,836	6,083044914
0,441	1,941444	6,011	15,01824306
0,447	1,224441	6,87	11,5405008
0,453	1,282162	4,227	3,088415455
0,458	1,237283	2,623	1,784652836
0,463	1,110864	2,191	1,201659435
0,468	0,950452	2,08	0,835104748
0,472	0,83286	2,158	0,66529308

3m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,384	3,467112	0,022	0,117537353
0,394	3,425194	0,053	0,276352738
0,403	3,322081	0,169	0,828942918
0,411	3,151792	0,434	1,916118362
0,419	2,917891	0,861	3,258058366
0,427	2,639953	1,485	4,599772308
0,434	2,337163	2,836	6,884964592
0,441	2,052172	6,011	14,82120248
0,447	1,834463	6,87	12,3360468
0,453	1,268754	4,227	3,024160062
0,458	1,26187	2,623	1,856286167
0,463	1,167309	2,191	1,326879553
0,468	1,019022	2,08	0,959948894
0,472	0,880963	2,158	0,744362117

2,5m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,384	3,373754	0,022	0,111292784
0,394	3,317476	0,053	0,25924412
0,403	3,194736	0,169	0,7666095
0,411	3,010616	0,434	1,748307415
0,419	2,766797	0,861	2,929376435
0,427	2,486362	1,485	4,080117754
0,434	2,196841	2,836	6,083044914
0,441	1,941444	6,011	15,01824306
0,447	1,224441	6,87	11,5405008
0,453	1,282162	4,227	3,088415455
0,458	1,237283	2,623	1,784652836
0,463	1,110864	2,191	1,201659435
0,468	0,950452	2,08	0,835104748
0,472	0,83286	2,158	0,66529308

2m

we	sb	wave spectrum	rbm spectrum
0,384	3,738643	0,022	0,136668429
0,394	3,72943	0,053	0,327625911
0,403	3,655348	0,169	1,0036025
0,411	3,505286	0,434	2,370031383
0,419	3,285113	0,861	4,129726965
0,427	2,999872	1,485	5,939491888
0,434	2,665994	2,836	8,958639582
0,441	2,315294	6,011	14,32110617
0,447	1,992908	6,87	12,12687273
0,453	1,763636	4,227	5,843429026
0,458	1,319818	2,623	2,030691413
0,463	1,271481	2,191	1,574272383
0,468	1,137561	2,08	1,196272606
0,472	0,964939	2,158	0,893035028

LAMPIRAN C PERHITUNGAN EFFECTIVE FREEBOARD

Speed=	kecepatan	6,71	knot
L=	Panjang kapal	142,2	m
b=	Lebar kapal	23,25	m
k1=		0,75	
fn =	<i>Froude number</i>	0,17965	
E =	<i>Length of entrance</i>	49,77	m
K1' =		0,35036	
hs(l) =	<i>Static swell up</i>	1,60802	
f(l)=		7,85	m
f'(l)=		6,24198	m

LAMPIRAN D VERTICAL ACCELERATION

135 derajat

we	acceleration 4m	acceleration 3,5m	acceleration 3m	acceleration 2,5m	acceleration 2m
0,24	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,29	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,341	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,391	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005
0,441	0,039	0,052	0,053	0,053	0,054
0,491	0,164	0,214	0,214	0,215	0,225
0,542	0,523	0,650	0,658	0,673	0,702
0,592	1,747	2,069	2,019	2,091	2,297
0,642	2,909	3,262	3,130	3,271	3,694
0,693	2,109	2,224	2,093	2,092	2,560
0,743	1,241	1,010	0,932	1,131	1,168
0,793	0,768	0,596	0,601	0,651	0,900
0,843	0,744	0,893	0,913	0,991	1,331
0,894	1,023	1,116	1,089	1,114	1,392
0,944	0,982	0,955	0,857	0,812	0,895
0,994	0,572	0,496	0,406	0,349	0,321
1,045	0,189	0,134	0,102	0,081	0,055
1,095	0,074	0,063	0,076	0,086	0,087
1,145	0,149	0,381	0,347	0,326	0,324
1,195	0,266	0,230	0,209	0,200	0,191
1,246	0,207	0,189	0,184	0,183	0,170
1,296	0,220	0,231	0,237	0,238	0,226
1,346	0,207	0,228	0,236	0,236	0,232
1,397	0,234	0,252	0,258	0,257	0,260
1,447	0,242	0,154	0,155	0,156	0,149
1,497	0,226	0,177	0,180	0,182	0,177
1,547	0,187	0,200	0,204	0,205	0,207
1,598	0,196	0,203	0,207	0,207	0,213
1,648	0,200	0,201	0,200	0,201	0,207
1,698	0,192	0,187	0,185	0,185	0,187
1,749	0,179	0,174	0,172	0,172	0,170
1,799	0,176	0,202	0,203	0,202	0,206
1,849	0,178	0,192	0,191	0,191	0,193
1,899	0,184	0,180	0,178	0,178	0,176
1,950	0,185	0,183	0,183	0,182	0,179
2,000	0,173	0,174	0,175	0,175	0,173

180 derajat

we	acceleration 4m	acceleration 3,5m	acceleration 3m	acceleration 2,5m	acceleration 2m
0,4	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
0,416	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
0,432	0,020	0,020	0,019	0,019	0,020
0,448	0,034	0,033	0,032	0,032	0,034
0,464	0,054	0,052	0,051	0,051	0,054
0,48	0,100	0,096	0,094	0,094	0,100
0,523	0,237	0,224	0,219	0,220	0,238
0,567	0,557	0,521	0,507	0,509	0,559
0,61	1,396	1,317	1,243	1,249	1,393
0,654	2,420	2,250	2,333	2,252	2,392
0,697	2,311	2,060	1,963	1,977	2,262
0,741	1,545	1,369	1,307	1,326	1,521
0,784	0,290	0,251	0,244	0,253	0,332
0,827	0,373	0,329	0,335	0,366	0,485
0,871	0,437	0,407	0,430	0,481	0,616
0,914	0,470	0,450	0,468	0,499	0,586
0,958	0,410	0,388	0,384	0,384	0,409
1,001	0,248	0,225	0,213	0,202	0,206
1,045	0,494	0,546	0,564	0,568	0,526
1,088	0,525	0,578	0,586	0,576	0,519
1,131	0,437	0,470	0,475	0,459	0,418
1,175	0,342	0,347	0,348	0,337	0,326
1,218	0,258	0,241	0,240	0,238	0,250
1,262	0,226	0,202	0,199	0,202	0,222
1,305	0,245	0,227	0,224	0,229	0,242
1,349	0,280	0,276	0,273	0,277	0,278
1,392	0,319	0,328	0,329	0,330	0,321
1,435	0,301	0,287	0,284	0,285	0,297
1,479	0,296	0,280	0,276	0,277	0,287
1,522	0,296	0,285	0,281	0,281	0,284
1,566	0,312	0,310	0,306	0,305	0,300
1,609	0,344	0,350	0,348	0,347	0,336
1,653	0,339	0,349	0,350	0,348	0,337
1,696	0,355	0,367	0,369	0,368	0,360
1,739	0,360	0,368	0,371	0,371	0,368
1,783	0,356	0,358	0,360	0,361	0,363
1,826	0,344	0,341	0,341	0,342	0,348
1,870	0,352	0,359	0,362	0,361	0,356
1,913	0,348	0,356	0,358	0,358	0,357
1,957	0,363	0,369	0,372	0,374	0,376
2,000	0,341	0,342	0,343	0,400	0,350

45 derajat

we	acceleration 4m	acceleration 3,5m	acceleration 3m	acceleration 2,5m	acceleration 2m
0,185	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,207	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,228	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,249	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,269	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,289	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,309	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
0,327	0,008	0,007	0,006	0,006	0,008
0,346	0,019	0,017	0,016	0,016	0,019
0,364	0,039	0,034	0,032	0,032	0,040
0,381	0,074	0,064	0,061	0,061	0,075
0,398	0,153	0,131	0,126	0,126	0,155
0,415	0,343	0,292	0,280	0,281	0,345
0,431	0,576	0,472	0,494	0,471	0,580
0,446	0,587	0,494	0,475	0,477	0,588
0,461	0,452	0,378	0,361	0,364	0,451
0,476	0,341	0,282	0,269	0,271	0,338
0,490	0,287	0,235	0,222	0,224	0,282
0,503	0,260	0,210	0,197	0,198	0,252
0,517	0,236	0,188	0,175	0,175	0,225
0,529	0,201	0,158	0,146	0,146	0,188
0,542	0,183	0,143	0,131	0,131	0,167
0,553	0,137	0,108	0,098	0,098	0,121
0,565	0,099	0,087	0,093	0,094	0,083
0,575	0,090	0,101	0,105	0,105	0,104
0,586	0,119	0,124	0,124	0,124	0,133
0,595	0,122	0,120	0,117	0,117	0,131
0,605	0,128	0,122	0,117	0,116	0,131
0,614	0,107	0,102	0,098	0,096	0,104
0,622	0,092	0,092	0,089	0,086	0,086
0,630	0,068	0,074	0,074	0,071	0,063
0,638	0,060	0,071	0,072	0,070	0,056
0,645	0,055	0,068	0,070	0,069	0,056
0,651	0,065	0,074	0,077	0,077	0,070
0,657	0,080	0,085	0,087	0,086	0,086
0,663	0,084	0,085	0,084	0,083	0,077
0,668	0,080	0,083	0,084	0,082	0,075
0,672	0,082	0,082	0,084	0,084	0,082
0,677	0,091	0,085	0,086	0,088	0,095
0,680	0,101	0,090	0,090	0,093	0,107
0,683	0,109	0,096	0,096	0,099	0,114

90 derajat

we	acceleration 4m	acceleration 3,5m	acceleration 3m	acceleration 2,5m	acceleration 2m
0,2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,32	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,439	0,031	0,033	0,032	0,038	0,041
0,559	0,585	0,494	0,533	0,505	0,620
0,679	0,197	0,342	0,337	0,412	0,500
0,798	0,767	0,895	0,971	0,937	1,203
0,918	0,223	0,532	0,376	0,710	0,230
1,037	0,083	0,095	0,079	0,099	0,063
1,157	0,066	0,049	0,055	0,043	0,055
1,276	0,081	0,074	0,079	0,068	0,087
1,396	0,090	0,086	0,090	0,086	0,096
1,516	0,090	0,089	0,090	0,091	0,090
1,635	0,089	0,091	0,090	0,093	0,088
1,755	0,083	0,085	0,085	0,084	0,082
1,874	0,069	0,070	0,069	0,071	0,068
1,994	0,077	0,078	0,078	0,078	0,075
2,113	0,077	0,077	0,077	0,078	0,076
2,233	0,074	0,074	0,074	0,074	0,073
2,352	0,060	0,061	0,060	0,060	0,060
2,471	0,072	0,073	0,073	0,073	0,071
2,591	0,044	0,045	0,044	0,045	0,043
2,710	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053
2,830	0,062	0,064	0,063	0,064	0,061
2,949	0,074	0,075	0,074	0,075	0,075
3,068	0,087	0,088	0,088	0,088	0,086

0 derajat

we	acceleration 4m	acceleration 3,5m	acceleration 3m	acceleration 2,5m	acceleration 2m
0,384	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003
0,394	0,006	0,006	0,006	0,007	0,008
0,403	0,020	0,020	0,020	0,022	0,026
0,411	0,050	0,050	0,050	0,055	0,068
0,419	0,090	0,090	0,090	0,100	0,127
0,427	0,136	0,136	0,136	0,153	0,197
0,434	0,216	0,216	0,216	0,244	0,318
0,441	0,568	0,568	0,568	0,561	0,542
0,447	0,461	0,461	0,461	0,492	0,484
0,453	0,130	0,130	0,130	0,127	0,246
0,458	0,079	0,079	0,079	0,082	0,089
0,463	0,055	0,055	0,055	0,061	0,072
0,468	0,040	0,040	0,040	0,046	0,057
0,472	0,033	0,033	0,033	0,037	0,044

BIODATA PENULIS



Trevin Andrian, itulah nama lengkap penulis. Penulis lahir di Surabaya pada 12 Juni 1997. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dan mempunyai satu adik perempuan dan satu adik laki-laki. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK. Taman Harapan, Sidoarjo. Kemudian melanjutkan bersekolah di SDK Santa Maria, Surabaya, lalu melanjutkan ke SMPK Santa Maria Surabaya dan SMAK St. Louis 1 Surabaya. Setelah lulus SMA penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2015 melalui jalur SBMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan penulis mengambil bidang studi Rekayasa Perkapalan - Hidrodinamika. Selama masa studi di ITS, selain menempuh aktivitas akademik, penulis juga aktif di bidang ekstrakurikuler dan beberapa kegiatan himpunan. Penulis tercatat aktif sebagai anggota IFLS (International Foreign Language Society) pada periode 2015-2016, staff himpunan, dan juga staff khusus untuk bagian KWU atau Kewirausahaan dari teknik perkapalan pada tahun 2016/2017. Selain itu penulis juga memiliki beberapa bisnis yang dijalankan di luar perkuliahan, seperti berjualan online dan investasi.

Email : trevin.andrian@gmail.com