



TUGAS AKHIR - MO091336

Analisa Respon Gerak dan Operabilitas Pada Desain Kapal Survei Seismik *Geomarin-IV*

YONNY AHMAD ISMAIL

NRP. 4312 100 002

Dosen Pembimbing :

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.

Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016



FINAL PROJECT - M0091336

**RESPONSE ANALYSIS ON MOTION AND
OPERABILITY OF SEISMIC SURVEY VESSEL DESIGN
*GEOMARIN-IV***

YONNY AHMAD ISMAIL

REG. 4312 100 002

Supervisors :

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.

Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016

**ANALISA RESPON GERAK DAN OPERABILITAS PADA DESAIN
KAPAL SURVEI SEISMIC GEOMARIN-IV**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

YONNY AHMAD ISMAIL

NRP. 4312100113

Disetujui oleh :

1. Prof. Ir. Eko Budi Diatmiko, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Ir. Mar Murtejo, M.P. (Pembimbing 2)

3. Dr.Eng Rudi Walujo Prastanto, S.T., M.T. (Penguji 1)

4. Ir. Joswan Joesoef Soedjono, M.Sc. (Penguji 2)

5. Agro Wisudawan, S.T., M.T. (Penguji 3)

6. Sujantoko, S.T., M.T. (Penguji 4)

SURABAYA, JULI 2016

ANALISA RESPON GERAK DAN OPERABILITAS PADA DESAIN KAPAL SURVEI SEISMIK *GEOMARIN-IV*

Nama Mahasiswa : Yonny Ahmad Ismail
NRP : 4312100002
Jurusan : Teknik Kelautan FTK - ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.
Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.

ABSTRAK

Pemerintah RI tengah merencanakan pembangunan kapal survei seismik baru melalui Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (P3GL). Dalam rangka menjamin keamanan dan keselamatan desain kapal baru *Geomarin-IV* milik P3GL, diperlukan analisa *seakeeping* dan mengevaluasi operabilitas kapal untuk mengetahui batasan kapal mampu beroperasi dengan optimal. Analisa diawali dengan melakukan komputasi *Response Amplitude Operator* (RAO) kapal tersebut untuk 3 (tiga) mode gerakan vertikal, yaitu *heave*, *roll*, dan *pitch*. Selanjutnya RAO tersebut diproses dalam analisis spektra untuk mendapatkan respons spektra di atas gelombang acak dengan variasi tinggi signifikan H_s antara 1,0 m hingga 7,0 m. Hasil komputasi respons spektra dengan variasi H_s dan kondisi pembebanan dikorelasikan terhadap kriteria *seakeeping*. Hasil korelasi untuk kriteria operasi umum menunjukkan batas tinggi gelombang signifikan maksimal mengacu pada Nordforsk, BV dan Olson, masing-masing sebesar 1,3 m, 1,6 m dan 3,2 m. Sedangkan untuk operabilitas dengan kriteria helikopter atau transfer barang dan personil didapatkan batas tinggi gelombang signifikan maksimal sebesar 1,2 m. Peluang kapal mampu dioperasikan dengan optimal (*operable*) menggunakan data sebaran gelombang laut Natuna, berdasarkan kriteria umum Olson diperoleh sebesar 97,31% tanpa operasi survei seismik dengan *down time* 2,69%. Dalam hal survei seismik peluang *seakeeping operable* kapal sebesar 99,97% dengan kriteria umum Olson, sedangkan bila mengacu pada kriteria Nordforsk dan BV operabilitas hanya mencapai 67,95%, atau *down time* sebesar 32,05%.

Kata kunci: *seismic survei vessel, RAOs, spectral responses, operability*

RESPONSE ANALYSIS ON MOTION AND OPERABILITY OF SEISMIC SURVEY VESSEL DESIGN *GEOMARIN-IV*

Name : Yonny Ahmad Ismail
NRP : 4312100002
Department : Ocean Engineering FTK - ITS
Supervisors : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.
Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.

ABSTRACT

The Government of Republic of Indonesia is planning to build a new seismic survey vessel through the Ocean Geology R&D Center (P3GL). In view of assuring the safety of the new vessel *Geomarin IV*, seakeeping analysis and operability evaluation are required to find out the limit where the vessel is capable of to operate optimally. Analysis is started by performing a computation to derive the vessel's *Response Amplitude Operators* (RAOs) in three (3) vertical mode of motions, namely heave, roll, and pitch. Further the RAOs are processed in a spectral analysis to obtain the spectral responses in random wave at significant wave height H_s variations ranging from 1.0 m up to 7.0 m. Results of the spectral responses for variations of H_s and load conditions are then correlated to the seakeeping criteria. The correlation exhibits the maximum significant wave height for operation may be limited to 1.3 m, 1.6 m, and 3.2 m, respectively, when the criteria from Nordforsk, BV, and Olson are considered. Whereas the operability related to the helicopter or good and personnel transfer criteria is found to be limited at maximum significant wave height of 1.2 m. The probability of the vessel to be operated optimally or operable without seismic survey activity at the forward speed $V = 15.0$ knots under the general criteria from Olson, with the reference to the wave scatter diagram for Natuna Sea, may reach as high as 97.31% or only 2.69% down time, In case the survey activity is performed at the forward speed $V = 5.0$ knots, in accordance to Olson's criteria, the vessel may attain 99.97% operability, whereas by referring to Nordfosk and BV the operability is much lower in the order of 67.95%, or a down time of 32.05%.

Keywords: seismic survei vessel, RAOs, spectral responses, operability

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah SWT. yang maha pengasih dan penyayang. Segala puji dan rasa syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT. atas kuasa dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisa Respon Gerak dan Operabilitas Pada Desain Kapal Survei Seismik *Geomarin-IV*”.

Penyusunan Tugas Akhir ini merupakan sebagai salah satu upaya memenuhi syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata-1 (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat berguna untuk dapat menambah pengetahuan bagi para pembaca.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis berharap kritik dan saran yang membangun guna menyempurnakan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Juli 2016

Penyusun

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan kali ini, penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada semua pihak yang telah mendukung dan membantu demi terselesaikannya penyusunan Tugas Akhir ini, antara lain kepada:

1. Orang tua penulis atas segala dukungan dan doa sehingga dapat terselesaikannya Tugas Akhir ini.
2. Bapak Prof. Ir. Eko B. Djatmiko, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing pertama dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Mas Murtedjo, M.Eng. selaku dosen pembimbing kedua dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Keluarga besar PT. Citra Mas atas dukungannya dalam mengerjakan Tugas Akhir ini berupa data-data.
5. Bentley, selaku penyedia perangkat lunak dengan lisensi akademik.
6. Siraning yang telah mendukung terselesaikannya Tugas Akhir ini.
7. Seluruh pihak yang tidak bias disebutkan satu persatu yang telah membantu terselesaikannya Tugas Akhir ini.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMAKASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan Laporan	4
BAB II	7
TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Landasan Teori	8
2.2.1 <i>Seismic Research Vessel Geomarin-IV</i>	8
2.2.2 Rencana Garis (<i>Lines Plan</i>)	9
2.2.3 Teori Gerak Kapal	9
2.2.4 Gelombang Sinusoidal	11
2.2.5 Heading (Arah) Kapal terhadap Arah Gelombang	13
2.2.6 Gerakan Heave Murni (<i>Uncouple Heaving Motion</i>)	13
2.2.7 Gerakan Pitch Murni (<i>Uncouple Pitching Motion</i>)	16
2.2.8 Gerakan Roll Murni (<i>Uncouple Rolling Motion</i>)	18
2.2.9 <i>Response Amplitude Operator</i>	21

2.2.10	Spektra Gelombang	22
2.2.11	Respon Spektra Bangunan Apung.....	24
2.2.12	Operabilitas	25
BAB III	27
METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1	Metode Penelitian	27
3.2	Prosedur Penelitian	28
3.3	Pengumpulan Data	30
3.4	Data Lingkungan	32
BAB IV	33
ANALISA DAN PEMBAHASAN	33
4.1	Pemodelan Kapal.....	33
4.1.1	Rencana Garis (<i>Lines Plan</i>).....	33
4.1.2	Hydrostatics Data	34
4.2	Pemodelan Konfigurasi Sistem Survei Seismik.....	36
4.3	Gerakan di Gelombang Reguler	37
4.3.1	Kondisi <i>Light Load</i> Tanpa <i>Streamer</i>	38
4.3.2	Kondisi <i>Full Load</i> Tanpa <i>Streamer</i>	41
4.3.3	Kondisi <i>Light Load</i> dengan Penarikan <i>Streamer</i>	45
4.4	Respon Gerakan Saat Kapal Beroperasi Tanpa <i>Streamer</i> di Gelombang Acak.....	46
4.5	Gerakan Kapal dengan Operasi <i>Streamer</i> di Gelombang Acak	55
4.6	Operabilitas	57
4.7.1.	Operasi Umum <i>Full Load</i> Stasioner	57
4.7.2.	Operasi Helikopter <i>Full Load</i> Stasioner	59
4.7.3.	Operasi Umum <i>Full Load</i> Melaju	60
4.7.4.	Operasi Helikopter <i>Full Load</i> Melaju.....	62
4.7.5.	Operasi Umum <i>Light Load</i> Stasioner.....	63
4.7.6.	Operasi Helikopter <i>Light Load</i> Stasioner	64
4.7.7.	Operasi Umum <i>Light Load</i> Melaju	66
4.7.8.	Operasi Helikopter <i>Light Load</i> Melaju	67
4.7.9.	Operasi Umum Saat Survei Seismik	68

4.7.10. Operasi Helikopter Saat Survei Seismik	70
4.7.11. Operabilitas Di Perairan Natuna	71
BAB V	75
KESIMPULAN DAN SARAN	75
5.1. Kesimpulan	75
5.2. Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kapal <i>Geomarin-III</i> milik P3GL, Kementerian ESDM-RI.....	1
Gambar 2.1 Kapal survei seismik saat beroperasi	8
Gambar 2.2 <i>Six degree of freedom</i> pada Bangunan Apung (Sumber: http2.bp.blogspot.com-6-degrees-of-freedom.gif, 2014).....	10
Gambar 2.3 Gelombang <i>sinusoidal</i> (Bhattacharyya, 1978)	11
Gambar 2.4 Vektor dari <i>simple harmonic motion</i> (Bhattacharyya, 1978)	11
Gambar 2.5 Definisi arah datang gelombang terhadap <i>heading</i> kapal (Bhattacharyya, 1978).....	13
Gambar 2.6 Ilustrasi gerakan <i>heaving</i> (Murtedjo, 1999)	14
Gambar 2.7 Ilustrasi kondisi <i>pitching</i> pada saat <i>still water</i> (Murtedjo, 1999)	16
Gambar 2.8 Ilustrasi kondisi <i>rolling</i> kapal pada saat <i>still water</i> (Murtedjo, 1999)	19
Gambar 2.9 Transformasi Spektra Gelombang menjadi Spektra Respons (Djutmiko, 2012)	24
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> pengerjaan Tugas Akhir	28
Gambar 4.1 Pemodelan kapal <i>Geomarin-IV</i> dengan Maxsurf.....	33
Gambar 4.2 Rencana Garis (<i>Lines Plan</i>) kapal <i>Geomarin-IV</i>	34
Gambar 4.3 Konfigurasi peralatan survei seismik.....	36
Gambar 4.4 Gambar pemodelan 3D kapal dengan perlengkapan survei seismik	37
Gambar 4.5 Grafik <i>RAO heave</i> kecepatan 0 knot <i>Geomarin-IV</i> kondisi <i>Light load</i>	38
Gambar 4.6 Grafik <i>RAO heave</i> kecepatan 15 knot <i>Geomarin-IV</i> kondisi <i>Light</i> <i>load</i>	38
Gambar 4.7 Grafik <i>RAO roll</i> kecepatan 0 knot <i>Geomarin-IV</i> kondisi <i>Light load</i>	39
Gambar 4.8 Grafik <i>RAO roll</i> kecepatan 15 knot <i>Geomarin-IV</i> kondisi <i>Light load</i>	39
Gambar 4.9 Grafik <i>RAO pitch</i> kecepatan 0 knot <i>Geomarin-IV</i> kondisi <i>Light load</i>	40
Gambar 4.10 Grafik <i>RAO pitch</i> kecepatan 0 knot <i>Geomarin-IV</i> kondisi <i>Light</i> <i>load</i>	40
Gambar 4.11 Grafik <i>RAO heave</i> kecepatan 0 knot <i>Geomarin-IV</i> kondisi <i>Full load</i>	41
Gambar 4.12 Grafik <i>RAO heave</i> kecepatan 15 knot <i>Geomarin-IV</i> kondisi <i>Full</i> <i>load</i>	41
Gambar 4.13 Grafik <i>RAO roll</i> kecepatan 0 knot <i>Geomarin-IV</i> kondisi <i>Full load</i>	42
Gambar 4.14 Grafik <i>RAO roll</i> kecepatan 15 knot <i>Geomarin-IV</i> kondisi <i>Full load</i>	42

Gambar 4.15 Grafik <i>RAO pitch</i> kecepatan 0 knot <i>Geomarin-IV</i> kondisi <i>Full load</i>	43
Gambar 4.16 Grafik <i>RAO pitch</i> kecepatan 15 knot <i>Geomarin-IV</i> kondisi <i>Full load</i>	43
Gambar 4.17 Grafik <i>RAO heave</i> kecepatan 5 knot <i>Geomarin-IV</i>	45
Gambar 4.18 Grafik <i>RAO roll</i> kecepatan 5 knot <i>Geomarin-IV</i>	45
Gambar 4.19 Grafik <i>RAO pitch</i> kecepatan 5 knot <i>Geomarin-IV</i>	46
Gambar 4.20 Grafik spektra respon <i>heave full load Geomarin-IV</i> stasioner akibat gelombang arah 90°	47
Gambar 4.21 Grafik spektra respon <i>roll full load Geomarin-IV</i> Stasioner akibat gelombang arah 90°	47
Gambar 4.22 Grafik spektra respon <i>pitch full load Geomarin-IV</i> Stasioner akibat gelombang arah 180°	48
Gambar 4.23 Grafik spektra respon <i>heave full load Geomarin-IV</i> melaju.....	50
Gambar 4.24 Grafik spektra respon <i>roll full load Geomarin-IV</i> melaju.....	50
Gambar 4.25 Grafik spektra respon <i>pitch full load Geomarin-IV</i> melaju.....	51
Gambar 4.26 Grafik respon <i>roll</i> maksimum <i>Geomarin-IV</i> dengan <i>Streamer</i> akibat gelombang <i>Hs</i> 7 m.....	55
Gambar 4.27 Grafik respon <i>heave</i> maksimum <i>Geomarin-IV</i> dengan <i>streamer</i> akibat gelombang <i>Hs</i> 7 m.....	56
Gambar 4.28 Grafik respon <i>pitch</i> maksimum <i>Geomarin-IV</i> dengan <i>streamer</i> akibat gelombang <i>Hs</i> 7 m.....	56
Gambar 4.29 <i>RMS Roll</i> vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Full Load, 0 knots</i>	58
Gambar 4.30 <i>RMS Pitch</i> vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Full Load, 0 knots</i>	58
Gambar 4.31 Percepatan Signifikan <i>heave</i> vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Full Load, 0 knots</i>	58
Gambar 4.32 Double Ampl. Signifikan vertikal vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Full Load, 0 knots</i>	59
Gambar 4.33 Double Ampl. Signifikan <i>Roll</i> vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Full Load, 0 knots</i>	59
Gambar 4.34 Ampl. Signifikan Kecepatan Vertikal vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Full Load, 0 knots</i>	60
Gambar 4.35 <i>RMS Roll</i> vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Full Load, 15 knots</i>	60
Gambar 4.36 <i>RMS Pitch</i> vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Full Load, 15 knots</i>	61
Gambar 4.37 Percepatan Signifikan <i>heave</i> vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Full Load, 15 knots</i>	61
Gambar 4.38 Double Ampl. Signifikan vertikal vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Full Load, 15 knots</i>	62

Gambar 4.39 Double Ampl. Signifikan <i>Roll</i> vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Full Load</i> , 15 <i>knots</i>	62
Gambar 4.40 Ampl. Signifikan Kecepatan Vertikal vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Full Load</i> , 15 <i>knots</i>	62
Gambar 4.41 <i>RMS Roll</i> vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Light Load</i> , 0 <i>knots</i>	63
Gambar 4.42 <i>RMS Pitch</i> vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Light Load</i> , 0 <i>knots</i>	63
Gambar 4.43 Percepatan Signifikan <i>Heave</i> vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Light Load</i> , 0 <i>knots</i>	64
Gambar 4.44 Double Ampl. Signifikan vertikal vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Light Load</i> , 0 <i>knots</i>	64
Gambar 4.45 Double Ampl. Signifikan <i>Roll</i> vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Light Load</i> , 0 <i>knots</i>	65
Gambar 4.46 Ampl. Signifikan Kecepatan Vertikal vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Light Load</i> , 0 <i>knots</i>	65
Gambar 4.47 <i>RMS Roll</i> vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Light Load</i> , 15 <i>knots</i>	66
Gambar 4.48 <i>RMS Pitch</i> vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Light Load</i> , 15 <i>knots</i>	66
Gambar 4.49 Percepatan Signifikan <i>Heave</i> vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Light Load</i> , 15 <i>knots</i>	66
Gambar 4.50 Double Ampl. Signifikan vertikal vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Light Load</i> , 15 <i>knots</i>	67
Gambar 4.51 Double Ampl. Signifikan <i>Roll</i> vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Light Load</i> , 15 <i>knots</i>	67
Gambar 4.52 Ampl. Signifikan Kecepatan Vertikal vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi <i>Light Load</i> , 15 <i>knots</i>	68
Gambar 4.53 <i>RMS Roll</i> vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi Operasi Survei Seismik.....	68
Gambar 4.54 <i>RMS Pitch</i> vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi Operasi Survei Seismik.....	69
Gambar 4.55 Percepatan Signifikan <i>Heave</i> vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi Operasi Survei Seismik.....	69
Gambar 4.56 Double Ampl. Signifikan vertikal vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi Operasi Survei Seismik.....	70
Gambar 4.57 Double Ampl. Signifikan <i>Roll</i> vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi Operasi Survei Seismik.....	70
Gambar 4.58 Ampl. Signifikan Kecepatan Vertikal vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi Operasi Survei Seismik.....	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Menghitung amplitudo dan tinggi Gelombang pada Spektra	23
Tabel 2.2 Batas kriteria <i>seakeeping</i> personil (Bureau Veritas, 2011).....	25
Tabel 2.3 <i>Operability-Limiting Criteria for Accelerations and Roll Motions for Various Type of Work and for Passenger Comfort (NORDFORSK, 1987) [Faltinsen, 2005] [Nocerino, 2010]</i>	25
Tabel 2.4 Kriteria <i>seakeeping</i> umum untuk kapal militer (Olson, 1978).....	26
Tabel 2.5 Kriteria <i>seakeeping</i> kapal militer dengan helikopter (Olson, 1978)	26
Tabel 3.1 Ukuran utama kapal <i>Geomarin-IV</i> (PT. Citra Mas, 2016)	30
Tabel 3.2 Hidrostatik <i>Geomarin-IV</i> kondisi sarat 4,2m (<i>full load</i>) (PT. Citra Mas, 2016)	31
Tabel 3.3 Hidrostatik <i>Geomarin-IV</i> kondisi sarat 2,85m (<i>light load</i>) (PT. Citra Mas, 2016).....	31
Tabel 3.4 Data sebaran gelombang perairan laut Natuna (PT. GM, 2012).....	32
Tabel 4.1 Validasi data hidrostatik pada kondisi <i>full load</i>	35
Tabel 4.2 Validasi data hidrostatik pada kondisi <i>light load</i>	35
Tabel 4.3 Data kabel lead in dan <i>streamer</i> (sumber: Sercel & DigiStreamer).....	36
Tabel 4.4 Spesifikasi G.Gun II 520 (sumber: Sercel & DigiStreamer)	37
Gambar 4.5 Gambar pemodelan 3D kapal dengan perlengkapan survei seismik	37
Tabel 4.6 Nilai <i>RMS</i> vs. tinggi gelombang signifikan <i>full load</i> 0 <i>knots</i>	49
Tabel 4.7 Nilai <i>RMS</i> vs. tinggi gelombang signifikan <i>full load</i> 15 <i>knots</i>	52
Tabel 4.8 Nilai <i>RMS</i> vs. tinggi gelombang signifikan <i>light load</i> 15 <i>knots</i>	53
Tabel 4.9 Nilai <i>RMS</i> vs. tinggi gelombang signifikan <i>light load</i> 0 <i>knots</i>	54
Tabel 4.10 Operabilitas umum tanpa survei berdasarkan gelombang Laut	72
Tabel 4.11 Operabilitas umum saat survei berdasarkan gelombang Laut Natuna	73
Tabel 4.12 Operabilitas dengan kriteria helikopter berdasarkan gelombang laut Natuna	74



BAB I

PENDAHULUAN

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi khususnya dalam bidang kemaritiman dewasa ini memang sangat pesat, berbagai penelitian dilakukan guna mengembangkan potensi-potensi sumber daya yang ada, salah satunya ialah penelitian dengan cara melakukan survei seismik. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (P3GL) di bawah Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) telah memiliki kapal penelitian *Geomarin-III* seperti terdapat pada Gambar 1.1 yang berfungsi untuk mendukung kegiatan penelitian, pengembangan dan pemetaan potensi ESDM. Hal tersebut utamanya untuk percepatan pemetaan geologi kelautan bersistem, khususnya wilayah tepi paparan (epikontinen) dan laut dalam di mana sumber daya geologi, seperti: migas, mineral-mineral sulfida dasar laut dan metan hidrat pada umumnya berada.



Gambar 1.1 Kapal *Geomarin-III* milik P3GL, Kementerian ESDM-RI

(Sumber: <http://www.litbang.esdm.go.id>)

Namun dalam perkembangannya kapal *Geomarin-III* dirasa belum cukup mampu untuk memenuhi kebutuhan survei seismik di perairan Indonesia yang begitu luas, sehingga dibutuhkan kapal survei generasi baru. Kementerian ESDM melalui P3GL kali ini merencanakan pembuatan desain kapal survei seismik *Geomarin-IV* dengan kapasitas survei seismik yang lebih besar dari generasi sebelumnya. Kapal *Geomarin-IV* ini dirancang dengan kapasitas minimum survei seismik 8000 meter.

Guna menjamin keselamatan pada saat kapal nanti beroperasi, diperlukan pengkajian dan analisa operabilitas untuk memprediksi perilaku bangunan laut ketika menghadapi kondisi laut yang ganas. Kemudian hasil pengkajian tersebut dapat dipergunakan sebagai bagian dari petunjuk pengoperasian bangunan laut tersebut (Djarmiko, 2012). Keberhasilan/kesuksesan suatu desain kapal tergantung pada *performance* kapal tersebut dalam beroperasi di lautan lepas (Bhattacharyya, 1978). Kemampuan bangunan laut, dalam hal ini kapal untuk tetap dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya dalam kondisi operasi yang buruk disebut sebagai *seaworthiness*, sedangkan kualitas bangunan laut untuk tetap mampu mendukung pengoperasian sesuai fungsinya dalam kondisi lingkungan yang buruk disebut *seakindliness* (Djarmiko, 2012).

Selain dari keselamatan yang sudah pasti harus diperhatikan, terdapat pula aspek kenyamanan bagi para peneliti yang bekerja di kapal tersebut dan juga *crew* yang perlu untuk diperhitungkan mengingat kapal *Geomarin-IV* ialah kapal survei seismik, yang mana ketidaknyamanan dalam waktu *voyage* yang relatif lama akan memiliki pengaruh pada efektifitas kerja bagi para peneliti. Ketidaknyamanan yang dimaksud di atas ialah kemampuan fisik operator di dalam kapal dapat mengalami penurunan akibat perilaku gerakan kapal atau disebut *seasickness*. Terutama ketika dalam menjalankan fungsinya seperti operasi transfer muatan atau personel dari helikopter ke kapal atau dari kapal ke kapal. Berdasarkan latar belakang di atas, dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisa operabilitas pada desain kapal *Geomarin-IV*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dibahas pada sub bab sebelumnya, maka dalam tugas akhir ini dilakukan perumusan masalah utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana perilaku respon gerakan kapal *Geomarin-IV* akibat eksitasi gelombang reguler dalam kondisi *free floating* stasioner dan melaju?
2. Bagaimana perilaku respon gerakan kapal *Geomarin-IV* akibat eksitasi gelombang acak dalam kondisi stasioner dan melaju?

3. Seberapa besar kemampuan operabilitas kapal *Geomarin-IV* di gelombang acak?

1.3 Tujuan

Dari perumusan masalah di atas, dapat diambil suatu tujuan dari penelitian yang dilakukan, yaitu:

1. Mengetahui perilaku respon gerakan kapal *Geomarin-IV* akibat eksitasi gelombang reguler dalam kondisi free floating stasioner dan melaju.
2. Mengetahui perilaku respon gerakan kapal *Geomarin-IV* akibat eksitasi gelombang acak dalam kondisi stasioner dan melaju.
3. Mengetahui kemampuan operabilitas kapal *Geomarin-IV* pada gelombang acak.

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut adalah manfaat yang dapat diambil dari penelitian yang dilaksanakan, antara lain ialah memberikan informasi mengenai perilaku respon kapal terhadap gelombang reguler dalam kondisi *free floating* baik stasioner maupun melaju. Selain itu memberikan informasi perilaku respon gerakan kapal *Geomarin-IV* pada gelombang acak dalam kondisi stasioner dan melaju. Dapat mengetahui pada kondisi gelombang berapa kapal masih memiliki kemampuan operabilitas yang baik untuk keamanan dan kenyamanan operator. Kemudian hasil analisis dan perhitungan dapat dijadikan dasar dalam merancang kapal *Geomarin-IV* atau sebagai bagian dari acuan petunjuk operasi dalam pengoperasian kapal *Geomarin-IV*.

1.5 Batasan Masalah

Pembatasan masalah dilakukan untuk menghindari pembahasan yang melebar, sehingga batasan ruang lingkup yang diberlakukan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini merupakan studi kasus pada desain kapal *Geomarin-IV* milik Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (P3GL) di bawah Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM).

2. Analisa operabilitas dilakukan dengan pemodelan numerik pada gelombang acak.
3. Pembebanan gelombang dilakukan dengan variasi tinggi gelombang signifikan antara 1 m sampai dengan 7 m dengan interval 1 m.
4. Perhitungan dilakukan untuk sudut datang gelombang *following sea* (0°), *stern quartering sea* (45°), *beam sea* (90°), *bow quartering sea* (135°), dan *head sea* (180°).
5. Analisa dilakukan pada kecepatan 0 *knots*, dan 15 *knots*.
6. Analisa hanya dilakukan pada kondisi kapal *full load* dan *light load*.
7. Analisa pengoperasian *streamer* dilakukan pada sudut gelombang *head sea* (180°), *bow quartering sea* (135°), dan *beam sea* (90°), dengan tinggi gelombang signifikan 1 m, 4 m, dan 7 m.
8. Analisa *seakeeping* saat pengoperasian *streamer* dilakukan pada kecepatan 5 *knots*.
9. Analisa gerakan kapal hanya dilakukan pada tiga gerakan, yaitu *Heave*, *Pitch*, dan *Roll*.

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang penulisan tugas akhir permasalahan, yang akan dibahas, tujuan yang ingin dicapai, manfaat yang dapat diambil serta batasan yang diberlakukan dalam penyusunan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini berisi tinjauan pustaka dan dasar-dasar teori, yaitu hal-hal yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir ini. Persamaan-persamaan dan *codes* yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini diuraikan dalam bab ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai langkah pengerjaan yang dilakukan, yaitu meliputi study literatur, pengumpulan data, penentuan formulasi, perancangan desain kapal Geomarin-IV, perhitungan *RAO*, perhitungan spektra gelombang, perhitungan respon spektra kapal, hingga membandingkan dengan kriteria-kriteria yang sudah ada.

BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas permodelan Geomarin-IV untuk mengetahui *RAO* struktur pada saat *free floating* baik keadaan stasioner maupun melaju dengan menggunakan *software* Maxsurf Connect V21 untuk mengetahui hidrostatis struktur, juga dilakukan analisa respon struktur akibat eksitasi gelombang acak yang selanjutnya hasil dari pemodelan dan *running* akan diintegrasikan dengan kriteria *seakeeping* untuk mencapai kesimpulan operabilitas dari kapal Geomarin-IV.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang didapat dari keseluruhan hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan. Selanjutnya diberikan saran sebagai bahan pertimbangan tindak lanjut terhadap penelitian dengan permasalahan terkait.

(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN
LANDASAN TEORI

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam merancang bangunan lepas pantai, terdapat beberapa pertimbangan penting yang harus diperhitungkan diantaranya yaitu perilaku hidrodinamis, kemampuan mobilitas, serta *reliability* dalam pengoperasian. Bangunan lepas pantai terapung merupakan anjungan yang mempunyai karakter bergerak mengikuti gerakan gelombang. Dengan adanya gerakan-gerakan tersebut, dapat mengakibatkan kegagalan daripada bangunan apung untuk menjaga efektivitas dalam menjalankan fungsi utama bangunan apung tersebut terutama jika beroperasi di laut ganas sehingga menjadi salah satu permasalahan utama yang menjadi perhatian dalam studi tentang *seakeeping* (Djarmiko, 2012).

Seperti yang pernah dibahas oleh Hoffman (1976) yang menunjukkan bahwa pentingnya pengaruh *seakeeping* terhadap operabilitas suatu bangunan laut, dalam hal ini ialah kapal dengan penekanan pada aspek ekonomi terkait hal tersebut. Berdasarkan makalah tersebut, disebutkan bahwa biaya operasional akan meningkat sebagai akibat dari penurunan kecepatan kapal karena adanya cuaca buruk sehingga mengakibatkan terjadinya keterlambatan jadwal operasi. Selain itu dalam pembahasan yang sama, juga semestinya untuk diperhitungkan keselamatan di atas kapal dalam hal ini termasuk personil, penumpang, peralatan, dan muatan kapal dengan seksama sebagai akibat dari adanya penurunan efektivitas *seakeeping* daripada kapal tersebut.

Berkenaan dengan uraian di atas, maka perlu adanya analisis lebih detail terkait permasalahan operabilitas kapal saat beroperasi di perairan lepas pantai. Hal ini perlu dilakukan untuk mengantisipasi adanya kondisi tertentu yang dapat membahayakan operasional kapal dan juga seluruh yang terdapat di atas kapal termasuk para personil dan peralatan, sehingga kemudian dapat diambil keputusan jika kapal diperkirakan akan mengalami kegagalan dalam beroperasi dengan acuan sesuai kriteria-kriteria tertentu untuk dilakukan penghentian sementara operasi, atau sering disebut dengan istilah *down time* (Lloyd, 1989).

Ada beberapa tujuan pokok dalam analisa operabilitas kapal survei seismik *Geomarin-IV* yaitu guna memperkirakan besar gerakan respon kapal terhadap

gelombang yang terjadi, mengetahui batas-batas kondisi operasional kapal yang diperkirakan masih akan mampu untuk tetap beroperasi dengan aman, sehingga kemudian dapat digunakan sebagai salah satu acuan untuk menjadi petunjuk pengoperasian kapal.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 *Seismic Research Vessel Geomarin-IV*

Seismic research vessel merupakan salah satu jenis dari vesel yang memiliki fungsi khusus yaitu untuk melakukan survei seismik di wilayah perairan lepas pantai. Berdasarkan *International Maritime Organization (IMO)*, kapal survei seismik merupakan salah satu kapal yang termasuk dalam *Resolution MSC.266(84)* tentang *Code of Safety for Special Purpose Ship*, 2008. Kapal ini dilengkapi dengan berbagai macam peralatan-peralatan khusus untuk melakukan survei seismik di wilayah perairan seperti *streamer*, *airgun*, *winch for streamer*, dan lain-lain.



Gambar 2.1 Kapal survei seismik saat beroperasi

(Sumber: [http:// www.andarsy.blogspot.com](http://www.andarsy.blogspot.com))

Dalam Gambar 2.1 menjelaskan mengenai kapal yang sedang melakukan survei seismik, *airgun* digantungkan pada pelampung untuk memberikan efek *buoyancy* yang kemudian diikuti dengan penurunan *streamer* dengan kecepatan antara 3,5 knot sampai dengan 5 knot. Setelah peralatan-peralatan siap untuk

melakukan survei, *airgun* diledakkan untuk menciptakan gelombang suara, yang nantinya pantulan dari gelombang tersebut akan diterima oleh *streamer* kemudian diterjemahkan secara digital (dalam bentuk dua atau tiga dimensi) oleh para peneliti.

2.2.2 Rencana Garis (*Lines Plan*)

Rencana garis (*lines plan*) merupakan gambar potongan-potongan badan bangunan apung dalam bentuk tiga dimensi dengan sistem koordinat sumbu-x sebagai arah memanjang, sumbu-y sebagai arah melintang, dan sumbu-z sebagai arah vertikal. Secara umum, gambar rencana garis yang dalam bentuk tiga dimensi digambarkan dalam dua dimensi dengan cara memproyeksikan bentuk tiga dimensinya menjadi dua dimensi.

Hasil dari proyeksi tersebut akan menghasilkan gambar *Body plan* yang merupakan gambar potongan-potongan badan bangunan apung dalam hal ini yaitu kapal secara vertikal melintang (dalam bidang sumbu-y dan sumbu-z), *Sheer Plan* yaitu merupakan gambar potongan-potongan badan kapal secara vertikal memanjang (dalam bidang sumbu-x dan sumbu-z), dan *Half Breadth Plan* yaitu merupakan gambar potongan-potongan badan kapal secara horisontal memanjang (dalam bidang sumbu-x dan sumbu-y).

2.2.3 Teori Gerak Kapal

Pada kapal terdapat tiga jenis gerakan, yaitu *heave*, *roll*, dan *pitch* yang merupakan gerakan yang murni dari kapal. Tiga jenis gerakan tersebut dipengaruhi oleh *restoring force* (gaya pengembali) atau momen ketika struktur terapung (dalam bentuk kapal) berada pada posisi setimbangnya. Gerakan yang lain (*surgings*, *swaying*, dan *yawing*) tidak dapat mengembalikan kapal tersebut pada posisi setimbang, selain itu tidak adanya pengaruh *exciting force* (gaya luar) yang menyebabkan aktivitas gangguan dari arah kebalikannya (Bhattacharyya, 1978).

Gerakan kapal di laut lepas sangat penting untuk diprediksi. Macam gerakan osilasi pada kapal memiliki enam derajat kebebasan yaitu *surgings*, *swaying*, *heaving*, *rolling*, *pitching*, dan *yawing*. Sesuai dengan yang telah disebutkan di atas,

enam derajat kebebasan tersebut dapat dibedakan menjadi dua macam mode gerak, yaitu translasional dan rotasional:

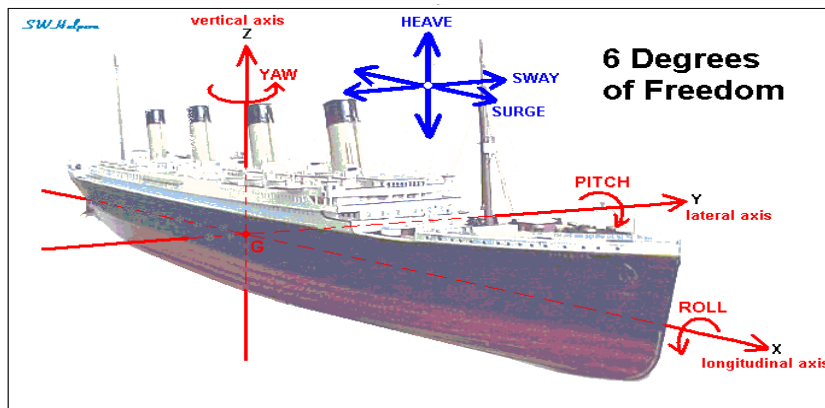
1. Mode gerak translasional:

- a. *Surging* : Gerak osilasi translasional pada sumbu-x
- b. *Swaying* : Gerak osilasi translasional terhadap sumbu-y
- c. *Heaving* : Gerak osilasi translasional terhadap sumbu-z

2. Mode gerak rotasional:

- d. *Rolling* : Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-x
- e. *Pitching* : Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-y
- f. *Yawing* : Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-z

Pengertian gerakan *floating structure* dalam enam derajat kebebasan dapat dijelaskan melalui gambar di bawah ini. Dengan menggunakan konversi sumbu tangan kanan tiga gerakan translasi pada arah sumbu x, y dan z adalah masing-masing gerakan *surge*, *sway* dan *heave*, sedangkan gerakan rotasi terhadap ketiga sumbu adalah *roll*, *pitch* dan *yaw*.



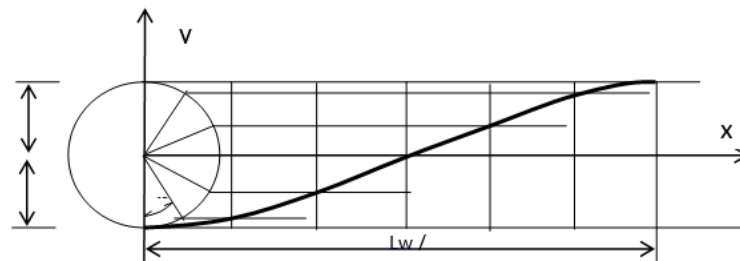
Gambar 2.2 *Six degree of freedom* pada Bangunan Apung
(Sumber: <http2.bp.blogspot.com-6-degrees-of-freedom.gif>, 2014)

Pada kondisi setimbangan sebuah bangunan apung akan mencapai posisi setimbang diantara gaya apung dan gravitasi. Ketika gaya apung yang dihasilkan lebih besar daripada berat struktur, maka bangunan apung tersebut akan bergerak secara terus-menerus sampai struktur tersebut mencapai posisi kesetimbangannya. Dalam frekuensi tertentu, berat struktur lebih besar daripada gaya apung, yang berpengaruh terhadap gerakan struktur. Ketika kapal dalam proses mencapai posisi

kesetimbangan, kecepatan kapal akan berkurang sampai kesetimbangan dicapai. Pada kondisi ini, gaya apung (*buoyancy*) akan sama dengan berat struktur karena momentum bangunan apung akan bergerak lebih jauh dari posisi semula. Gerakan bangunan apung akan tidak terbatas disaat tidak ada gaya redaman (*damping force*), yang selalu bekerja berlawanan dengan arah gerakan.

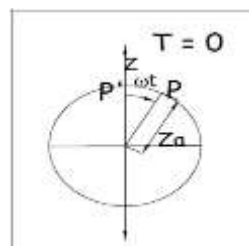
2.2.4 Gelombang Sinusoidal

Pada pergerakan *floating structure* tidak bisa terlepas dari pengaruh gelombang. Pada kenyataannya gelombang yang terjadi di lautan lepas adalah gelombang acak, dan untuk memperhitungkan gelombang yang demikian sangat sulit, maka perlu dilakukan pendekatan perhitungan untuk mengetahui gerakan harmonis menggunakan gelombang reguler (sinusoidal). Pada gelombang sinusoidal dapat diproyeksikan menjadi sebuah lingkaran yang tiap titik pada garis berpotongan terhadap titik pada diameter lingkaran. Lebih jelasnya dapat dilihat dari ilustrasi Gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2.3 Gelombang *sinusoidal* (Bhattacharyya, 1978)

Berdasarkan Gambar 2.3 dapat dijelaskan bahwa proyeksi dari gelombang adalah sebuah lingkaran yang memiliki sudut yaitu ω dan pada tiap gelombang pada fungsi t dengan asumsi titik p sebagai vektor dari lingkaran. Sehingga lingkaran ini dapat disederhanakan menjadi seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Vektor dari *simple harmonic motion* (Bhattacharyya, 1978)

Gambar 2.4 memperlihatkan harga dari titik pusat O terhadap P' :

$$(\overline{OP'}) = z = z_a \cos \omega t \quad (2.1)$$

$$\text{Kecepatan dari P} = v = \dot{z} = \frac{dz}{dt} = -z_a \omega \sin \omega t \quad (2.2)$$

$$\text{Percepatan dari P} = a = \ddot{z} = \frac{d^2z}{dt^2} = -z_a \omega^2 \cos \omega t \quad (2.3)$$

Periode dari gerakan adalah waktu yang dibutuhkan dari P' untuk mencapai dari titik z dan bergerak ke z lagi dalam satu kejadian, dapat di rumuskan sebagai:

$$T = \frac{2\pi z_a}{\omega z_a} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2.4)$$

dengan frekuensi karakteristiknya $f = \frac{1}{T}$

sehingga frekuensi sudutnya adalah $\omega = \frac{2\pi}{T}$

Dalam buku *Dynamic of Marine Vehicles* dijelaskan bahwa kecepatan, panjang gelombang, dan periode gelombang di perhitungkan :

$$V_w = \frac{gL_w}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L_w} \quad (2.5)$$

dengan :

V_w = kecepatan gelombang (m/s)

g = gravitasi (m/s^2)

L_w = panjang gelombang (m)

h = kedalaman (m)

karena nilai dari perbandingan $\frac{h}{L_w} \gg 0$, yang merupakan *deep water*.

$$\tanh \frac{2\pi h}{L_w} \rightarrow \frac{2\pi h}{L_w} = kh$$

disubstitusikan :

$$V_w = \sqrt{gh}$$

$$T_w = \sqrt{\frac{2\pi L_w}{g}}$$

dan

$$\omega_w = \frac{2\pi}{T_w}$$

dengan:

T_w = Periode gelombang (s)

ω_w = Frekuensi gelombang (Hz)

2.2.5 Heading (Arah) Kapal terhadap Arah Gelombang

Selain faktor gelombang, ada juga faktor gelombang papasan, yaitu ketika gelombang berpapasan dengan kapal. Dalam ilustrasinya di perlihatkan sebagai berikut :

$$T_{\theta} = \frac{L_w}{V_w - V \cos \mu} \quad (2.6)$$

$$V_w = \omega_{\theta} \left(1 - \frac{V}{V_w} \cos \mu\right) \quad (2.7)$$

dengan:

T_{θ} = Periode *encountering* (s)

V_w = Kecepatan gelombang (m/s)

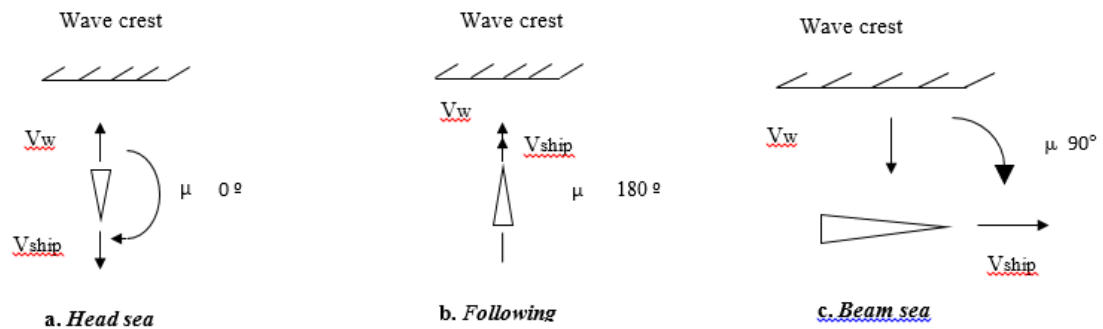
V = Kecepatan kapal (knot)

μ = Sudut datang gelombang

ω_{θ} = Frekuensi *encountering* (rad/s)

L_w = Panjang gelombang (m)

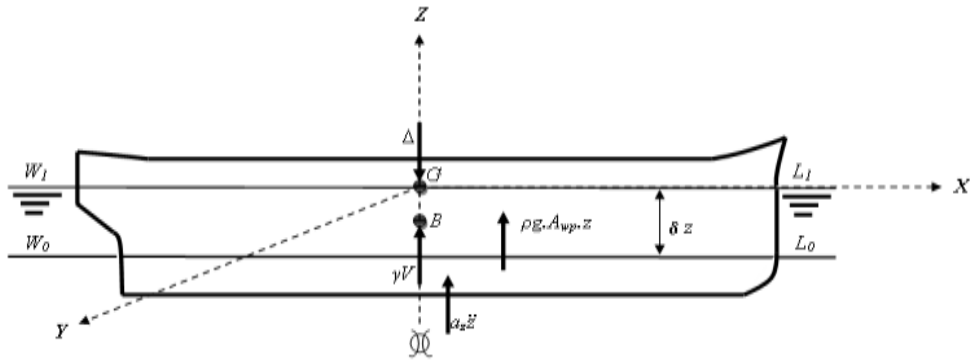
Sebagai gambaran arah kapal terhadap arah gelombang untuk kondisi *head sea*, *following sea*, *beam sea* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Definisi arah datang gelombang terhadap *heading* kapal (Bhattacharyya, 1978)

2.2.6 Gerakan Heave Murni (*Uncouple Heaving Motion*)

Pada *heaving* gaya ke bawah akibat dari berat kapal membuat kapal tercelup ke air lebih dalam dan kembali ke awal hingga diperoleh kesetimbangan kapal. Ketika gaya *buoyancy* lebih besar akibat kapal tercelup, kapal akan bergerak vertikal ke atas, ketika posisi kapal telah setimbang kapal akan tetap naik dikarenakan ada pengaruh momentum. Selanjutnya kejadiannya akan berulang. Berikut adalah ilustrasi mengenai gerakan *heaving* pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Ilustrasi gerakan *heaving* (Murtedjo, 1999)

Dengan keterangan gambar sebagai berikut:

Δ : *Displacement* kapal

G : Titik tangkap gaya berat (Titik berat)

B : Titik tangkap gaya tekan keatas (Titik *bouyancy*)

γV : Gaya tekan keatas

W_0L_0 : *Water line* keadaan awal

W_1L_1 : *Water line* keadaan *heave*

$a_z \ddot{z}$: Tambahan gaya tekan keatas karena *added mass*

δ_z : Besar jarak simpangan *heave*

Maka dapat dituliskan persamaan umum pada kapal kondisi *heaving* adalah :

$$a\ddot{z} + b\dot{z} + cz = F_{oz} \cos \omega_e t \quad (2.8)$$

dengan:

$a\ddot{z}$: *Inertial force*

$b\dot{z}$: *Damping force*

cz : *Restoring force*

$F_{oz} \cos \omega_e t$: *Exciting force*

Terdapat empat elemen penting dalam gerakan *heave*, antara lain:

1. *Inertial force* ($a\ddot{z}$)

Merupakan percepatan gerakan secara kontinu dari fluida yang terjadi, gaya yang lebih besar dari massa percepatan waktu kapal (Bhattacharyya, 1978).

$$a \frac{d^2 z}{dt^2} = \text{massa kapal} + \text{massa tambah}$$

$$a \frac{d^2 z}{dt^2} = M \frac{d^2 z}{dt^2} + a_z \frac{d^2 z}{dt^2} \quad (2.9)$$

dengan:

M : Massa dari kapal

a_z : Massa tambah

2. *Damping force* ($b\dot{z}$)

Damping force selalu bergerak berlawanan arah dari gerakan kapal dan menyebabkan redaman yang berangsur-angsur pada amplitude gerakan.

$$F_b = -b \frac{dz}{dt} \quad (2.10)$$

Di mana b adalah koefisien untuk gaya damping kondisi *heaving*. Normalnya koefisien *damping* ini bergantung pada faktor-faktor seperti tipe dari gerakan osilasi, frekuensi *encountering*, dan bentuk kapal.

3. *Restoring force* (c_z)

Restoring force untuk *heaving* diberikan sebagai tambahan gaya *bouyancy* kapal ketika di bawah permukaan air. Sehingga *restoring force* diberikan sebagai jumlah *displacement* air atau berat spesifik tambahan pada volume tercelup.

$$c_z = \rho \cdot g \cdot A_{wp} \cdot z$$

$$c_z = \rho \cdot g \cdot L \cdot B \cdot C_{wp} \cdot z \quad (2.11)$$

dengan:

A_{wp} : *Water plane area* (m^2)

z : Simpangan gerak *heaving* (m)

C_{wp} : Koefisien *water plane area*

ρ : massa jenis air laut (1025 kg/m^3)

g : kecepatan gravitasi (9.81 m/s^2)

4. *Exciting force* (F)

Gaya eksitasi pada *heaving* adalah pengintegrasian dari penambahan *buoyancy* karena gelombang melewati sepanjang kapal sehingga dapat dirumuskan:

$$F = F_0 \cos \omega_e t \quad (2.12)$$

dengan:

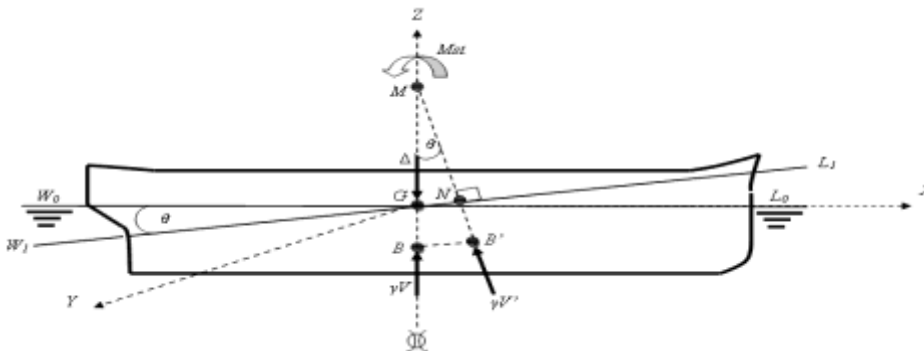
F_0 : Amplitudo gaya eksitasi (m)

ω_e : Frekuensi gelombang *encountering* (Hz)

2.2.7 Gerakan Pitch Murni (*Uncouple Pitching Motion*)

Pada penyelesaian tugas akhir ini, kondisi selain *heaving* yang perlu diperhitungkan adalah *pitching*. Di mana akibat dari enam derajat kebebasan dari gerak kapal. Berbeda halnya dengan *heaving* yang bergerak secara translasional. Namun kondisi *pitching* bergerak secara rotasional sehingga pendekatan perhitungan yang dapat ditetapkan adalah hukum Euler.

Konstruksi benda apung dapat mengalami *simple harmonic motion* yang berupa gerakan dalam arah sumbu transversal (x) maupun arah sumbu longitudinal (y) apabila benda apung tersebut mengalami perpindahan posisi keseimbangannya dan kemudian dilepaskan atau pada benda apung tersebut dikenakan suatu kecepatan awal sehingga bergerak menjauh dari posisi keseimbangannya. Dalam berbagai analisis perhitungan gerakan benda apung mengalami gerakan angular seperti benda apung yang mengalami gerakan *rolling* dan *pitching*, maka perhitungan dan analisa terhadap besarnya gaya momen memegang peranan yang lebih penting dibandingkan dengan perhitungan besarnya gaya itu sendiri.



Gambar 2.7 Ilustrasi kondisi *pitching* pada saat *still water* (Murtedjo, 1999)

Pitching merupakan gerak rotasional dengan sumbu Y sebagai pusat gerak. Karena gerak *pitching* akan berpengaruh terhadap *initial velocity* dari kesetimbangan posisi, maka momen yang terjadi akibat *pitching* perlu diperhitungkan. Persamaan umum dari gerakan akibat *pitching* adalah:

$$a\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = M_o \cos \omega_e t \quad (2.13)$$

dengan:

$M_o =$ amplitudo momen eksitasi (m)

$\omega_e = \text{frekuensi gelombang encountering (hz)}$

$a\ddot{\theta} = \text{Inertial Moment}$

$b\dot{\theta} = \text{Damping Moment}$

$c\theta = \text{Restoring Moment}$

$M_o \cos \omega_e t = \text{Exciting Moment}$

Karena merupakan gerak rotasional pada gerakan akibat *pitching* terdapat empat jenis momen yang bekerja, yaitu :

1. *Inertial moment (a, $\ddot{\theta}$)*

a merupakan *moment inertia virtual mass* dari $\frac{d^2\theta}{dt^2}$, dengan $\frac{d^2\theta}{dt^2}$ adalah percepatan angular dari *pitching*, *moment inertia virtual mass* pada kondisi *pitching* adalah *moment inertia* kapal ditambah *moment inertia* massa tambah dari *pitching* (Bhattacharyya, 1978).

$$a = I_{yy} + \delta I_{yy}$$

$$a = \frac{\Delta}{g} k^2_{yy} + \delta I_{yy} \quad (2.14)$$

dengan:

δI_{yy} : *Moment Inertia* massa tambah untuk gerakan *pitching*

k^2_{yy} : Kuadrat dari jari-jari girasi pada kondisi *pitching*

I_{yy} : *Moment inertia* massa kapal

Menurut Bhattacharyya diasumsikan bahwa distribusi massa secara *longitudinal* adalah sama dengan distribusi *displacement* secara *longitudinal*. Sehingga distribusi *vertical* tidak begitu berpengaruh dan bahwa CG dari kapal diasumsikan di *midship section*. Secara pendekatan jari-jari girasinya *pitching* adalah:

$$k^2_{yy} = 0,24L \text{ to } 0,26L$$

2. *Damping moment (c, $\dot{\theta}$)*

Damping coefficient untuk *pitching* dapat dihitung dengan pendekatan *strip theory* yang ditentukan oleh tiap station dan di integrasikan sebanyak station sepanjang kapal.

3. *Restoring moment (c, θ)*

Restoring moment untuk *pitching* dapat dihitung dengan persamaan sederhana sebagai berikut

$$c\theta = \rho \cdot g \cdot \theta \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} x^2 y(x) dx$$

$$c\theta = \rho \cdot g \cdot \theta \cdot I_y \quad (2.15)$$

Jari-jari metacenter memanjang $\overline{MB}_L = \frac{I_y}{\nabla}$, sehingga

$$c\theta = \rho \cdot g \cdot \overline{MB}_L \cdot \nabla \cdot \theta = \rho \cdot g \cdot \overline{MG}_L \cdot \nabla \cdot \theta \quad (\text{sudut kecil})$$

$$c\theta = \Delta \cdot \overline{MG}_L \cdot \theta$$

dengan:

c : Restoring moment coefficient

I_y : Moment inersia dari beban *water plane area*

ρ : massa jenis air laut (1025 kg/ m³)

g : kecepatan gravitasi (9.81 m/s²)

∇ : Volume displacement (m³)

Δ : Displacement (Ton) = $\rho \cdot g \cdot \nabla$

\overline{MB}_L : Jari-jari metacenter memanjang

\overline{MG}_L : Tinggi metacenter memanjang

4. Exciting moment

Exciting moment untuk pitching dikarenakan tidak seimbang momen akibat dari gelombang tranverse axis dari kapal. Pada waktu *heaving pitching moment* dapat dengan mudah di naikan, ini berarti distribusi tekanan hidrostatis secara matematis dituliskan sebagai berikut:

$$M_\theta = M_o \cos \omega_e t \quad (2.16)$$

2.2.8 Gerakan Roll Murni (*Uncouple Rolling Motion*)

Kapal menjalani gerakan harmonis sederhana terhadap koordinat axis secara transversal maupun longitudinal. *Rolling* merupakan gerak rotasional dengan sumbu X sebagai pusat geraknya. Gerakan ini akan berpengaruh terhadap *initial velocity* sehingga perlu dilakukan perhitungan terhadap momen gaya.

Persamaan umum dari persamaan gerak akibat *rolling* ialah:

$$a\ddot{\phi} + b\dot{\phi} + c\phi = M_{o\phi} \cos \omega_e t \quad (2.17)$$

Dengan:

M_0 = Amplitudo momen eksitasi (m)

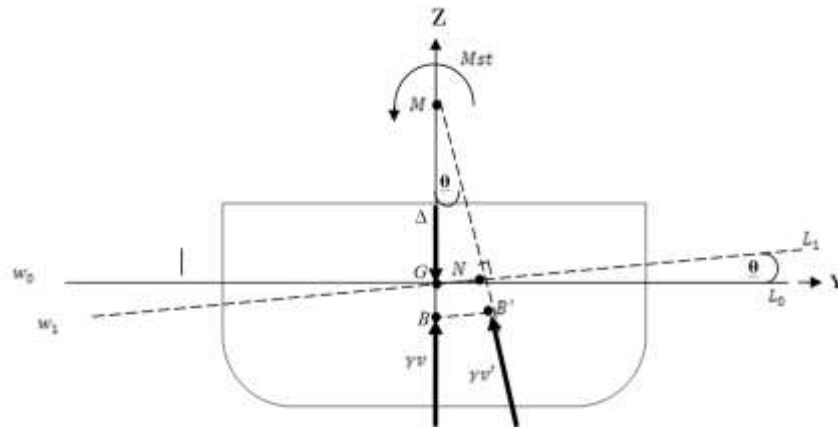
ω_e = Frekuensi gelombang encountering (hz)

$a\ddot{\phi}$ = *Inertial moment*

$b\dot{\phi}$ = *Damping Moment*

$c\phi$ = *Restoring Moment*

$M_0\phi \cos \omega_e t$ = *Exciting moment*



Gambar 2.8 Ilustrasi kondisi *rolling* kapal pada saat *still water* (Murtedjo, 1999)

Karena merupakan gerak rotasional pada gerakan akibat *rolling* terdapat empat jenis momen yang bekerja, yaitu:

1. *Inertial moment* ($a, \ddot{\phi}$)

a merupakan *moment inertia virtual mass* dari $\frac{d^2\phi}{dt^2}$, dengan $\frac{d^2\phi}{dt^2}$ adalah percepatan angular dari *rolling*, *moment inertia virtual mass* pada kondisi *rolling* adalah *moment inertia* kapal ditambah *moment inertia* massa tambah dari *rolling* (Bhattacharyya, 1978).

$$a = I_{xx} + \delta I_{xx}$$

$$a = \frac{\Delta}{g} k^2_{xx} + \delta I_{xx} \quad (2.18)$$

dengan:

δI_{xx} : *Moment Inertia* massa tambah untuk gerakan *rolling*

k^2_{xx} : Kuadrat dari jari-jari girasi pada kondisi *rolling*

I_{xx} : *Moment inertia* massa kapal

Menurut Bhattacharyya diasumsikan bahwa distribusi massa secara *longitudinal* adalah sama dengan distribusi *displacement* secara *longitudinal*. Sehingga distribusi *vertical* tidak begitu berpengaruh dan bahwa CG dari kapal diasumsikan di *midship section*. Secara pendekatan jari-jari girasinya *rolling* adalah:

$$k^2_{xx} = 0,33B \text{ to } 0,45B$$

2. *Damping moment* ($b, \dot{\phi}$)

Damping coefficient adalah koefisien redaman dan $b \frac{d\phi}{dt}$ merupakan momen redaman. *Damping coefficient* untuk *rolling* dapat dihitung dengan pendekatan *strip theory* yang ditentukan oleh tiap station dan di integrasikan sebanyak station di kapal.

3. *Restoring moment* (c, ϕ)

Restoring moment untuk *rolling* dapat dihitung dengan persamaan sederhana sebagai berikut

$$c\phi = \rho \cdot g \cdot \phi \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} y^2 x(y) dy$$

$$c\phi = \rho \cdot g \cdot \phi \cdot I_x \quad (2.19)$$

Jari-jari metacenter melintang $\overline{M.B_T} = \frac{I_T}{\nabla}$, sehingga

$$c\theta = \rho \cdot g \cdot \overline{M.B_T} \cdot \nabla \cdot \phi = \rho \cdot g \cdot \overline{M.G_T} \cdot \nabla \cdot \phi$$

$$c\theta = \Delta \cdot \overline{M.G_T} \cdot \phi \quad (2.20)$$

dengan:

c : *Restoring moment coefficient*

I_x : Moment inersia dari beban *water plane area*

ρ : massa jenis air laut (1025 kg/ m³)

g : kecepatan gravitasi (9.81 m/s²)

∇ : Volume displacement (m³)

Δ : Displacement (Ton) = $\rho \cdot g \cdot \nabla$

$\overline{M.B_T}$: Jari-jari metacenter melintang

$\overline{M.G_T}$: Tinggi metacenter melintang

4. *Exciting moment*

Exciting moment untuk *rolling* dikarenakan tidak seimbang momen akibat dari gelombang tranverse axis dari kapal. *Rolling moment* dapat dengan mudah di naikan, ini berarti distribusi tekanan hidrostatik dirumuskan:

$$M_{\theta} = M_o \cos \omega_e t \quad (2.21)$$

2.2.9 *Response Amplitude Operator*

Maimun (2006) menjelaskan bahwa analisa *seakeeping* sangat penting dilakukan terutama untuk dalam hal performa struktur apung pada gelombang. Agar dapat dilakukan perhitungan *seakeeping* tersebut, karakteristik respon struktur apung pada gelombang sangat perlu untuk diperhitungkan di mana karakteristik tersebut sering disebut sebagai *Response Amplitude Operator (RAO)*.

Response Amplitude Operator (RAO) atau disebut juga dengan *transfer function* merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi tertentu. *RAO* disebut sebagai *transfer function* karena *RAO* merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk *response* pada suatu struktur. Bentuk umum persamaan *RAO* dalam fungsi frekuensi (Chakrabarti, 1987) adalah sebagai berikut:

$$Response(\omega) = (RAO) \cdot \zeta(\omega) \quad (2.22)$$

dengan:

ζ = amplitudo gelombang (m)

RAO merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang disebabkan akibat gelombang dengan rentang frekuensi tertentu. *RAO* merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur. Menurut (Chakrabarti, 1987), persamaan *RAO* dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$RAO(\omega) = \left(\frac{\zeta_a}{\zeta_w} \right) \quad (2.23)$$

dengan :

ζ_a = amplitudo gerakan struktur

ζ_w = amplitudo gelombang

Persamaan *RAO* di atas juga pernah dijelaskan oleh Djatmiko (2012). Namun menurut Bhattacharyya (1978), *RAO* memiliki pengertian sebagai suatu fungsi kuadrat dari perbandingan antara amplitudo gerakan bangunan apung yang

terjadi akibat gelombang reguler dibandingkan dengan amplitudo gelombang itu sendiri. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$RAO(\omega) = \left(\frac{\zeta_a}{\zeta_w}\right)^2 \quad (2.24)$$

Secara umum, penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa *RAO* merupakan perbandingan antara besaran amplitudo gerakan bangunan apung dengan amplitudo gelombang (*unit*: m/m untuk amplitudo gerakan translasi dan *unit*: deg/m untuk amplitudo gerakan rotasional). Sebagai *transfer function*, *RAO* gerak translasi dengan sendirinya telah merupakan *transfer function* karena *unit RAO* dapat diasumsikan juga ke dalam *non-dimensional units*. Sementara pada *RAO* gerak rotasional perlu dilakukan transformasi ke bentuk non-dimensional (rad/rad) dengan cara mentransformasikan amplitudo gelombang ke kemiringan gelombang, yakni perkalian antara angka gelombang (*wave number* (k_w)) di mana $k_w = \omega_w^2/g$, dengan amplitudo gelombang (ζ_w). Sehingga, sebagai *transfer function*, *RAO* gerak rotasi diformulasikan dengan persamaan sebagai berikut.

$$RAO = \left(\frac{\zeta_a}{k_w \zeta_w}\right) = \frac{\zeta_a}{(\omega_w^2/g)\zeta_w} \quad (2.25)$$

di mana,

k_w = angka gelombang

ω_w = frekuensi gelombang

2.2.10 Spektra Gelombang

Pada kenyataannya, tidak pernah ditemui adanya gelombang reguler yang terjadi di lautan lepas melainkan terjadi gelombang acak. Dalam melakukan perhitungan dengan beban berupa gelombang acak, perlu dilakukan pendistribusian energi gelombang terhadap *range* frekuensi tertentu dengan salah satu puncak pada salah satu frekuensi tertentu. Terdapat beberapa model spektra gelombang saat ini diantaranya Jonswap, ITTC atau ISSC, dan Pierson-Moskowitz.

Dalam analisa dan perhitungan yang dilakukan pada tugas akhir kali ini akan menggunakan spektra Jonswap. Spektra Jonswap dipilih karena dianggap paling sesuai untuk diadopsi dalam analisa dan perhitungan gelombang acak di perairan Indonesia dengan mempertimbangkan kondisi perairan Indonesia yang merupakan perairan tertutup (kepulauan). Spektra Jonswap pada dasarnya berasal

dari penelitian di laut utara (*North Sea*) yang gelombangnya relatif ganas. Dengan penggunaan spektra Jonswap diharapkan akan lebih memberikan faktor keamanan yang lebih dalam analisa dan perhitungan karena perairan Indonesia yang relatif lebih tenang jika dibandingkan dengan *North Sea* dengan diberlakukan penyesuaian untuk kondisi perairan Indonesia agar tidak terjadi *over design*.

Persamaan spektra Jonswap yang digunakan untuk kondisi perairan tertutup, dengan modifikasi dari pierson-moskowitz dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut:

$$S_j(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp\left(-1,25 \left(\frac{\omega}{\omega_m}\right)^{-4}\right) \gamma \exp\left(-0,5 \left(\frac{\omega - \omega_p}{\sigma \omega_p}\right)^2\right) \quad (2.26)$$

di mana:

ω_m = frekuensi puncak spektra (*spectral peak frequency*)

γ = parameter puncak (*peakedness parameter*)

σ = parameter bentuk (*shape parameter*) ; untuk $\omega \leq \omega_m = 0,07$ dan $\omega \geq \omega_m = 0,09$

untuk nilai parameter puncak dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$\gamma = \exp\left[3,4843 \left(1 - 0,1975 \left(0,036 - 0,0056 \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}\right) \frac{T_p^4}{H_s^2}\right)\right] \quad (2.27)$$

dengan:

T_p = periode puncak spektra

H_s = tinggi gelombang signifikan

Hasil dari perhitungan dengan persamaan di atas dapat diplotkan menjadi sebuah grafik yang kemudian dapat dilakukan analisa seperti yang tertera dalam Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Menghitung amplitudo dan tinggi Gelombang pada Spektra

Profil Gelombang	Amplitudo	Tinggi
Gelombang Rata-rata	$1,25\sqrt{m_0}$	$2,5\sqrt{m_0}$
Gelombang Signifikan	$2,00\sqrt{m_0}$	$4,00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/10 Gelombang Tertinggi	$2,55\sqrt{m_0}$	$5,00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/1000 Gelombang Tertinggi	$3,44\sqrt{m_0}$	$6,67\sqrt{m_0}$

Di mana:

$$m_n = \int_0^\infty \omega^n S(\omega) d\omega ; \text{ sehingga,}$$

$$m_0 = \text{Luasan dibawah kurva spektra (zero moment)} = \int_0^\infty S(\omega) d\omega$$

2.2.11 Respon Spektra Bangunan Apung

Sebuah bangunan apung yang berada di permukaan air dengan kondisi gelombang acak, akan menimbulkan respon yang dialami oleh struktur apung tersebut. Dengan memperhitungkan *Response Amplitude Operator (RAO)*, kemudian memperhitungkan spektra gelombang, sehingga dapat dihasilkan respon spektra dari bangunan apung tersebut.

Perhitungan respon spektra menggunakan *RAO* dengan spektra gelombang tidak dapat begitu saja langsung dilakukan karena *RAO* merupakan respon gerak pada gelombang reguler sehingga bernilai linear. Untuk itu perlu dilakukan pengkuadratan dari nilai *RAO* agar menjadi non linear guna menyetarakan dengan respon gelombang sehingga keduanya dapat dikalikan. Untuk memudahkan pemahaman dapat dilihat pada Gambar 2.9 yang secara matematis dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$S_R = (RAO(\omega))^2 \times S(\omega) \tag{2.28}$$

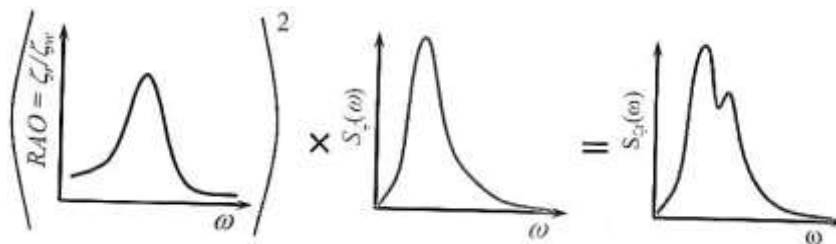
Di mana:

S_R : Respon spektra struktur (m^2 -sec)

$S(\omega)$: Spektrum gelombang (m^2 -sec)

$(RAO(\omega))^2$: *Transfer function*

ω : Frekuensi gelombang (rad/sec)



Gambar 2.9 Transformasi Spektra Gelombang menjadi Spektra Respon (Djarmiko, 2012)

2.2.12 Operabilitas

Djarmiko (2012) menyatakan bahwa operabilitas merupakan suatu hal yang menginformasikan mengenai efektivitas *seakeeping* dan atau kelayak lautan suatu bangunan apung pada suatu kondisi lingkungan laut tertentu. Prosedur umum dalam melakukan analisa operabilitas ialah dengan mengintegrasikan hasil prediksi respon gerakan di laut riil dengan sistem konstrain operasional (kriteria *seakeeping*).

Beberapa penelitian telah menghasilkan kriteria-kriteria yang digunakan dalam analisa operabilitas. Pada tugas akhir ini akan menggunakan dari beberapa sumber dalam penentuan kriteria operabilitas kapal sebagai perbandingan, di mana kriteria-kriteria *seakeeping* untuk *personnel performance* guna memastikan bahwa gerakan kapal dan percepatan tidak terlalu besar sehingga dapat menjaga kru dalam melaksanakan tugas mereka pada kondisi cuaca di mana kapal diharapkan mampu melaksanakan misinya. Kriteria-kriteria tersebut dapat dilihat seperti pada Tabel 2.2 sampai dengan Tabel 2.5 di bawah ini.

Tabel 2.2 Batas kriteria *seakeeping* personil (Bureau Veritas, 2011)

<i>Parameter</i>	<i>Limit</i>
<i>Roll</i>	4°
<i>Pitch</i>	1,5°
<i>Vertical acceleration</i>	0,2 g
<i>Lateral acceleration</i>	0,1 g
<i>Note : all limits given as RMS amplitude values.</i>	

Sementara itu pada penelitian lain juga terdapat kriteria Operabilitas untuk berbagai tipe fungsi kapal seperti tertera pada Tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3 *Operability-Limiting Criteria for Accelerations and Roll Motions for Various Type of Work and for Passenger Comfort (NORDFORSK, 1987) [Faltinsen, 2005] [Nocerino, 2010]*

<i>PHENOMENA</i>	<i>RMS of vertical Accelerations</i>	<i>RMS of Lateral Accelerations</i>	<i>RMS of Rolls</i>
<i>Light manual work</i>	0.20g	0.10g	6.0°
<i>Heavy manual work</i>	0.15g	0.07g	4.0°
<i>Intellectual work</i>	0.10g	0.05g	3.0°
<i>Transit passengers</i>	0.05g	0.04g	2.5°
<i>Cruise liner</i>	0.02g	0.03g	2.0°

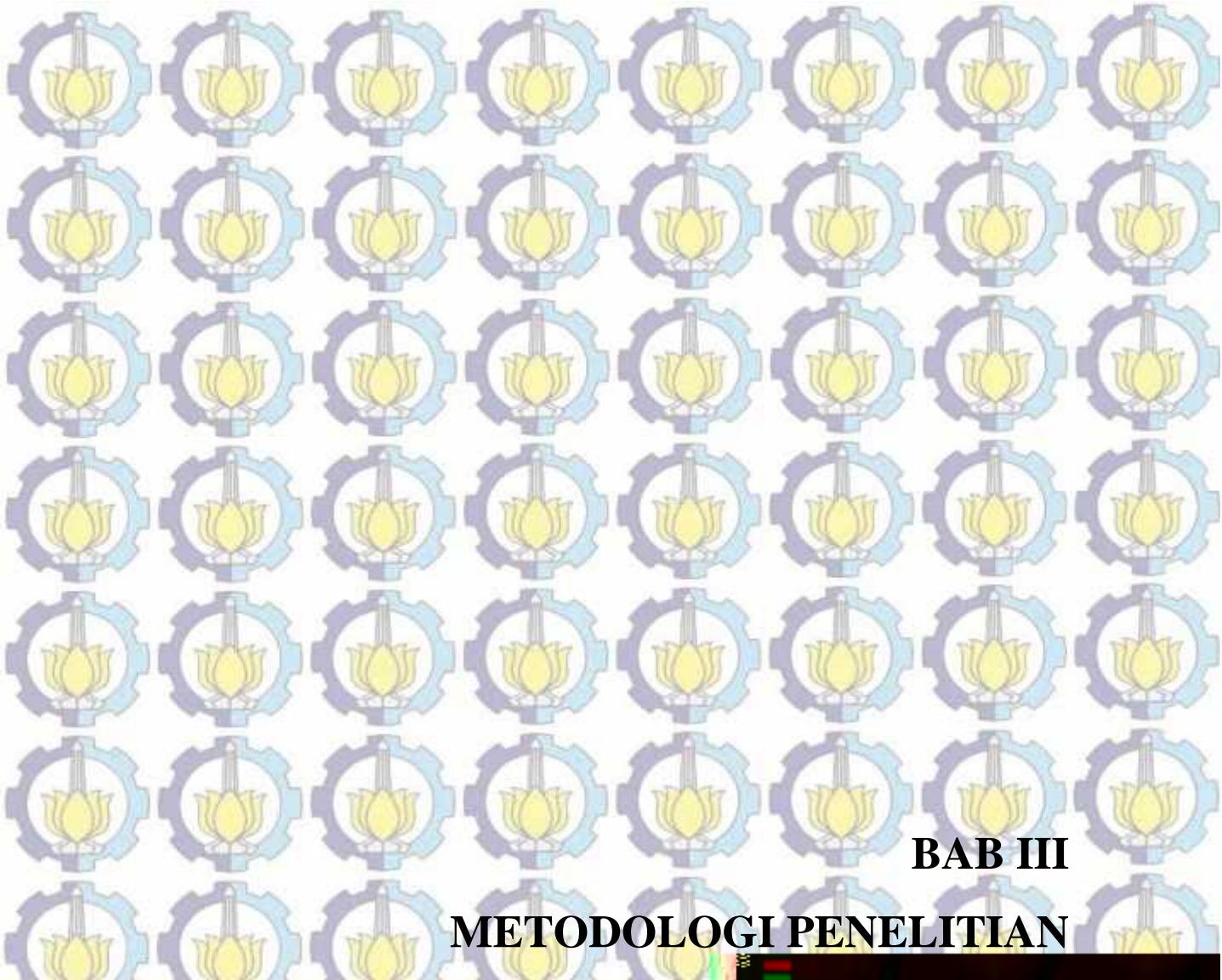
Tabel 2.4 Kriteria seakeeping umum untuk kapal militer (Olson, 1978)

Parameter	Kriteria	Keterangan
Single Amplitude Average Roll	12°	
Single Amplitude Average Pitch	3°	
Significant Heave Acceleration	0,4g	no people working on deck
	0,2g	people working on deck

Tabel 2.5 Kriteria seakeeping kapal militer dengan helikopter (Olson, 1978)

Parameter	Kriteria Max.
Double Amplitude Significant Roll	12,8°
Double Amplitude Significant Vertical Displacement at The Flight Deck due to Pitch	2,55 m
Significant Vertical velocity at The Flight Deck	2,13 m/s

Tabel 2.5 memuat kriteria-kriteria *seakeeping* kapal militer yang memiliki operasi dengan helikopter. Dalam hal ini dapat diartikan bahwa kriteria tersebut digunakan untuk kapal yang memiliki fasilitas *helipad*. Kriteria tersebut berlaku pada saat ada operasi pendaratan atau lepas landas helikopter di atas kapal. Selain itu kriteria helikopter juga dapat diasumsikan sebagai kriteria *seakeeping* kapal pada kondisi transfer muatan atau personil dari helikopter ke kapal, atau juga bisa digunakan untuk kriteria operasi transfer muatan atau personil dari kapal ke kapal.



BAB III

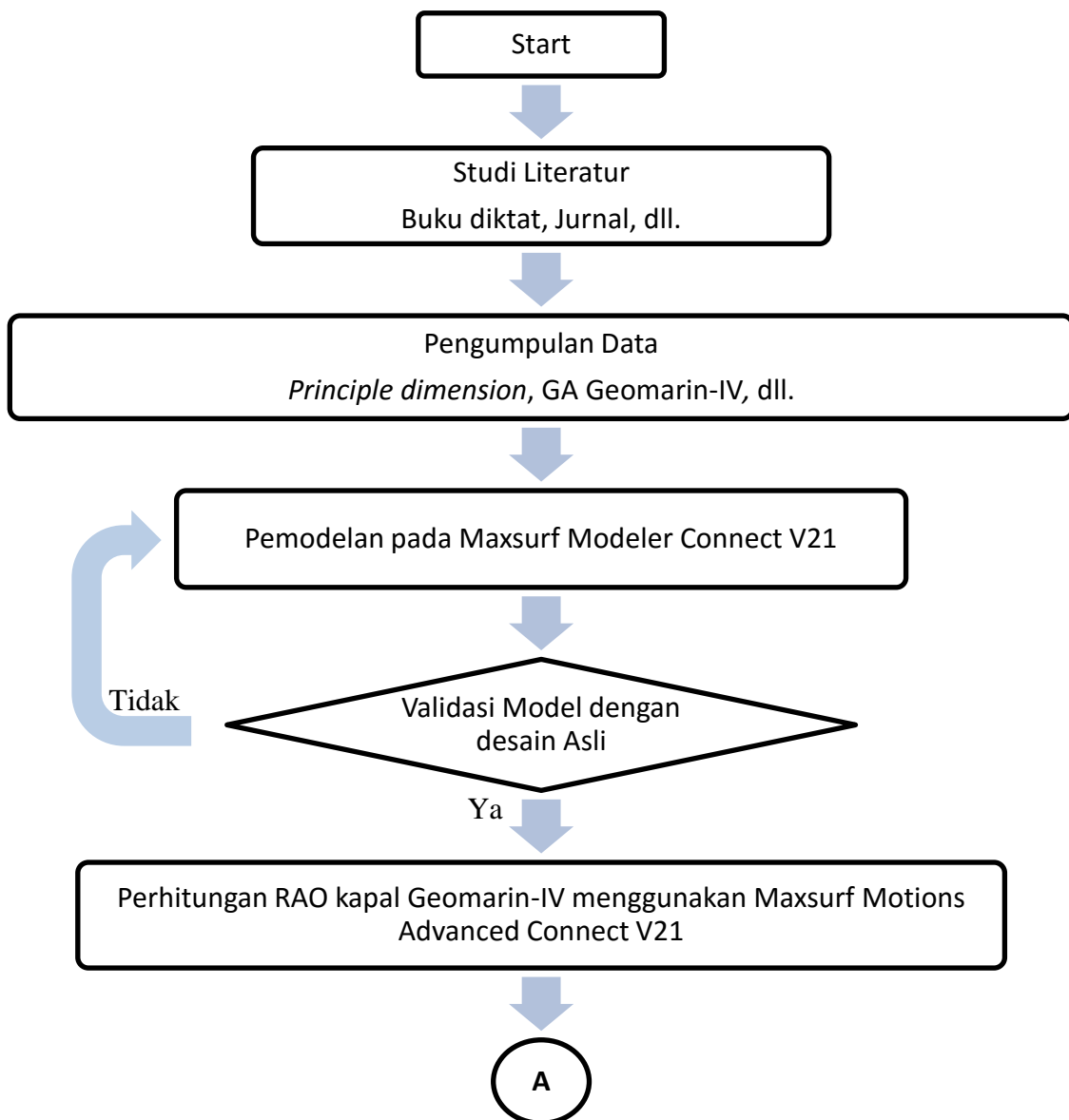
METODOLOGI PENELITIAN



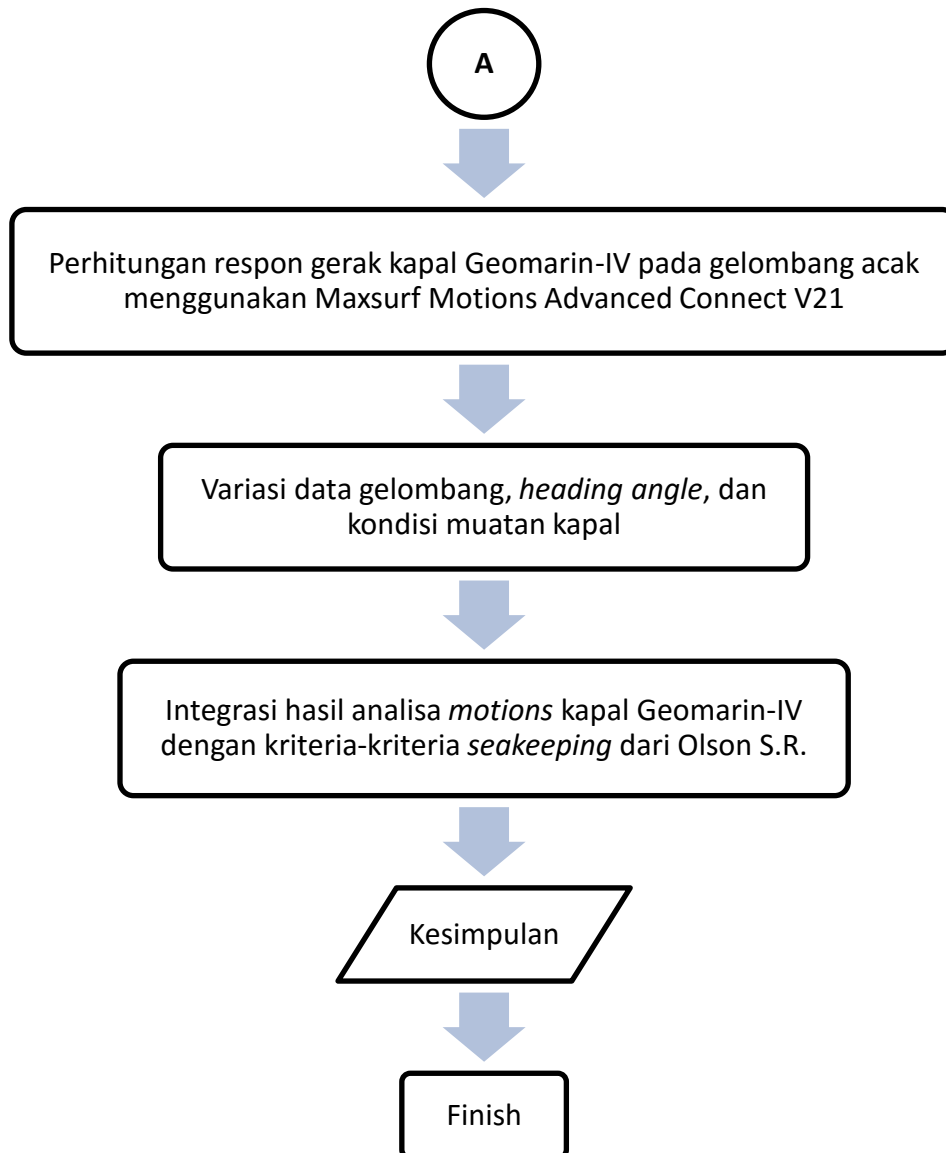
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, metodologi penelitian yang digunakan adalah model numerik yang dibuat dengan bantuan *software*. Secara umum, metode penelitian ini dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*) dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Flowchart* pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.2 Flowchart pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan)

3.2 Prosedur Penelitian

Berdasarkan Gambar 3.1 pada sub-bab sebelumnya, kemudian dapat dijelaskan mengenai alur dalam pengerjaan tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur pada tugas akhir ini diambil dari buku, materi perkuliahan, jurnal, dan penelitian sebelumnya termasuk laporan tugas akhir terdahulu yang memiliki keterkaitan topik serupa untuk mencari dasar teori yang digunakan yang relevan dan dibutuhkan selama pengerjaan tugas akhir ini.

2. Pengumpulan Data

Semua data-data yang diperlukan dikumpulkan selengkap-lengkapunya untuk mempermudah dan menambah akurasi penelitian. Data-data yang diperlukan antara lain : *General Arrangement Geomarin-IV*, *Principle Dimension* beserta hidrostatik kapal *Geomarin-IV* beserta detail data teknis perancangan yang diperoleh dari PT. Citra Mas Surabaya, dan lain-lain.

3. Pemodelan

Pemodelan awal kapal *Geomarin-IV* berdasarkan data *General Arrangement* dan *Principle Dimension* menggunakan *software* Maxsurf Modeler Advanced Connect V21 bertujuan untuk mendapatkan koordinat-koordinat bentuk *body Geomarin-IV* serta untuk mendapatkan data hidrostatik model.

4. Validasi Model

Setelah melakukan pemodelan dilakukan validasi sebelum digunakan untuk analisa yang lebih jauh. Validasi dilakukan dengan membandingkan data hidrostatik keluaran Maxsurf Connect V21 dari kapal yang telah dimodelkan dengan data hidrostatik yang telah ada. Jika validasi data tidak sesuai, maka model akan didesain ulang sampai menyerupai desain kapal *Geomarin-IV* yang asli dengan batas faktor error tidak melebihi 5%.

5. Analisis Gerakan dengan *Software* Maxsurf Motions Advanced Connect V21

Setelah model pada Maxsurf Modeler Advanced Connect V21 selesai dan didapatkan *control point* untuk tiap struktur, maka model dipindahkan pada *software* Maxsurf Motions Advanced Connect V21 berdasarkan koordinat-koordinat yang didapat. Model pada Maxsurf Connect V21 akan *dirunning* untuk mendapatkan *RAO* kapal *Geomarin-IV* pada gelombang regular, dan respon gerakan pada gelombang acak pada saat kondisi beroperasi dengan variasi sudut arah datang gelombang, diantaranya *heading angle of following sea* (0°), *stern quartering sea* (45°), *beam sea* (90°), *bow quartering sea* (135°), dan *head sea* (180°). Kemudian skema kondisi yang digunakan untuk perhitungan *RAO* dan *motions* pada gelombang acak adalah kondisi *full load*, dan *light load*. Perhitungan dilakukan dengan asumsi gaya eksitasi gelombang yang memiliki tinggi gelombang signifikan antara 1 m hingga 7 m dengan interval 1 m. Pemodelan gelombang acak menggunakan spektra Jonswap yang

telah dijelaskan pada Bab sebelumnya, kemudian digunakan untuk mendapatkan prediksi besaran respon gerak kapal pada gelombang acak tersebut. Sedangkan dalam kondisi menarik *streamer* perhitungan *RAO* menggunakan bantuan perangkat lunak Orcaflex, dengan pembebanan *full load* dan arah sudut datang gelombang *beam sea* (90°), *bow quartering sea* (135°), dan *head sea* (180°). Kemudian asumsi gaya eksitasi gelombang diakibatkan tinggi gelombang signifikan antara 1 (satu) hingga 7 (tujuh) meter dengan interval 3 meter.

6. Hasil perhitungan pada poin di atas selanjutnya dilakukan analisa dan diintegrasikan dengan kriteria-kriteria yang digunakan dalam penentuan batas standar operabilitas kapal guna menjamin keamanan dan kenyamanan pada kapal *Geomarin-IV*.

7. Kesimpulan

Pengambilan kesimpulan terhadap analisis yang telah dilakukan meliputi pergerakan struktur, pada kondisi lingkungan tertentu kapal masih mampu bekerja secara optimal, serta pada kondisi bagaimana gerakan kapal dirasa sudah tidak mendukung pelaksanaan misi kapal tersebut secara optimal. Serta dapat diketahui probabilitas operasinya.

3.3 Pengumpulan Data

Data-data desain kapal *Geomarin-IV* disajikan dalam bentuk Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Ukuran utama kapal *Geomarin-IV* (PT. Citra Mas, 2016)

Ukuran Utama Kapal		
Length Over All (LOA)	76,2	meter
Length Between Perpendiculars (LBP)	69	meter
Breadth (B)	14,8	meter
Depth (H)	6,5	meter
Design Draft (T)	4,2	meter
Data lain-lain		
Maksimum Speed	15	Knot
Scientist and Technician	24	Persons
Crew	26	Persons
Airgun	2	unit
Airgun Winch 4 unit @	200	meter
Streamer 4 unit @	3000	meter

Tabel 3.2 Hidrostatik *Geomarin-IV* kondisi sarat 4,2m (*full load*) (PT. Citra Mas, 2016)

Hydrostatics	design	satuan
Displacement	3164	t
Volume (displaced)	3086,829	m ³
WL Length	71,8	m
Waterpl. Area	921,92	m ²
Prismatic coeff. (Cp)	0,726	
Block coeff. (Cb)	0,691	
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,954	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,868	
LCB length	34,824	m from AP
LCF length	31,3	m from AP
VCG	4,4	m
KB	2,32	m
KMt	7,07	m
KML	105,272	m

Tabel 3.3 Hidrostatik *Geomarin-IV* kondisi sarat 2,85m (*light load*) (PT. Citra Mas, 2016)

Hydrostatics		design
Displacement	t	1971
Volume (displaced)	m ³	1922,927
WL Length	m	68,889
Waterpl. Area	m ²	812,338
Prismatic coeff. (Cp)		0,712
Block coeff. (Cb)		0,662
Max Sect. area coeff. (Cm)		0,933
Waterpl. area coeff. (Cwp)		0,797
LCB length	m from AP	36,053
LCF length	m from AP	34,234
KB	m	1,582
KMt	m	8,053
KML	m	118,419

3.4 Data Lingkungan

Sebagai perhitungan dan analisa operabilitas, akan digunakan data sebaran gelombang perairan laut Natuna seperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Data sebaran gelombang perairan laut Natuna (PT. GM, 2012)

Tp (s)		Hs (m)											
Lower	Upper	0 - 0,49	0,5 - 0,99	1 - 1,49	1,5 - 1,99	2 - 2,49	2,5 - 2,99	3 - 3,49	3,5 - 3,99	4 - 4,49	4,5 - 4,99	5 - 5,49	5,5 - 5,99
0	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	1,9	0,0008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	2,9	0,0210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	3,9	0,1079	0,0863	0,0050	0,0018	0,0002	-	-	-	-	-	-	-
4	4,9	0,0183	0,1529	0,0143	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	5,9	0,0060	0,0370	0,0771	0,0047	-	-	-	-	-	-	-	-
6	6,9	0,0043	0,0177	0,0409	0,0257	0,0010	-	-	-	-	-	-	-
7	7,9	0,0023	0,0079	0,0280	0,0382	0,0105	0,0002	-	-	-	-	-	-
8	8,9	0,0020	0,0058	0,0103	0,0247	0,0334	0,0119	0,0009	-	-	-	-	-
9	9,9	0,0007	0,0041	0,0062	0,0158	0,0176	0,0255	0,0129	0,0012	-	-	-	-
10	10,9	-	0,0037	0,0051	0,0067	0,0095	0,0113	0,0114	0,0080	0,0017	-	-	-
11	11,9	0,0001	0,0027	0,0034	0,0034	0,0043	0,0059	0,0047	0,0049	0,0025	0,0022	0,0003	-
12	12,9	-	0,0020	0,0022	0,0016	0,0009	0,0020	0,0019	0,0018	0,0010	0,0009	0,0005	0,0003
13	13,9	-	0,0007	0,0010	0,0004	0,0006	0,0002	0,0004	0,0011	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001
14	14,9	-	0,0002	0,0009	0,0004	0,0004	0,0003	0,0001	-	-	-	-	-
15	15,9	0,0001	0,0001	0,0002	0,0006	0,0004	0,0007	0,0001	-	-	-	-	-
16	16,9	-	0,0001	-	0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-
17	17,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	18,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total		0,1636	0,3212	0,1947	0,1243	0,0789	0,0580	0,0324	0,0169	0,0055	0,0033	0,0009	0,0004

Berdasarkan penelitian oleh Kurniawan, dkk. (2012) Perairan Indonesia memiliki tinggi gelombang maksimum hingga mencapai 7 m, namun hanya terjadi pada kondisi ekstrim saja dikawasan Laut Cina Selatan termasuk selat Karimata. Di perairan laut Pasifik untuk kondisi ekstrim bisa mencapai ketinggian maksimum 5 m. Dengan demikian, analisis dilakukan dengan eskalasi tinggi gelombang signifikan (Hs) sampai dengan 7 m. Dimana diharapkan analisis akan memberikan hasil yang konservatif atau kondisi yang dapat mewakili kondisi maksimum di perairan Indonesia. Sehingga diharapkan juga bisa mendapatkan hasil analisis yang lebih aman untuk operasi.

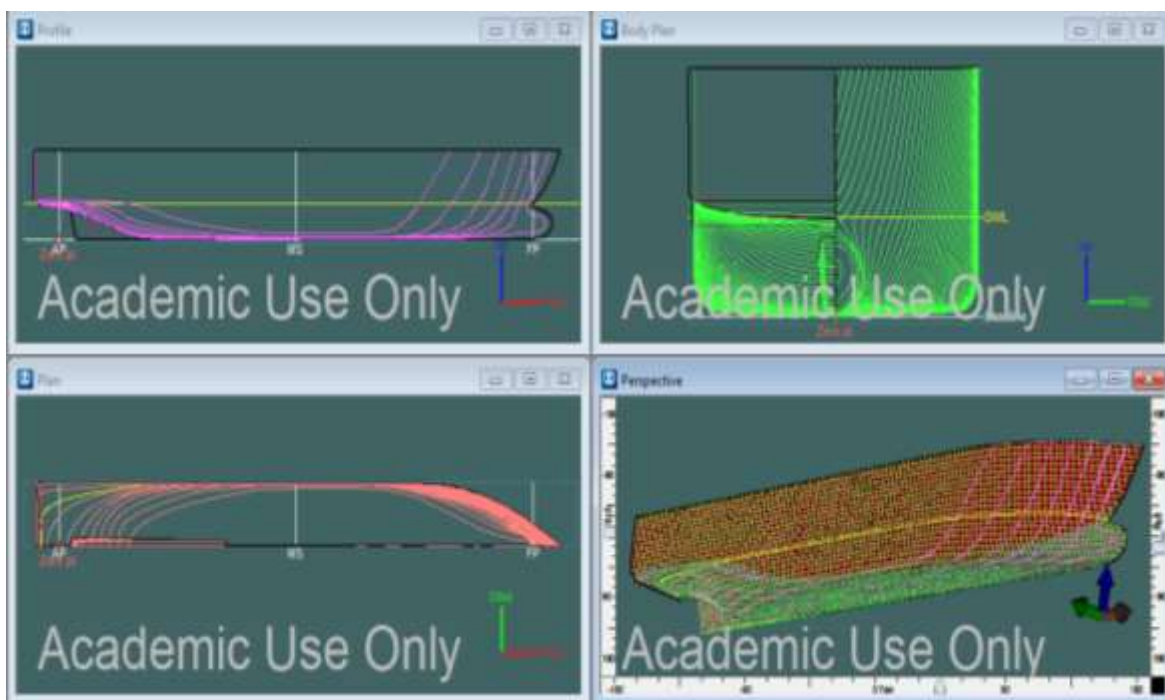


BAB IV
ANALISA DAN PEMBAHASAN

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Kapal

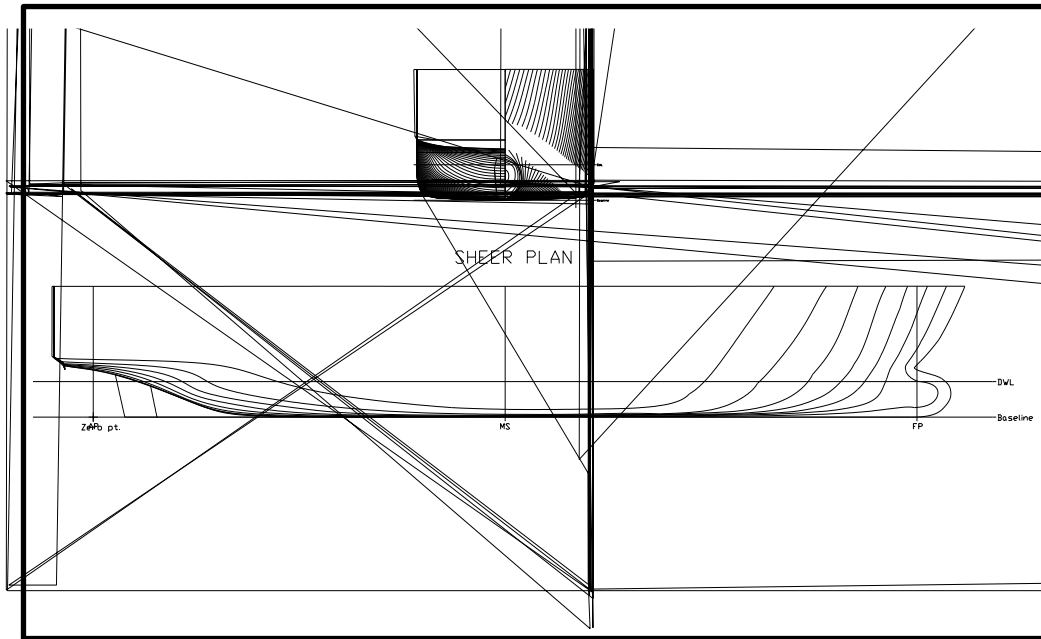
Pemodelan Geomarin IV menggunakan *software* Maxsurf dengan acuan *principal dimension* seperti pada Tabel 3.1. Berikut adalah gambar dari hasil pemodelan Geomarin IV dengan menggunakan *software* Maxsurf seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pemodelan kapal *Geomarin-IV* dengan Maxsurf

4.1.1 Rencana Garis (*Lines Plan*)

Setelah dilakukan pemodelan ulang secara 3 dimensi berdasarkan desain kapal *Geomarin-IV* yang asli, maka model *redesign* tersebut dapat digunakan dalam melakukan analisa-analisa selanjutnya. Berdasarkan model yang telah dibuat tersebut, dapat diperoleh gambar rencana garis dari kapal *Geomarin-IV* seperti yang tertera pada Gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4.2 Rencana Garis (*Lines Plan*) kapal *Geomarin-IV*

4.1.2 Hydrostatics Data

Setelah dilakukan pemodelan pada pembahasan di atas, guna mendapatkan model kapal yang benar-benar mirip dengan desain asli (sebenarnya) perlu dilakukan validasi data hidrostatis. Validasi model dilakukan dengan cara membandingkan data hasil hidrostatis yang dikeluarkan software Maxsurf dengan data hidrostatis kapal *Geomarin-IV* yang sudah ada. Dalam pengerjaan tugas akhir ini, validasi model dilakukan dalam kondisi pada saat *full load* dan *light load*. Kondisi *full load* merupakan kondisi kapal dengan muatan penuh yang ditandai dengan batas sarat air kapal dalam kapal ini 4,2 m. sedangkan kondisi *light load* merupakan kondisi di mana muatan kapal minimum ($LWT+10\%DWT$) di mana pada kapal ini terjadi pada sarat 2,85 m.

Besaran-besaran hidrostatis yang dibandingkan yaitu antara perhitungan hidrostatis yang diperoleh dari *redesign* kapal *Geomarin-IV* pada Maxsurf untuk pengerjaan tugas akhir ini dengan hidrostatis data pada desain asli kapal *Geomarin-IV*. Perbedaan antara kedua data tersebut diberikan toleransi atau faktor *error* sebesar 2%. Validasi data hidrostatis tersebut akan disajikan dalam tabel 4.1 dan tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.1 Validasi data hidrostatis pada kondisi *full load*

Hydrostatics		redesign	design	koreksi	Status
Displacement	t	3172	3164	0,25%	Ok
Volume (displaced)	m ³	3094,556	3086,829	0,25%	Ok
WL Length	m	71,595	71,8	0,29%	Ok
Waterpl. Area	m ²	922,938	921,92	0,11%	Ok
Prismatic coeff. (Cp)		0,728	0,726	0,28%	Ok
Block coeff. (Cb)		0,695	0,691	0,58%	Ok
Max Sect. area coeff. (Cm)		0,958	0,954	0,42%	Ok
Waterpl. area coeff. (Cwp)		0,871	0,868	0,35%	Ok
LCB length	m from AP	34,956	34,824	0,38%	Ok
LCF length	m from AP	31,471	31,3	0,55%	Ok
KB	m	2,311	2,32	0,39%	Ok
KMt	m	7,003	7,07	0,95%	Ok
KML	m	106,232	105,272	0,91%	Ok

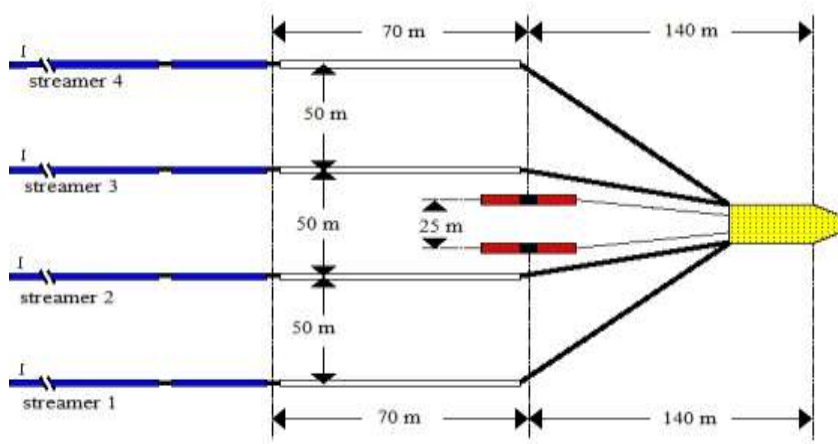
Tabel 4.2 Validasi data hidrostatis pada kondisi *light load*

Hydrostatics		redesign	design	koreksi	Status
Displacement	t	1989	1971	0,91%	Ok
Volume (displaced)	m ³	1940,8	1922,927	0,93%	Ok
WL Length	m	69,44	68,889	0,80%	Ok
Waterpl. Area	m ²	816,05	812,338	0,46%	Ok
Prismatic coeff. (Cp)		0,709	0,712	0,42%	Ok
Block coeff. (Cb)		0,663	0,662	0,15%	Ok
Max Sect. area coeff. (Cm)		0,938	0,933	0,54%	Ok
Waterpl. area coeff. (Cwp)		0,794	0,797	0,38%	Ok
LCB length	m from AP	35,822	36,053	0,64%	Ok
LCF length	m from AP	34,723	34,234	1,43%	Ok
KB	m	1,581	1,582	0,06%	Ok
KMt	m	7,973	8,053	0,99%	Ok
KML	m	119,914	118,419	1,26%	Ok

4.2 Pemodelan Konfigurasi Sistem Survei Seismik

Dalam memodelkan peralatan survey seismik digunakan bantuan *software Orcaflex* dimulai dengan memodelkan bentuk *hull* kapal yaitu dengan cara menentukan koordinat-koordinat titik dari geometri *hull* yang kemudian titik-titik itu dihubungkan dengan garis hingga menjadi *surface* yang utuh. Pada pemodelan ini dilakukan dengan memasukkan data dimensi kapal, data lingkungan, *RAO* kapal pada kondisi stasioner, *wave drift*, *added inertia mass*, *damping coefficient*.

Setelah pemodelan kapal, dilanjutkan dengan memodelkan konfigurasi peralatan survei seismik. Pemodelan peralatan survei seismik meliputi kabel *streamer* (*lead in* dan *streamer*), *air gun*, *diverter*, dan *tail buoy*.



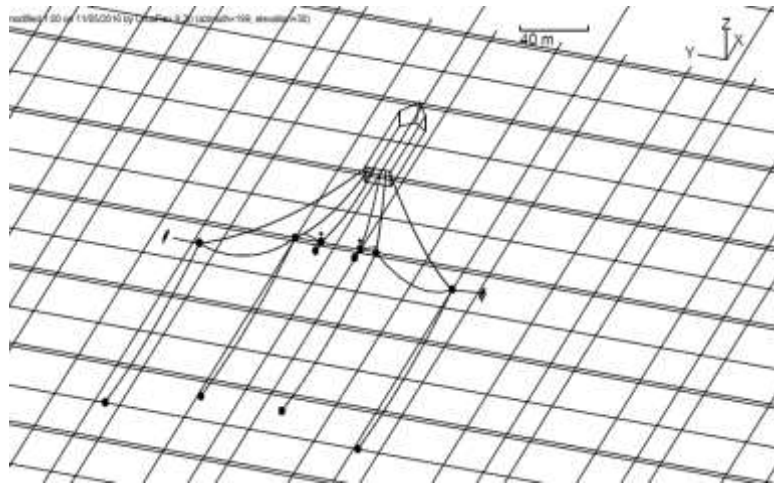
Gambar 4.3 Konfigurasi peralatan survei seismik

Tabel 4.3 Data kabel lead in dan *streamer* (sumber: Sercel & DigiStreamer)

Physical Characteristics	Lead in	Streamer	unit
Diameter	60	50	mm
Thickness	3,5	3	mm
Type	polyurethane	polyurethane	
Weight	0,0039	0,0026	ton/m

Tabel 4.4 Spesifikasi G.Gun II 520 (sumber: Sercel & DigiStreamer)

spesification	unit	G. Gun II 520
avaliable volume	in ³	520
length	mm	640
width	mm	292
weight	kg	90



Gambar 4.4 Gambar pemodelan 3D kapal dengan perlengkapan survei seismik

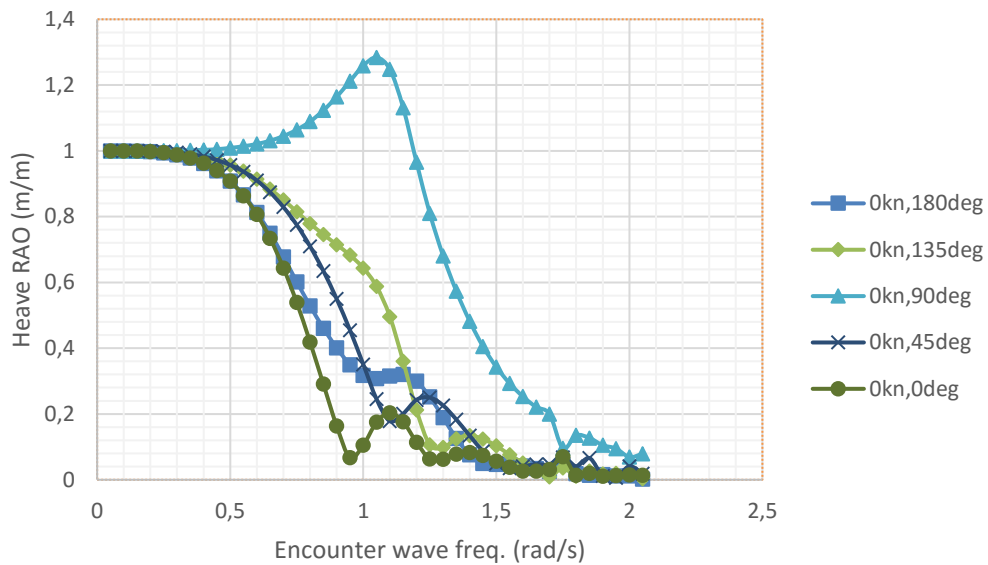
4.3 Gerakan di Gelombang Reguler

Langkah pengerjaan selanjutnya dalam tugas akhir ini setelah didapatkan model yang telah divalidasi ialah melakukan perhitungan *Response Amplitude Operator* (RAO). Dalam perhitungan *RAO* pada tugas akhir ini digolongkan menjadi 2 macam, yaitu *RAO* tanpa ada pengaruh *streamer* yang dilakukan analisa pada kondisi *full load* maupun *light load* kecepatan 0 knot dan 15 knot. Perhitungan dilakukan menggunakan arah sudut datang gelombang 180°, 135°, 90°, 45°, dan 0° dengan tinggi gelombang signifikan antara 1 m sampai dengan 7 m (interval 1 m).

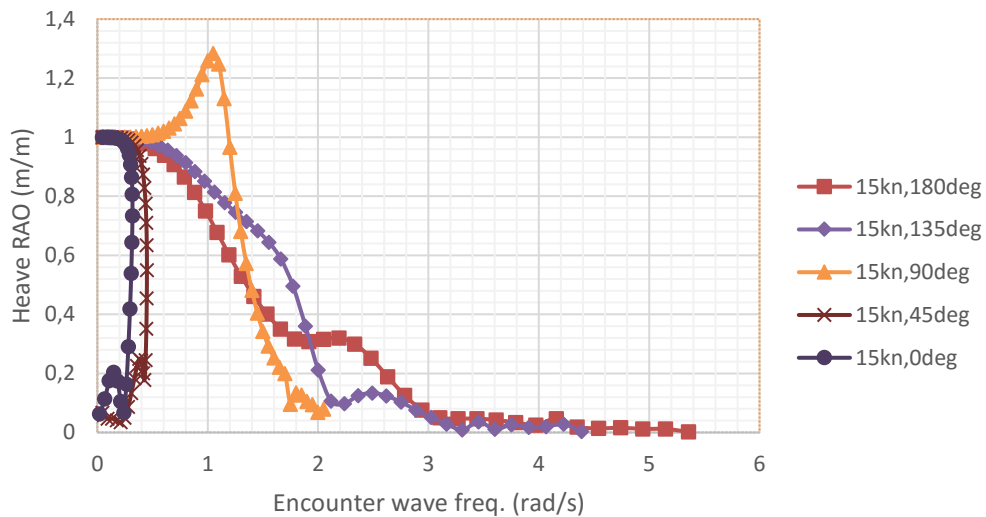
Selanjutnya *RAO* kapal akan digunakan untuk menganalisa respon kapal saat beroperasi menarik *streamer*. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan kecepatan 5 knot, pada kondisi gelombang antara 1 m hingga 7 m, dengan interval 3 m, dan dilakukan pada arah sudut datang gelombang 180°, 135°, dan 90°.

Perhitungan *RAO* tiap-tiap jenis gerakan tanpa pengaruh *streamer* dapat dilihat pada grafik di bawah ini berdasarkan variasi kecepatan dan sudut datang gelombang.

4.3.1 Kondisi *Light Load* Tanpa *Streamer*



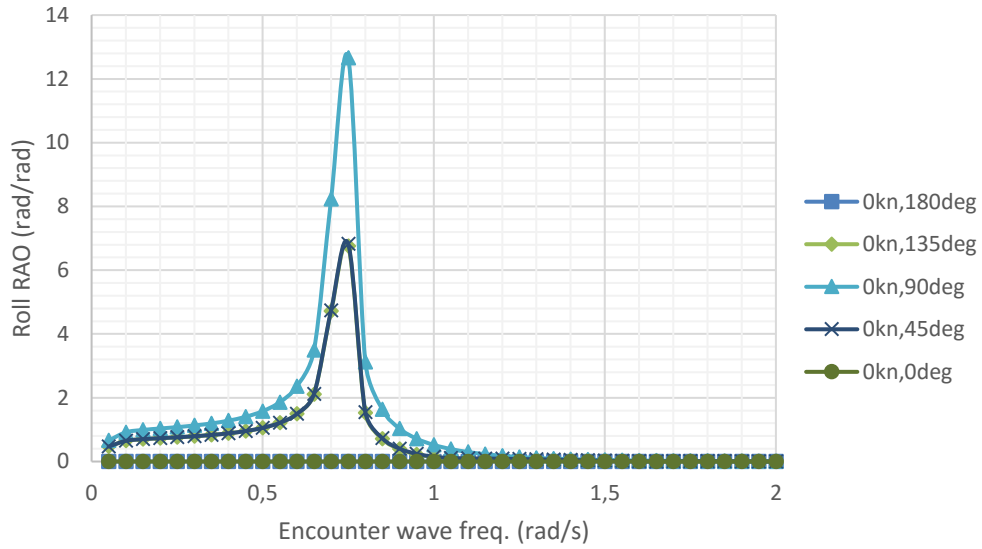
Gambar 4.5 Grafik *RAO* heave kecepatan 0 knot *Geomarin-IV* kondisi *Light load*



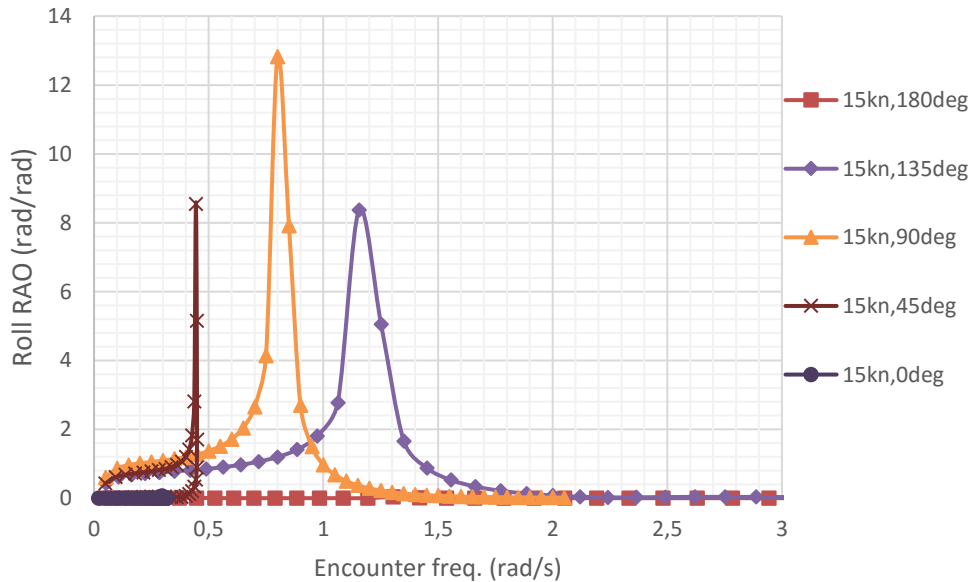
Gambar 4.6 Grafik *RAO* heave kecepatan 15 knot *Geomarin-IV* kondisi *Light load*

Berdasarkan Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 di atas, dapat diketahui bahwa *RAO* gerakan *heaving* kondisi *light load* kapal *Geomarin-IV* dengan variasi sudut

gelombang 180° , 135° , 90° , 45° , dan 0° didapatkan nilai tertinggi terjadi ketika kapal mengalami *beam sea* (sudut datang gelombang sebesar 90°) pada *encounter wave frequency* 1,05 rad/s dengan nilai *transfer function* mencapai 1,248 m/m untuk kecepatan 0 knot dan 15 knot.



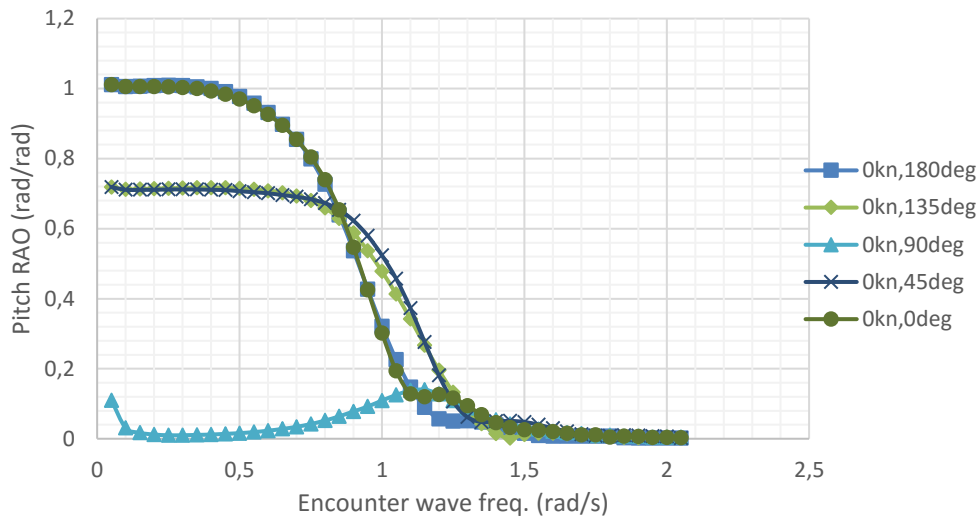
Gambar 4.7 Grafik *RAO roll* kecepatan 0 knot *Geomarin-IV* kondisi *Light load*



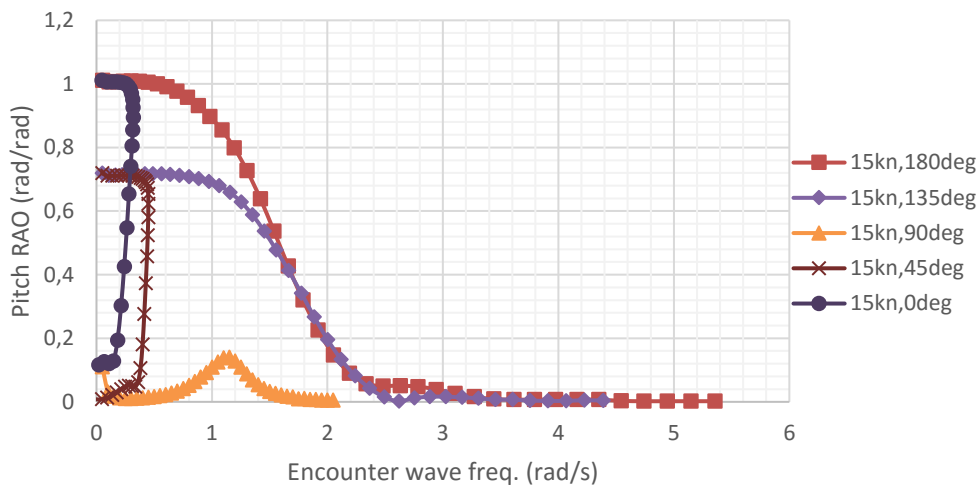
Gambar 4.8 Grafik *RAO roll* kecepatan 15 knot *Geomarin-IV* kondisi *Light load*

Dari Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 di atas dapat diketahui bahwa untuk *RAO* gerakan *rolling* kapal *Geomarin-IV* terbesar terjadi ketika kapal mengalami *beam sea* (sudut datang gelombang sebesar 90°) pada *encounter wave frequency* 0,75

deg/s yang memiliki nilai *transfer function* 12,65 rad/rad untuk kecepatan 0 knot dan 15 knot.



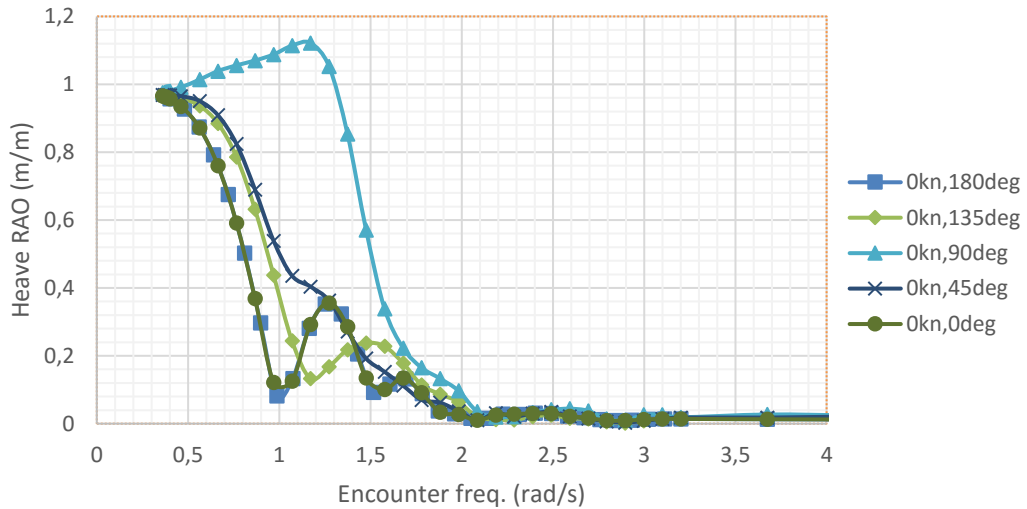
Gambar 4.9 Grafik *RAO pitch* kecepatan 0 knot *Geomarin-IV* kondisi *Light load*



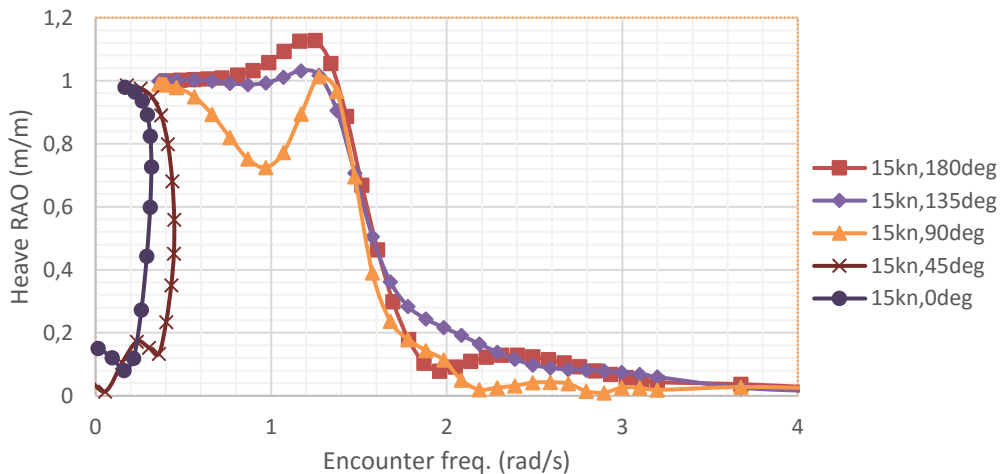
Gambar 4.10 Grafik *RAO pitch* kecepatan 15 knot *Geomarin-IV* kondisi *Light load*

Berdasarkan Gambar 4.9 dan Gambar 4.10, dapat diketahui bahwa *RAO* gerakan *pitching* kondisi *light load* kapal *Geomarin-IV* dengan variasi sudut gelombang 180°, 135°, 90°, 45°, dan 0° didapatkan nilai tertinggi terjadi ketika kapal mengalami *head seas* (sudut datang gelombang sebesar 180°) dan *following seas* (sudut datang gelombang sebesar 0°) dengan nilai *transfer function* maksimal 1,02 rad/rad untuk kecepatan 0 knot dan 15 knot.

4.3.2 Kondisi Full Load Tanpa Streamer

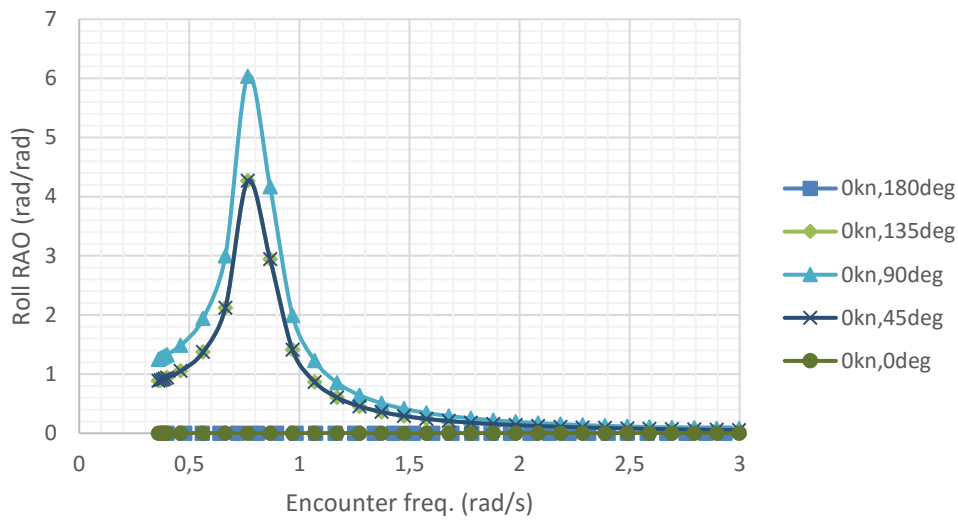


Gambar 4.11 Grafik *RAO heave* kecepatan 0 knot *Geomarin-IV* kondisi *Full load*

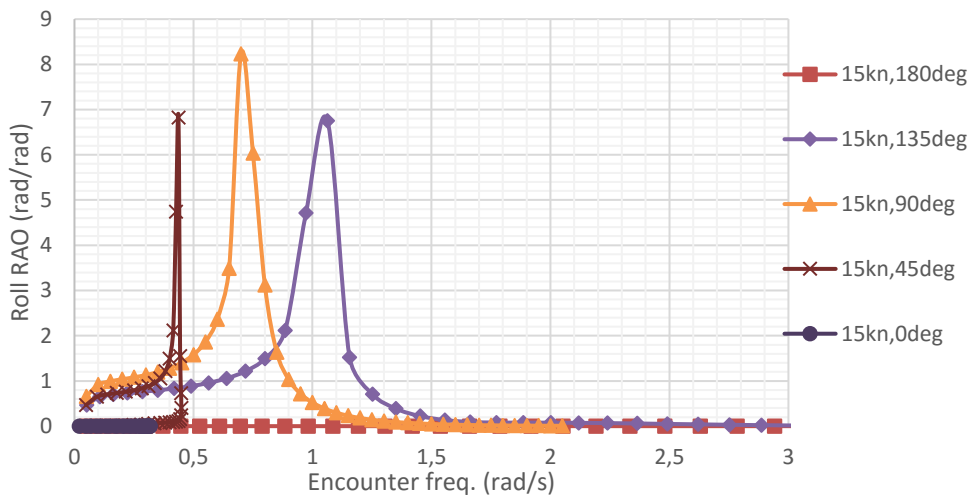


Gambar 4.12 Grafik *RAO heave* kecepatan 15 knot *Geomarin-IV* kondisi *Full load*

Berdasarkan Gambar 4.11 dan Gambar 4.12, dapat diketahui bahwa *RAO* gerakan *heaving* kondisi *full load* kapal *Geomarin-IV* dengan variasi sudut gelombang 180°, 135°, 90°, 45°, dan 0° didapatkan nilai tertinggi terjadi ketika kapal mengalami *beam seas* (sudut datang gelombang sebesar 90°) pada *encountering wave frequency* 1,17 rad/s dengan nilai *transfer function* mencapai 1,122 m/m untuk kecepatan 0 knot dan saat kapal mengalami *head seas* (sudut datang gelombang sebesar 180°) pada *encountering wave frequency* 1,25 rad/s dengan nilai *transfer function* mencapai 1,128 m/m untuk kecepatan 15 knot.

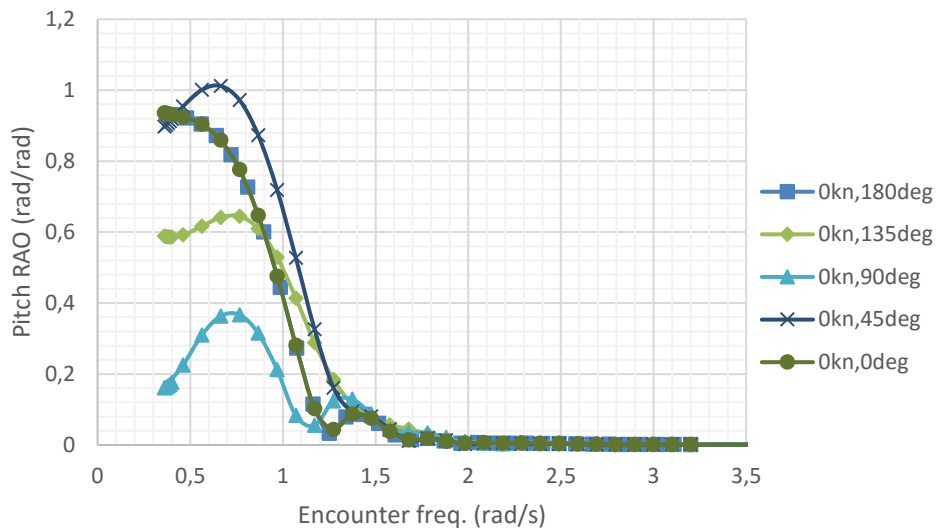


Gambar 4.13 Grafik *RAO roll* kecepatan 0 knot *Geomarin-IV* kondisi *Full load*

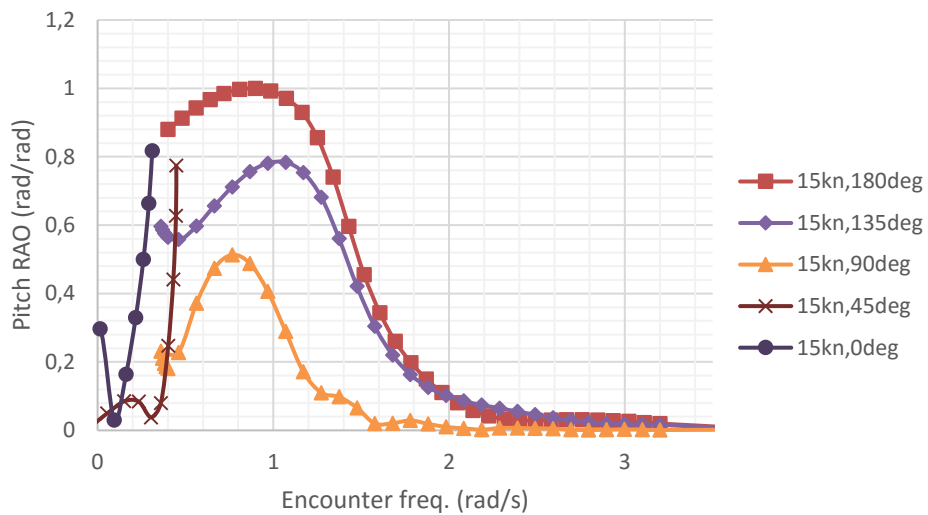


Gambar 4.14 Grafik *RAO roll* kecepatan 15 knot *Geomarin-IV* kondisi *Full load*

Dari Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 di atas dapat diketahui bahwa untuk *RAO* gerakan *rolling* kapal *Geomarin-IV* terbesar terjadi ketika kapal mengalami *beam seas* (sudut datang gelombang sebesar 90°) pada *encounter wave frequency* 0,76 deg/s yang memiliki nilai *transfer function* 6,034 rad/rad untuk kecepatan 0 knot dan 15 knot.



Gambar 4.15 Grafik *RAO pitch* kecepatan 0 knot *Geomarin-IV* kondisi *Full load*



Gambar 4.16 Grafik *RAO pitch* kecepatan 15 knot *Geomarin-IV* kondisi *Full load*

Berdasarkan Gambar 4.15 dan Gambar 4.16, dapat diketahui bahwa *RAO* gerakan *pitching* kondisi *full load* kapal *Geomarin-IV* dengan variasi sudut gelombang 180°, 135°, 90°, 45°, dan 0° didapatkan nilai tertinggi terjadi ketika kapal mengalami *stern quartering seas* (sudut datang gelombang sebesar 45°) dengan nilai *transfer function* 1,012 pada *encounter wave frequency* 0,664 rad/s untuk kecepatan 0 knot dan *head seas* (sudut datang gelombang sebesar 180°) dengan nilai *transfer function* maksimal 0,997 rad/rad untuk kecepatan 15 knot pada *encounter wave frequency* 0,81 rad/s.

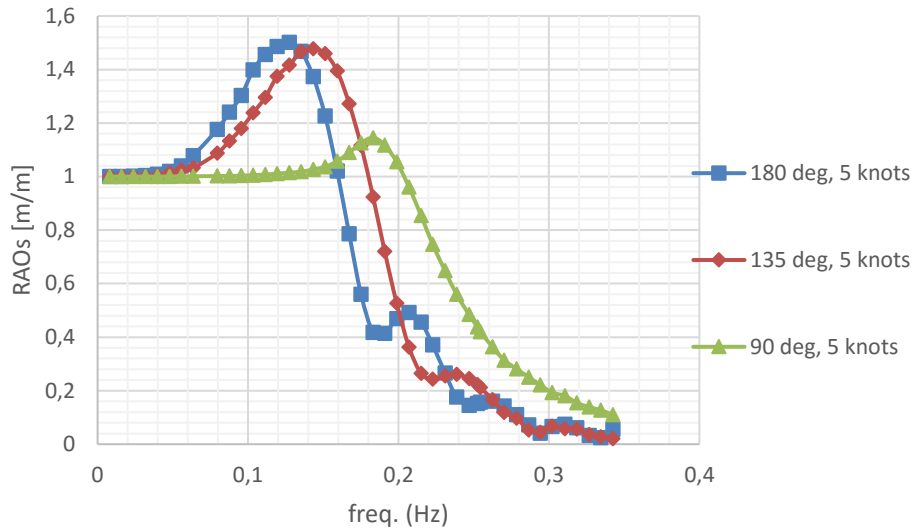
Dari hasil *RAO* di atas, terjadi beberapa perbedaan antara *RAO* saat kapal bergerak melaju dengan *RAO* kapal saat stasioner. Jika diamati dari grafik di atas, perbedaan besaran nilai *transfer function* sangat kecil sekali atau tidak signifikan. Namun perbedaan yang besar dapat dilihat pada pergeseran grafik tersebut terhadap frekuensi papasan gelombangnya (*wave encounter frequency*). *RAO* kapal saat bergerak melaju dengan kecepatan 15 *knots* memiliki bentuk grafik yang makin melebar dan bergeser ke arah kanan grafik dari *RAO* kapal stasioner (kecepatan 0 *knots*) untuk sudut datang gelombang 180° dan 135° . Hal ini dapat dilihat dari grafik *RAO* saat stasioner dominan terjadi pada frekuensi papasan gelombang antara 0,3 rad/s hingga 1 rad/s. Sementara untuk kapal yang melaju grafik respon kapal dominan berada pada frekuensi papasan antara 0,5 rad/s hingga 1,5 rad/s. Hal ini akibat adanya pergerakan kapal yang berlawanan dengan arah datang gelombang sehingga kecepatan gelombang dalam mengenai struktur kapal akan lebih cepat. Dengan kata lain frekuensi yang terjadi lebih besar dari pada kapal yang tidak melaju (stasioner).

Selanjutnya untuk sudut datang gelombang 45° dan 0° , terjadi pergeseran grafik yang berlawanan. Dalam grafik saat kapal stasioner, *RAO* dominan terjadi pada frekuensi papasan gelombang antara 0,3 rad/s hingga 1 rad/s. Sedangkan pada kondisi kapal melaju, terjadi perubahan di mana respon dominan terjadi pada frekuensi papasan gelombang antara 0 rad/s hingga 0,5 rad/s. Dengan kata lain dalam grafik saat kapal melaju tersebut terjadi pergeseran ke arah kiri jika dibandingkan dengan grafik saat kapal dalam kondisi stasioner. Adanya pergerakan kapal yang melaju searah dengan rambatan gelombang mengakibatkan jumlah gelombang yang berpapasan dengan kapal akan menjadi lebih sedikit. Hal ini yang menyebabkan pada grafik *RAO*, respon kapal dominan terjadi pada frekuensi papasan gelombang yang relatif lebih kecil.

Berbeda dengan arah sudut datang gelombang 90° , tidak terjadi perbedaan sama sekali baik dari nilai perhitungan maupun dari frekuensi papasan gelombang yang terjadi. Pergerakan kapal yang mengarah saling tegak lurus dengan sudut datang gelombang mengakibatkan tidak berpengaruhnya kecepatan kapal terhadap *RAO* kapal sehingga *RAO* antara stasioner maupun melaju sama.

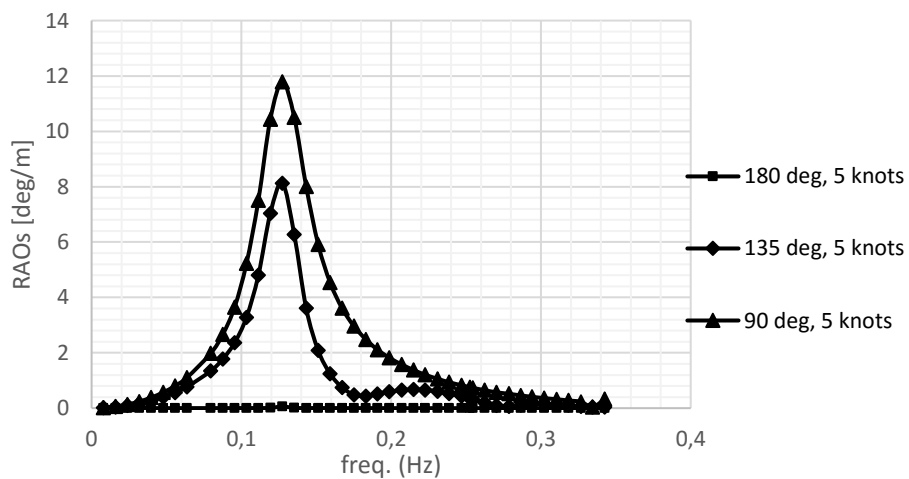
4.3.3 Kondisi *Light Load* dengan Penarikan *Streamer*

Sementara *RAO* yang digunakan dalam analisa kapal saat menarik *streamer* diperhitungkan dalam bentuk dimensional terhadap frekuensi (Hz), dapat dilihat pada grafik seperti Gambar 4.17 sampai dengan Gambar 4.19.



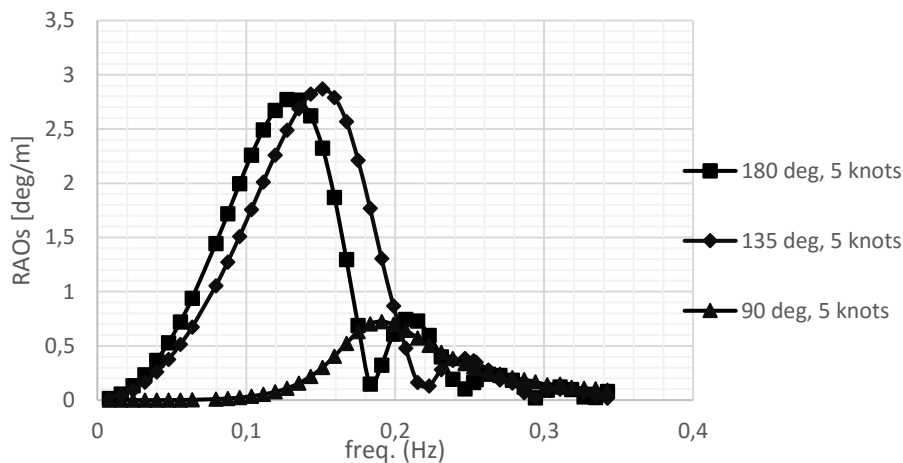
Gambar 4.17 Grafik *RAO heave* kecepatan 5 knot *Geomarin-IV*

Berdasarkan Gambar 4.17 di atas, *RAO* gerakan *heave* mengalami nilai maksimum pada frekuensi 0,12 Hz dengan nilai *transfer function* 1,485 di mana gerakan tersebut terjadi akibat eksitasi gelombang arah 180°. Sedangkan dari sudut gelombang 135° memiliki bentuk pola *RAO* yang mirip dengan sudut 180°.



Gambar 4.18 Grafik *RAO roll* kecepatan 5 knot *Geomarin-IV*

Untuk *RAO* gerakan *roll* kapal *Geomarin-IV* memiliki nilai yang maksimum pada frekuensi 0,13 Hz dengan nilai *RAO* sebesar 11,79 deg/m akibat gelombang dengan arah sudut datang 90°. Pola yang mirip namun dengan skala yang lebih kecil ditunjukkan grafik *RAO roll* akibat gelombang dari arah sudut 135°. Sedangkan untuk gelombang 180° menghasilkan *RAO roll* yang relatif sangat kecil sehingga dapat diabaikan.

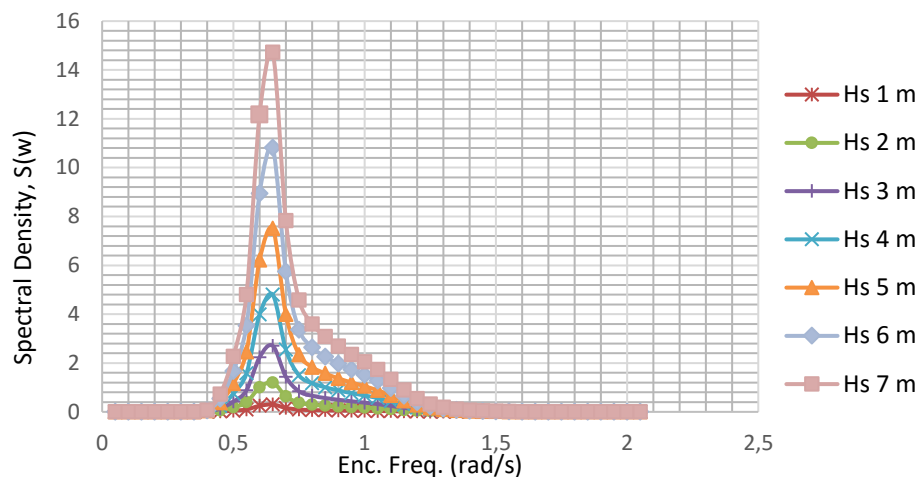


Gambar 4.19 Grafik *RAO pitch* kecepatan 5 knot *Geomarin-IV*

Kemudian untuk *RAO* gerakan *pitch* seperti yang tampak pada Gambar 4.19 memiliki nilai maksimum pada frekuensi 0,15 Hz dengan nilai *RAO* 2,86 deg/m yang diakibatkan oleh gelombang dengan arah sudut datang 135°. Pola yang hampir sama juga ditunjukkan grafik *RAO* yang diakibatkan gelombang dengan arah sudut datang 180° namun dengan skala yang lebih kecil. *RAO* gerakan *pitch* akibat gelombang dengan arah sudut datang 90° relatif cukup kecil, di mana memiliki nilai maksimum sebesar 0,72 deg/m pada frekuensi 0,19 Hz.

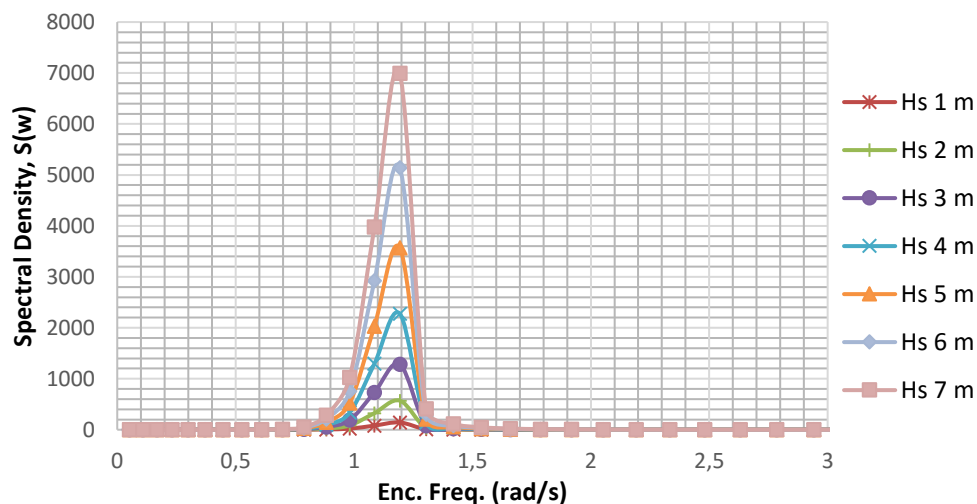
4.4 Respon Gerakan Saat Kapal Beroperasi Tanpa *Streamer* di Gelombang Acak

Dari hasil *RAO* yang telah didapat, kemudian dilanjutkan dalam perhitungan spektra respon kapal saat berada di perairan gelombang acak. Berikut ini merupakan grafik spektra respon dari beberapa kondisi yang memiliki nilai paling besar.



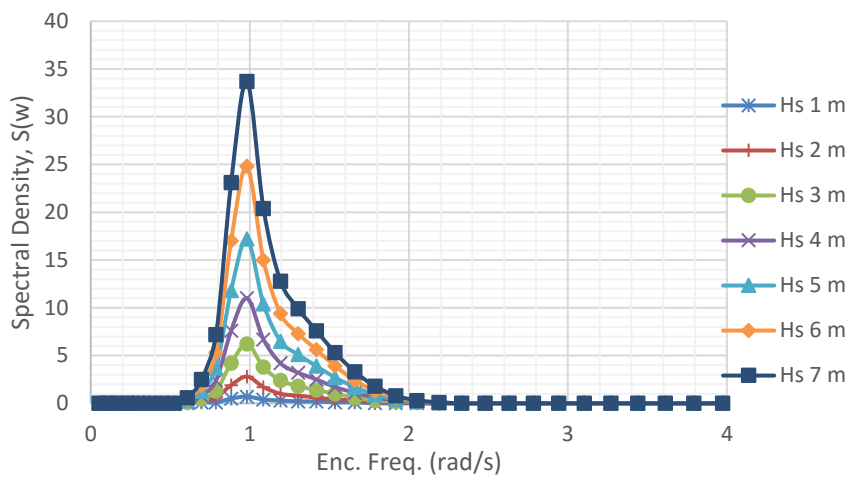
Gambar 4.20 Grafik spektra respon *heave full load Geomarin-IV* stasioner akibat gelombang arah 90°

Mode gerakan *heave* pada Gambar 4.20 di atas merupakan respon terbesar gerakan *heave* terjadi saat gelombang datang dari arah sudut 90° . Berdasarkan kurva yang dapat diamati juga menunjukkan luasan area di bawah kurva yang memiliki nilai terbesar dibandingkan dengan kurva lainnya yaitu akibat gelombang signifikan setinggi 7 m. Terlihat pada perbedaan kurva dengan variasi tinggi gelombang signifikan yang polanya semakin tinggi dengan lebar yang sedikit lebih besar, sehingga kurva spektra respon akibat gelombang yang lebih besar juga semakin besar pula luasan di bawah kurva jika dibandingkan dengan spektra respon akibat gelombang signifikan yang lebih kecil. Hal ini tentunya berdampak pada besar gerakan respon kapal yang terjadi.



Gambar 4.21 Grafik spektra respon *roll full load Geomarin-IV* Stasioner akibat gelombang arah 90°

Untuk gerakan *roll* kondisi *full load* pada saat stasioner, pergerakan terbesar terjadi pada arah datang gelombang 90° . Terlihat pada perbedaan kurva dengan variasi tinggi gelombang signifikan yang polanya semakin tinggi dengan lebar yang sedikit lebih besar, sehingga kurva spektra respon akibat gelombang yang lebih besar juga mengakibatkan semakin besar pula luasan di bawah kurva jika dibandingkan dengan spektra respon akibat gelombang signifikan yang lebih kecil. Hal ini tentunya berdampak pada besar gerakan respon kapal yang terjadi. Kemudian untuk gerakan *pitching* akan disajikan dalam Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Grafik spektra respon *pitch full load Geomarin-IV* Stasioner akibat gelombang arah 180°

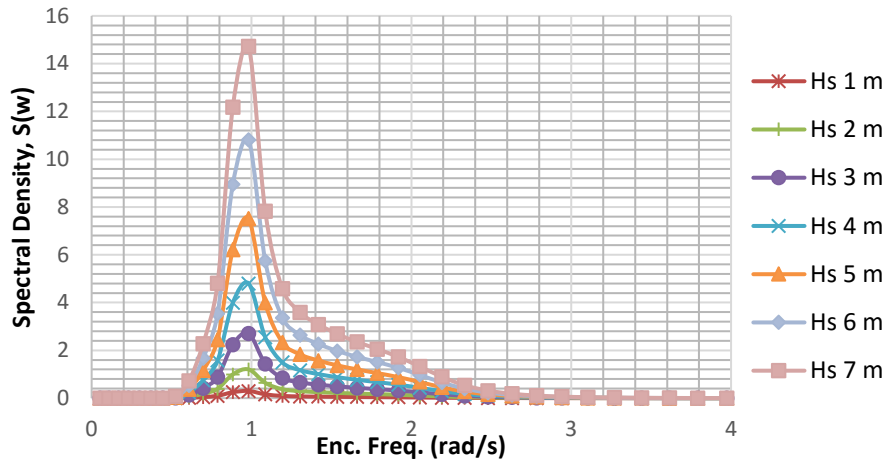
Secara garis besar, dalam gambar di atas tersebut bisa didapatkan nilai akar kuadrat dari varian-varian kurva-kurva di atas. Nilai-nilai ini akan dibutuhkan dalam analisa-analisa selanjutnya. Untuk mempermudah mengamati hasil dari gambar di atas, dapat dilihat pada tabel berikut ini. Nilai-nilai yang tersaji dalam tabel berikut merupakan nilai akar kuadrat varian atau yang disebut dengan istilah *Root Mean Square* (RMS) berdasarkan variasi gerakan terhadap tinggi gelombang signifikan. Pada tabel 4.5 memuat keseluruhan nilai *RMS* dari seluruh respon spektra kondisi *full load* pada setiap mode gerakan kapal. Berikut merupakan tabel 4.5 yang berisi nilai *RMS* gerakan tiap-tiap arah gelombang, terhadap tinggi gelombang signifikan yang terjadi.

Tabel 4.5 Nilai *RMS* vs. tinggi gelombang signifikan *full load 0 knots*

180deg	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
Heave motion	0	0,171	0,342	0,514	0,685	0,856	1,027	1,198
Roll motion	0	0	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00002	0,00002
Pitch motion	0	0,53	1,05	1,58	2,11	2,64	3,16	3,69
135deg	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
Heave motion	0	0,206	0,412	0,618	0,825	1,031	1,237	1,443
Roll motion	0	1,64	3,29	4,93	6,57	8,22	9,87	11,51
Pitch motion	0	0,47	0,94	1,42	1,89	2,36	2,83	3,3
90deg	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
Heave motion	0	0,25	0,50	0,76	1,01	1,26	1,51	1,76
Roll motion	0	2,90	5,79	8,69	11,58	14,48	17,38	20,27
Pitch motion	0	0,03	0,07	0,10	0,13	0,16	0,20	0,23
45deg	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
Heave motion	0	0,198	0,396	0,593	0,791	0,989	1,187	1,385
Roll motion	0	1,66	3,33	4,99	6,65	8,31	9,98	11,64
Pitch motion	0	0,48	0,96	1,45	1,93	2,41	2,89	3,37
0deg	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
Heave motion	0	0,163	0,327	0,49	0,654	0,817	0,98	1,144
Roll motion	0	0,00001	0,00001	0,00002	0,00002	0,00003	0,00003	0,00004
Pitch motion	0	0,53	1,06	1,59	2,11	2,64	3,17	3,7
* <i>Heave</i> (m), <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> (deg)								

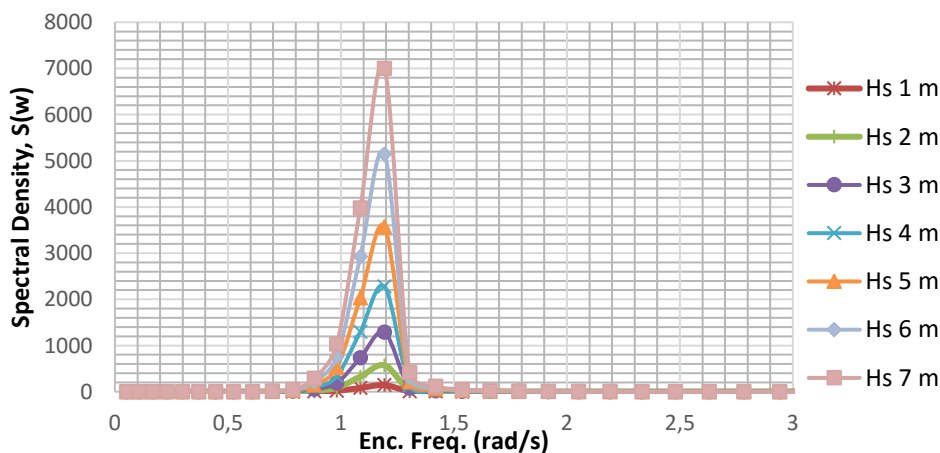
Berdasarkan gambar dan tabel di atas, dapat diamati bahwa adanya perubahan tinggi gelombang signifikan mengakibatkan perubahan pada tinggi puncak kurva, hal ini disebabkan karena terjadinya perubahan pada spektrum gelombang. Gerakan *heave* dan *roll* terbesar terjadi akibat gelombang dengan arah sudut 90° , gerakan *pitch* terbesar akibat gelombang dengan arah 180° . Pada gelombang dengan arah sudut 180° dan 0° menimbulkan nilai *RMS* pergerakan *roll* sangat kecil sekali. Sementara untuk gerakan *pitch* memiliki nilai *RMS* paling kecil pada kondisi kapal saat berpapasan dengan gelombang arah sudut 90° . Sementara untuk gerakan *heave* terbesar pada 90° karena luasan daerah yang terkena gaya angkat gelombang pada arah sudut ini memiliki area yang terbesar sehingga gaya

angkat paling besar dibandingkan dari arah sudut lainnya. Hal ini yang menyebabkan gerakan *heave* terjadi pada arah gelombang 90° .



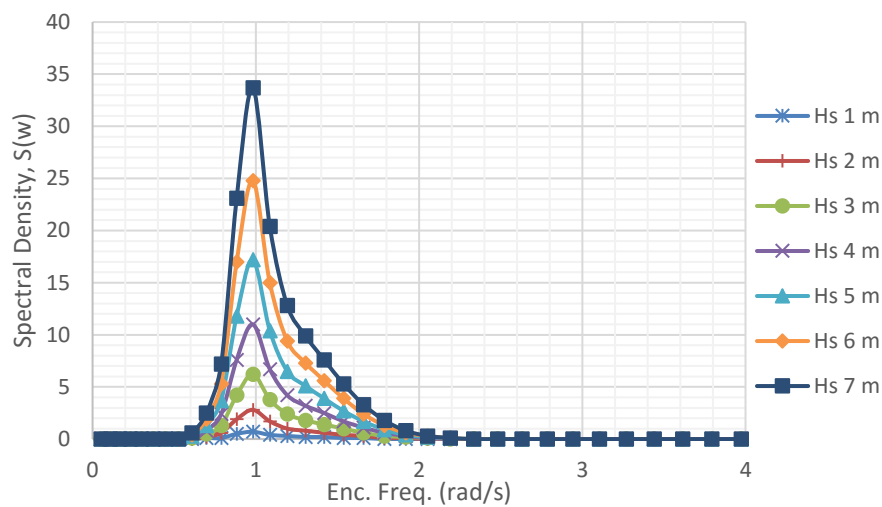
Gambar 4.23 Grafik spektra respon *heave full load Geomarin-IV* melaju

Pada grafik gerakan *heave* saat kapal melaju, terdapat perbedaan dengan respon spektra saat kapal stasioner. Perbedaan utama terletak pada pergeseran grafik semakin ke kanan untuk kapal yang melaju, dengan kata lain dominan terjadi pada frekuensi papasan gelombang yang lebih besar. Selain itu pada rentang kurva juga terjadi sedikit pelebaran rentang kurva namun dengan tinggi puncak yang lebih rendah. Hal ini berlaku untuk arah datang gelombang 180° dan 135° . Sebaliknya terjadi pada arah sudut gelombang 45° dan 0° bergeser ke arah kiri dari grafik. Namun tidak terdapat perbedaan antara stasioner dan melaju pada respon akibat gelombang arah 90° .



Gambar 4.24 Grafik spektra respon *roll full load Geomarin-IV* melaju

Pada grafik gerakan *roll* saat kapal melaju, terdapat perbedaan dengan respon spektra saat kapal stasioner. Perbedaan utama terletak pada pergeseran grafik semakin ke kanan untuk kapal yang melaju, dengan kata lain dominan terjadi pada frekuensi papasan gelombang yang lebih besar. Selain itu pada rentang kurva juga terjadi sedikit pelebaran rentang kurva namun dengan tinggi puncak yang lebih rendah. Hal ini berlaku untuk arah datang gelombang 135° . Sebaliknya terjadi pada arah sudut gelombang 45° bergeser ke arah kiri dari grafik. Namun tidak terdapat perbedaan antara stasioner dan melaju pada respon akibat gelombang arah 90° . Sementara pada sudut 180° dan 0° terjadi gerakan *roll* yang sangat kecil.



Gambar 4.25 Grafik spektra respon *pitch full load Geomarin-IV* melaju

Pada grafik gerakan *pitch* saat kapal melaju, perbedaan dengan respon spektra saat kapal stasioner terletak pada pergeseran grafik semakin ke kanan untuk kapal yang melaju, dengan kata lain dominan terjadi pada frekuensi papasan gelombang yang lebih besar untuk arah datang gelombang 180° dan 135° . Selain itu pada rentang kurva tersebut juga terjadi sedikit pelebaran rentang kurva namun dengan tinggi puncak yang sedikit lebih rendah. Hal ini berlaku sebaliknya terjadi pada arah sudut gelombang 45° dan 0° di mana kurva dari keduanya bergeser ke arah kiri dari grafik. Namun tidak terdapat perbedaan antara stasioner dan melaju pada respon akibat gelombang arah 90° .

Dari hasil di atas, perbedaan antara kondisi saat stasioner dan saat kapal bergerak melaju tidak begitu besar. Perbedaan yang mencolok terjadi pada nilai

kecepatan dan percepatan dari *motions* respon kapal. Untuk hasil nilai *RMS* dari gambar spektra respon di atas, dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.6 Nilai RMS vs. tinggi gelombang signifikan *full load 15 knots*

180deg	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
Heave motion	0	0,171	0,342	0,514	0,685	0,856	1,027	1,198
Roll motion	0	0	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00002	0,00002
Pitch motion	0	0,53	1,05	1,58	2,11	2,64	3,16	3,69
135deg	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
Heave motion	0	0,206	0,412	0,618	0,825	1,031	1,237	1,443
Roll motion	0	1,64	3,29	4,93	6,57	8,22	9,87	11,51
Pitch motion	0	0,47	0,94	1,42	1,89	2,36	2,83	3,3
90deg	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
Heave motion	0	0,25	0,50	0,76	1,01	1,26	1,51	1,76
Roll motion	0	2,90	5,79	8,69	11,58	14,48	17,38	20,27
Pitch motion	0	0,03	0,07	0,10	0,13	0,16	0,20	0,23
45deg	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
Heave motion	0	0,198	0,396	0,593	0,791	0,989	1,187	1,385
Roll motion	0	1,66	3,33	4,99	6,65	8,31	9,98	11,64
Pitch motion	0	0,48	0,96	1,45	1,93	2,41	2,89	3,37
0deg	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
Heave motion	0	0,163	0,327	0,49	0,654	0,817	0,98	1,144
Roll motion	0	0,00001	0,00001	0,00002	0,00002	0,00003	0,00003	0,00004
Pitch motion	0	0,53	1,06	1,59	2,11	2,64	3,17	3,7
* Heave (m), Roll dan Pitch (deg)								

Gambar grafik spektra respon kapal hanya ditampilkan dengan kondisi pembebanan *full load* saja. Spektra respon kapal dalam kondisi pembebanan *light load* memiliki bentuk grafik yang serupa dengan kondisi *full load* namun memiliki nilai respon yang lebih besar. Distribusi *spektral density* memiliki nilai yang lebih besar bila dibandingkan dengan kondisi *full load* di atas. Hal ini terjadi akibat adanya pengaruh hidrostatis kapal yang berubah saat kondisi *light load*, serta penurunan/pengurangan gaya berat kapal cukup signifikan yang berdampak pada berkurangnya gaya untuk momen pengembali kapal sehingga mempengaruhi stabilitas kapal.

Dari hasil spektra respon kapal dengan pembebanan *light load*, didapatkan nilai-nilai akar kuadrat dari varian kurva spektra respon (*RMS*).

Tabel 4.7 Nilai *RMS* vs. tinggi gelombang signifikan *light load 15 knots*

180deg	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
Heave motion	0	0,17	0,34	0,52	0,69	0,86	1,03	1,20
Roll motion	0	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05
Pitch motion	0	0,55	1,09	1,64	2,18	2,73	3,28	3,82
135deg	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
Heave motion	0	0,20	0,41	0,61	0,81	1,01	1,22	1,42
Roll motion	0	1,89	3,77	5,66	7,54	9,44	11,32	13,21
Pitch motion	0	0,49	0,97	1,46	1,94	2,43	2,92	3,40
90deg	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
Heave motion	0	0,26	0,52	0,78	1,041	1,301	1,561	1,821
Roll motion	0	2,98	5,97	8,95	11,92	14,91	17,9	20,88
Pitch motion	0	0,077	0,15	0,23	0,31	0,39	0,46	0,54
45deg	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
Heave motion	0	0,20	0,40	0,59	0,79	0,99	1,19	1,39
Roll motion	0	1,93	3,85	5,78	7,70	9,63	11,56	13,48
Pitch motion	0	0,48	0,97	1,45	1,93	2,42	2,90	3,39
0deg	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
Heave motion	0	0,17	0,33	0,50	0,67	0,84	1,00	1,17
Roll motion	0	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08
Pitch motion	0	0,54	1,08	1,62	2,17	2,71	3,25	3,79
* Heave (m), Roll dan Pitch (deg)								

Setelah didapatkan nilai-nilai dari *RMS* tersebut, akan digunakan untuk melakukan analisa perhitungan perkiraan amplitudo gerakan dari kapal tersebut saat berlayar di perairan lepas. Perhitungan perkiraan besar gerakan kapal akan dilakukan menggunakan persamaan yang sudah dijelaskan dalam bab sebelumnya pada Tabel 2.1. Diketahui bahwa perhitungan yang digunakan dalam tabel tersebut menggunakan nilai m_0 yang diakar kuadratkan. Nilai akar kuadrat dari m_0 tersebut merupakan nilai (*RMS*) yang didapatkan dari hasil perhitungan luasan area yang berada di bawah kurva spektra respon yang kemudian nilai dari luasan tersebut diakar kuadratkan, seperti yang sedang dibahas pada bab ini.

Tabel 4.8 Nilai *RMS* vs. tinggi gelombang signifikan *light load 0 knots*

180deg	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
Heave motion	0	0,172	0,344	0,516	0,688	0,86	1,032	1,204
Roll motion	0	0,0073	0,015	0,022	0,029	0,037	0,044	0,051
Pitch motion	0	0,55	1,09	1,64	2,18	2,73	3,28	3,82
135deg	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
Heave motion	0	0,203	0,405	0,608	0,81	1,013	1,215	1,418
Roll motion	0	1,89	3,77	5,66	7,54	9,44	11,32	13,21
Pitch motion	0	0,49	0,97	1,46	1,94	2,43	2,92	3,4
90deg	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
Heave motion	0	0,26	0,52	0,78	1,041	1,301	1,561	1,821
Roll motion	0	2,98	5,97	8,95	11,92	14,91	17,9	20,88
Pitch motion	0	0,077	0,15	0,23	0,31	0,39	0,46	0,54
45deg	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
Heave motion	0	0,198	0,396	0,594	0,792	0,99	1,188	1,386
Roll motion	0	1,93	3,85	5,78	7,7	9,63	11,56	13,48
Pitch motion	0	0,48	0,97	1,45	1,93	2,42	2,9	3,39
0deg	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
Heave motion	0	0,167	0,334	0,501	0,669	0,835	1,002	1,169
Roll motion	0	0,012	0,023	0,035	0,047	0,058	0,07	0,081
Pitch motion	0	0,54	1,08	1,62	2,17	2,71	3,25	3,79
* <i>Heave</i> (m), <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> (deg)								

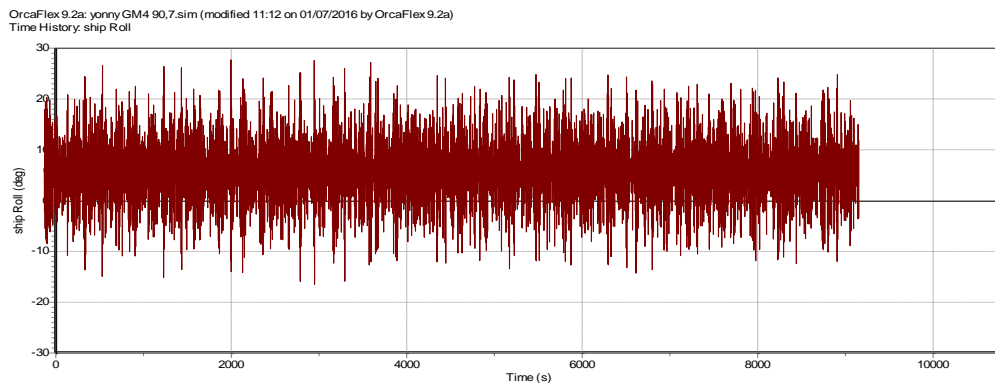
Selain dilakukan perhitungan besar respon gerakan kapal pada gelombang acak, dengan menggunakan kurva spektra respon juga perlu dilakukan perhitungan varian m_2 dan m_4 atau yang diistilahkan sebagai momen ke-2 dan momen ke-4 dari luasan area dibawah kurva spektra respon. Momen ke-2 (m_2) merupakan varian kecepatan dari respon gerakan kapal yang dialami. Setelah didapatkan nilai momen ke-2 dari kurva spektra respon tersebut, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan kecepatan rata-rata maupun kecepatan signifikan dengan menggunakan persamaan yang terdapat pada Tabel 2.1 dengan mengubah nilai m_0 dengan nilai m_2 atau m_4 sesuai dengan yang diperhitungkan.

Sedangkan momen ke-4 dari kurva tersebut merupakan varian percepatan yang dialami kapal. Dengan cara yang sama dengan perhitungan dua jenis varian

sebelumnya, akan didapatkan nilai percepatan rata-rata dari masing-masing kurva maupun percepatan signifikannya.

4.5 Gerakan Kapal dengan Operasi *Streamer* di Gelombang Acak

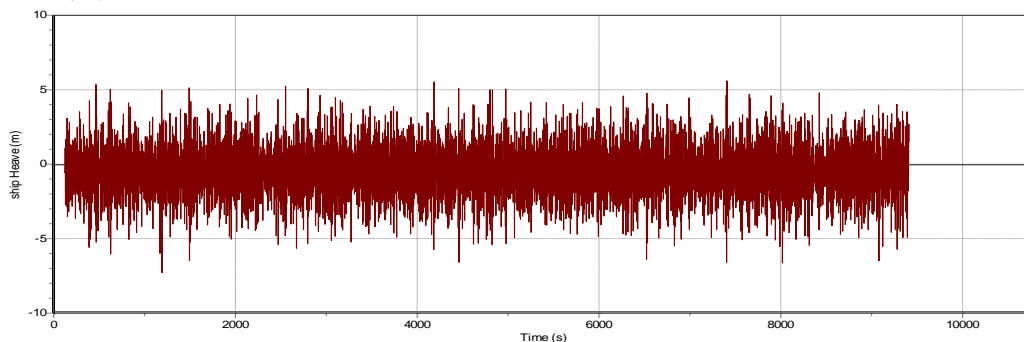
Selanjutnya untuk pembahasan respon gerak kapal terhadap gelombang acak saat beroperasi menarik peralatan survei seismik, perhitungan akan menggunakan metode simulasi berdasarkan *time domain*. Perhitungan saat kapal melakukan operasi survei seismik dilakukan dalam kondisi pembebanan *light load*. Diharapkan pembebanan *light load* ini dapat mewakili pergerakan saat kondisi *full load*. Selain itu juga dilakukan pengurangan variasi kondisi seperti yang disebutkan dalam batasan masalah dikarenakan keterbatasan kemampuan perangkat yang digunakan. Berikut merupakan grafik nilai maksimum dari perkiraan respon gerakan kapal *Geomarin-IV* saat melakukan survei seismik.



Gambar 4.26 Grafik respon roll maksimum *Geomarin-IV* dengan *Streamer* akibat gelombang H_s 7 m

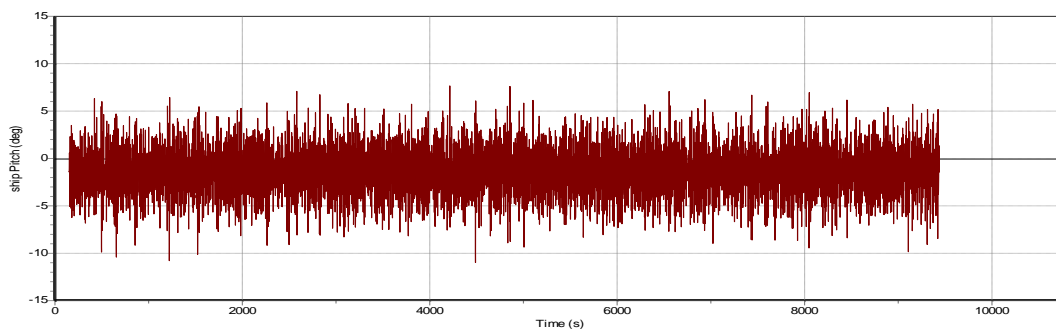
Data statistik elevasi gerakan kapal pada gelombang acak dalam kondisi beroperasi survei seismik tiap-tiap interval waktu tertentu selanjutnya diolah dengan mencari nilai rata-rata elevasi keseluruhan. Kemudian nilai tiap-tiap elevasi dikurangkan dengan harga rata-rata dan dikuadratkan untuk mendapatkan nilai baru. Penjumlahan dari keseluruhan nilai baru tersebut kemudian dibagi dengan banyaknya data untuk mendapatkan varian (harga m_0) dari data statistik tersebut. Sehingga didapatkan nilai RMS, amplitudo rata-rata dan signifikan dari gerakan *roll*. Gerakan *roll* terbesar terjadi pada sudut datang gelombang 90° . Akibat

gelombang arah 90° Gambar 4.26 di atas memiliki nilai m_0 sebesar $1,15 \text{ deg}^2$ untuk gelombang signifikan 1 m, dan $56,51 \text{ deg}^2$ untuk tinggi gelombang signifikan 7 m.



Gambar 4.27 Grafik respon *heave* maksimum *Geomarin-IV* dengan *streamer* akibat gelombang H_s 7 m

Untuk gerakan *heave* dilakukan pengolahan data statistik dengan cara yang sama, sehingga didapatkan nilai m_0 dari grafik 4.27 sebesar $4,28 \text{ m}^2$ untuk tinggi gelombang signifikan 7 m, dan $0,09 \text{ m}^2$ untuk tinggi gelombang signifikan 1 m. Gerakan *heave* maksimum terjadi akibat gelombang dengan arah sudut 180° terhadap kapal.



Gambar 4.28 Grafik respon *pitch* maksimum *Geomarin-IV* dengan *streamer* akibat gelombang H_s 7 m

Sedangkan untuk gerakan *pitch* dilakukan pengolahan data statistik dengan cara yang sama, sehingga didapatkan nilai m_0 dari grafik 4.28 sebesar $8,60 \text{ deg}^2$ untuk tinggi gelombang signifikan 7 m, dan $0,193 \text{ deg}^2$ untuk tinggi gelombang signifikan 1 m. Gerakan *pitch* maksimum terjadi akibat gelombang dengan arah sudut 180° terhadap kapal.

Gerakan respon kapal saat melakukan operasi survei seismik memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan pada saat kapal beroperasi tanpa menarik beban

streamer dan peralatan sistem survei seismik lainnya. Hal ini terjadi akibat adanya penambahan faktor kekakuan yang menahan kedua gerakan tersebut. Untuk gerakan *pitch* peralatan survei menahan gerakan kapal karena posisi *streamer* yang memiliki tarikan pada buritan kapal saat kapal mengalami gerakan *pitch*. Sementara untuk gerakan *roll* juga tertahan akibat adanya tarikan *streamer* yang begitu panjang yang terletak pada kedua sisi kapal (kanan dan kiri).

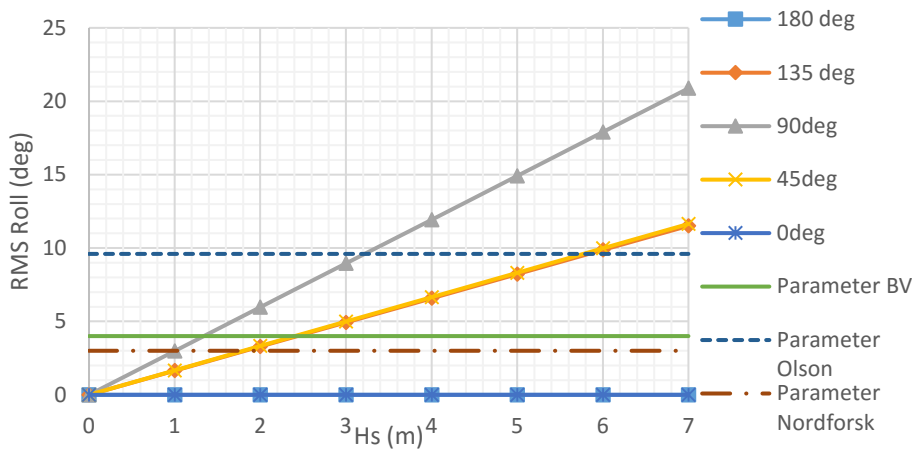
4.6 Operabilitas

Dengan didapatkannya hasil dari respon kapal di gelombang acak, selanjutnya dapat dilakukan integrasi antara respon gerak kapal terhadap tinggi gelombang signifikan dengan beberapa kriteria-kriteria yang telah ada. Beberapa kriteria yang digunakan adalah kriteria operabilitas dari Olson baik untuk kapal militer umum maupun untuk kapal dengan helikopter. Penggunaan kriteria kapal dengan helikopter diasumsikan sebagai kriteria adanya operasi kegiatan manusia di atas deck kapal. Selain itu juga digunakan kriteria yang dikeluarkan oleh Bureau Veritas (BV) dan kriteria dari Nordforsk. Proses ini dilakukan agar dapat mengetahui bagaimana perkiraan operabilitas desain kapal *Geomarin-IV* ini.

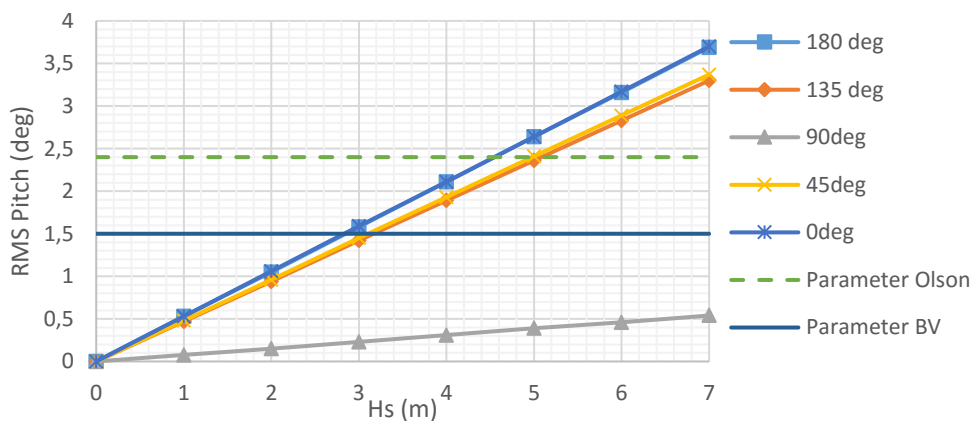
Dalam mempermudah integrasi yang dilakukan kali ini, beberapa kriteria dilakukan penyesuaian nilai sesuai dengan data yang tersedia. Kriteria yang diambil dari penelitian yang dilakukan oleh Olson (1978) untuk kriteria *roll average* dan *pitch average*, dilakukan penyesuaian dengan mentransformasikan nilai kriteria *average* menjadi nilai *RMS*. Begitu pula untuk beberapa nilai kriteria yang lain dilakukan penyesuaian dengan data yang tersedia.

4.7.1. Operasi Umum *Full Load Stationer*

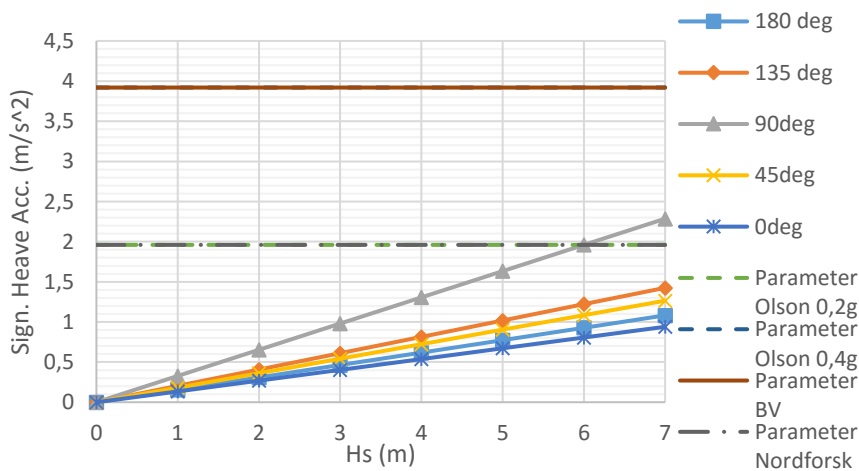
Perkiraan operabilitas operasi umum dilakukan menggunakan kriteria Olson umum, dengan diikuti beberapa parameter dari BV, dan Nordforsk.



Gambar 4.29 RMS Roll vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi Full Load, 0 knots



Gambar 4.30 RMS Pitch vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi Full Load, 0 knots

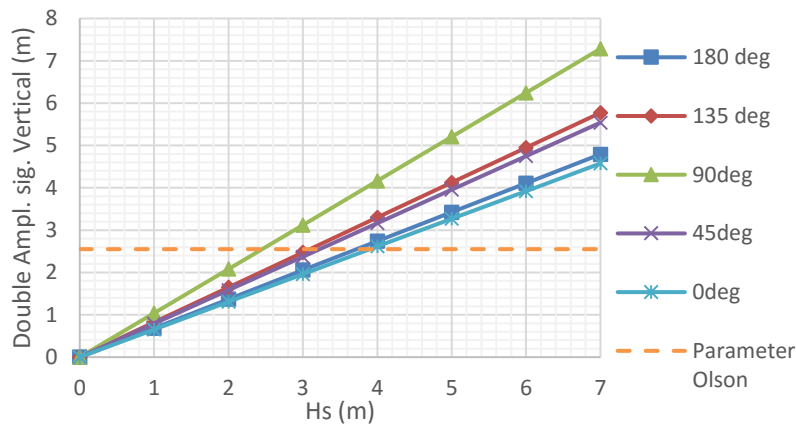


Gambar 4.31 Percepatan Signifikan heave vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi Full Load, 0 knots

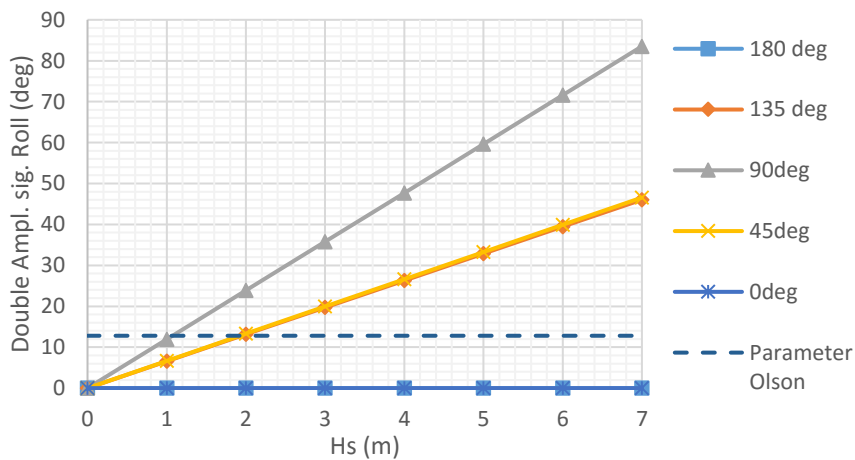
Berdasarkan Gambar 4.29 sampai dengan Gambar 4.31 dapat diketahui bawa batas tinggi gelombang signifikan maksimal pada 1,4 m jika mengacu pada BV. Untuk parameter dari Nordforsk tidak jauh berbeda dengan parameter BV sebesar 1,15 m. Sedangkan untuk kriteria Olson membatasi hingga tinggi gelombang signifikan mencapai 3,4 m. Selebihnya tinggi gelombang di atas itu kapal dianggap tidak mampu beroperasi secara optimal.

4.7.2. Operasi Helikopter *Full Load Stasioner*

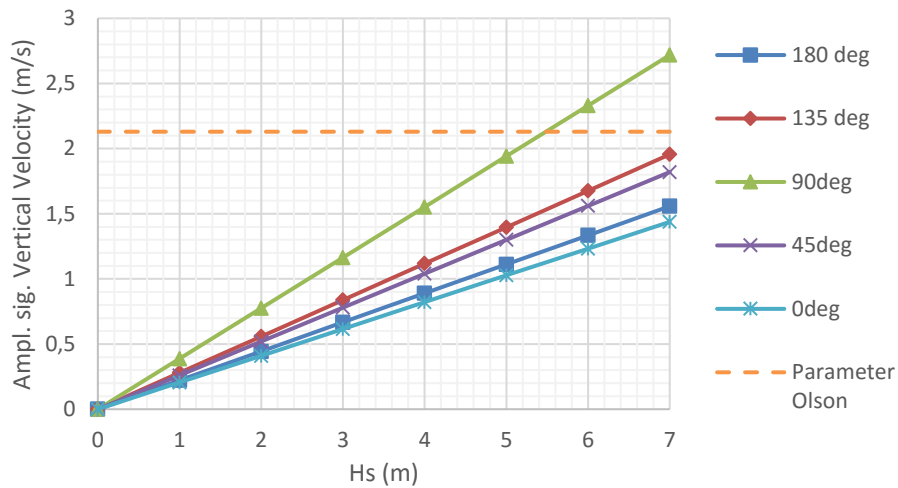
Sedangkan dalam kondisi *full load* untuk operasi tertentu seperti transfer muatan atau personil baik dari helikopter ke kapal, maupun dari kapal ke kapal digunakan kriteria helikopter.



Gambar 4.32 Double Ampl. Signifikan vertikal vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi *Full Load, 0 knots*



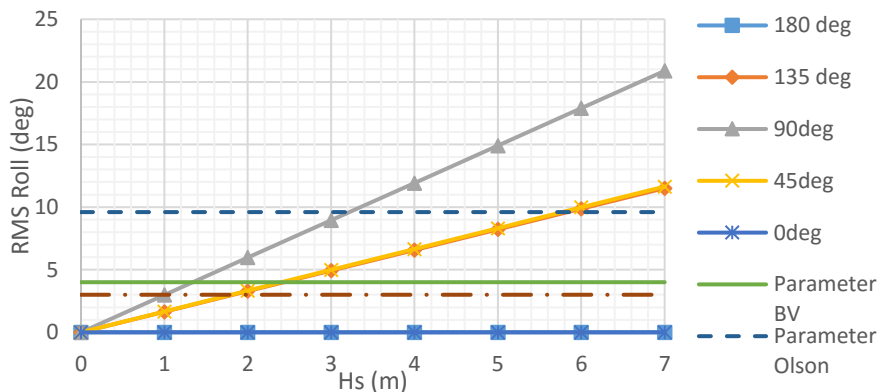
Gambar 4.33 Double Ampl. Signifikan Roll vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi *Full Load, 0 knots*



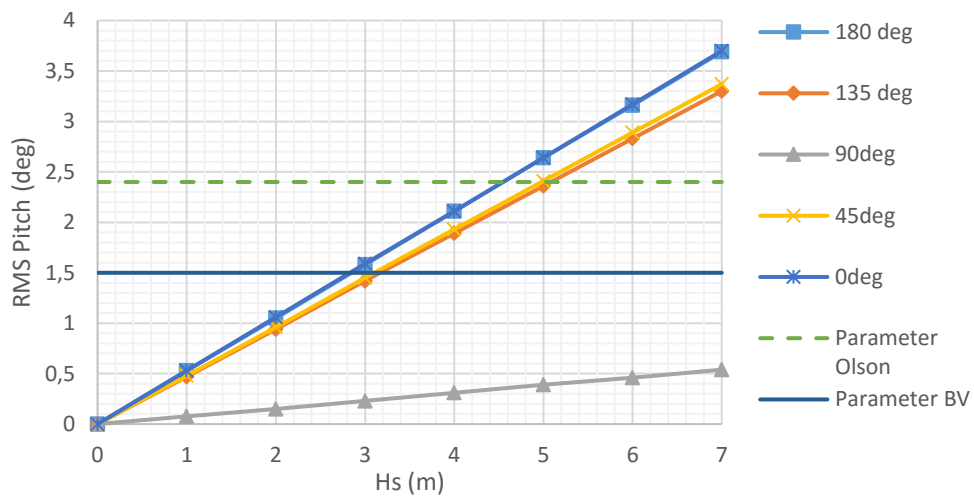
Gambar 4.34 Ampl. Signifikan Kecepatan Vertikal vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi *Full Load, 0 knots*

Berdasarkan Gambar 4.32 sampai dengan Gambar 4.34 dapat diketahui bahwa batas tinggi gelombang signifikan maksimal pada 1,15 m. Selibuhnya akan melampaui kriteria pada gerakan signifikan *roll* jika terkena gelombang dengan arah 90°. Sehingga operabilitas kapal pada saat *full load* tidak dapat dilakukan operasi transfer muatan ataupun personil dari helikopter ke kapal, maupun dari kapal ke kapal. Operasi bisa saja dilakukan dengan cara memutar arah kapal sehingga dapat menghindari gelombang dari arah 90°. Dengan demikian maka batas tersebut bisa dilonggarkan lebih besar.

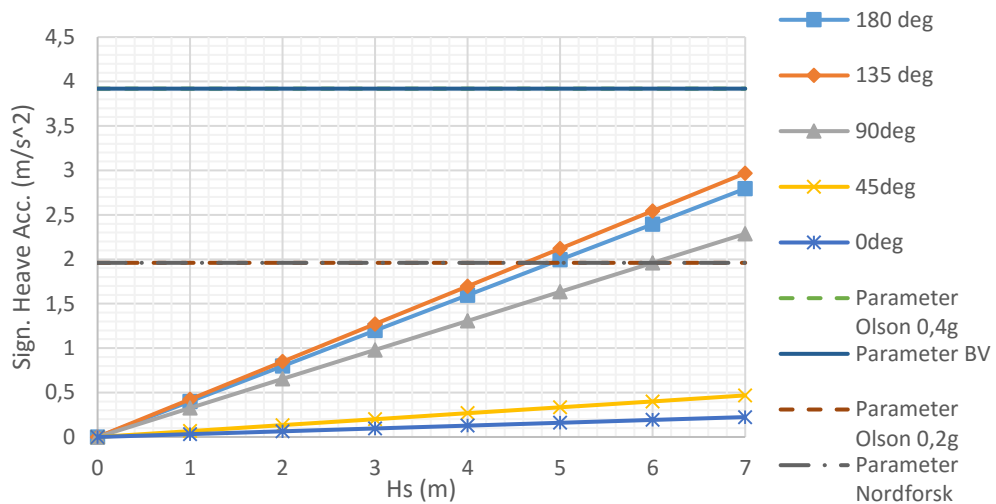
4.7.3. Operasi Umum *Full Load* Melaju



Gambar 4.35 RMS Roll vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi *Full Load, 15 knots*



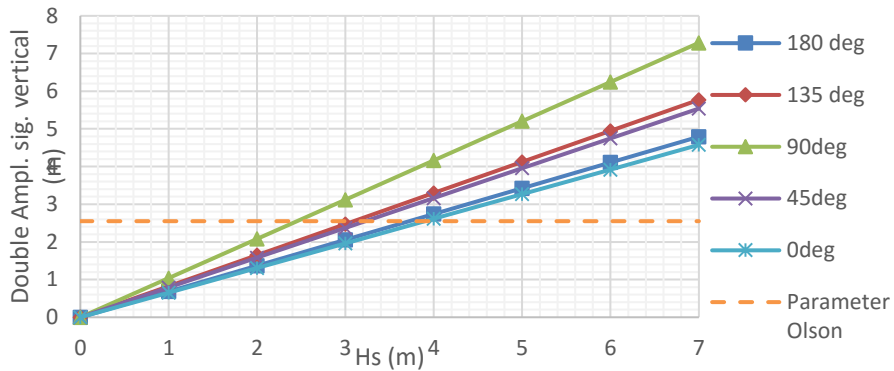
Gambar 4.36 RMS Pitch vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi Full Load, 15 knots



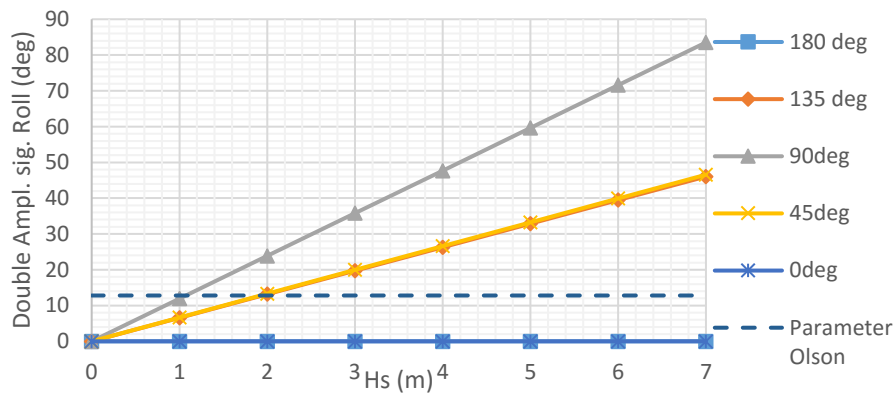
Gambar 4.37 Percepatan Signifikan heave vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi Full Load, 15 knots

Berdasarkan Gambar 4.35 sampai dengan Gambar 4.37 dapat diketahui bawa batas tinggi gelombang signifikan maksimal pada 1,3 m jika mengacu pada BV. Untuk parameter dari Nordforsk tidak jauh berbeda dengan parameter BV sebesar 1,1 m. Sedangkan untuk kriteria Olson membatasi hingga tinggi gelombang signifikan mencapai 3,2 m. Selebihnya tinggi gelombang di atas itu kapal dianggap tidak mampu beroperasi secara optimal pada kecepatan 15 knots.

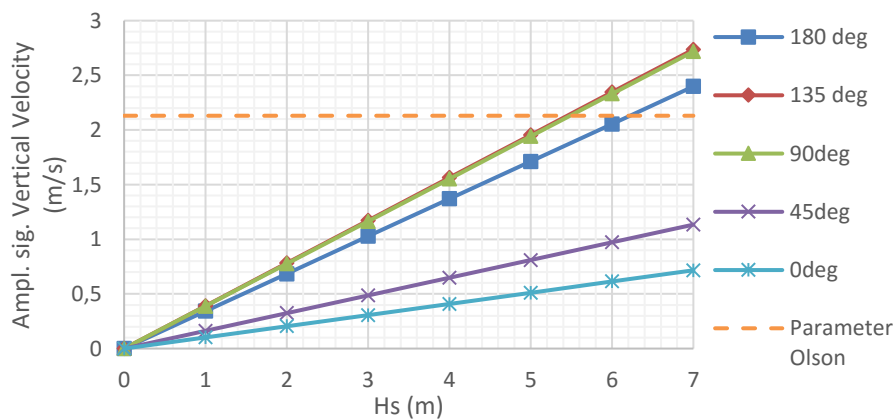
4.7.4. Operasi Helikopter *Full Load* Melaju



Gambar 4.38 Double Ampl. Signifikan vertikal vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi *Full Load*, 15 knots



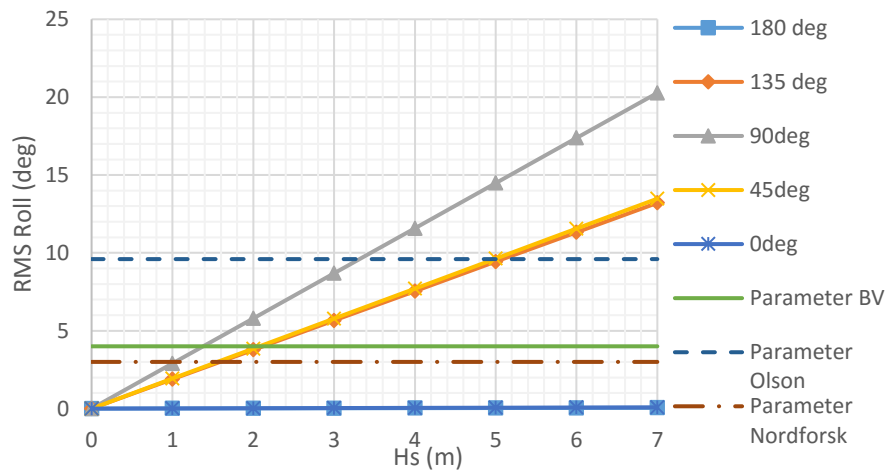
Gambar 4.39 Double Ampl. Signifikan *Roll* vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi *Full Load*, 15 knots



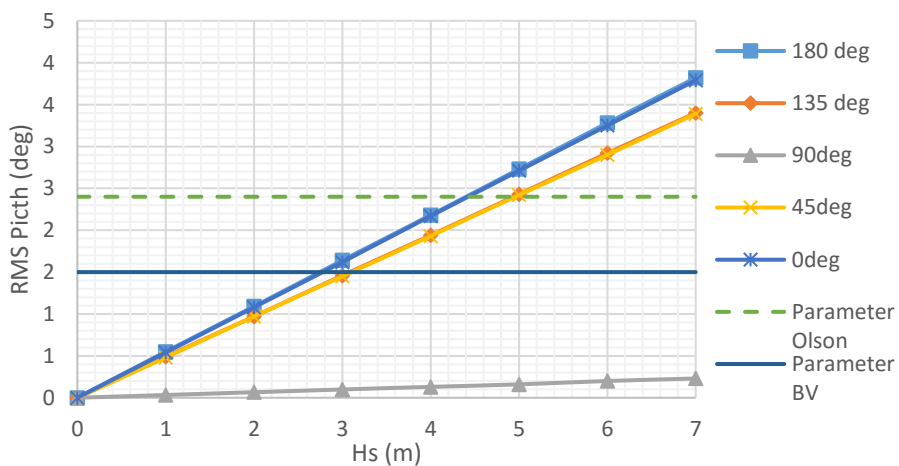
Gambar 4.40 Ampl. Signifikan Kecepatan Vertikal vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi *Full Load*, 15 knots

Berdasarkan Gambar 4.38 sampai dengan Gambar 4.40 dapat diketahui bawa batas tinggi gelombang signifikan maksimal pada 1,1 m. Selibuhnya akan melampaui kriteria pada gerakan signifikan *roll* jika terkena gelombang dengan arah 90°. Sehingga operabilitas kapal pada saat *full load* dengan kecepatan 15 *knots* tidak dapat dilakukan operasi transfer muatan ataupun personil dari helikopter ke kapal, maupun dari kapal ke kapal. Operasi bisa saja dilakukan dengan cara melakukan manuver sehingga dapat menghindari gelombang dari arah 90°. Dengan demikian maka batas tersebut bisa dilonggarkan lebih besar.

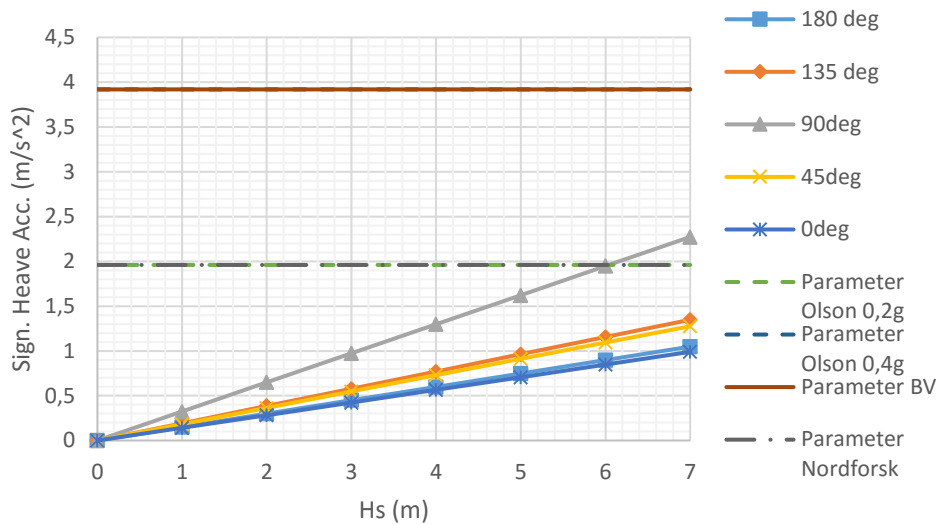
4.7.5. Operasi Umum *Light Load* Stasioner



Gambar 4.41 RMS Roll vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi *Light Load*, 0 *knots*



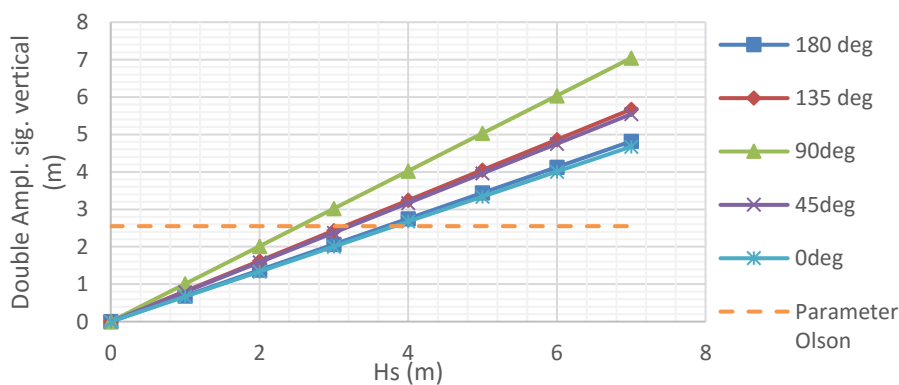
Gambar 4.42 RMS Pitch vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi *Light Load*, 0 *knots*



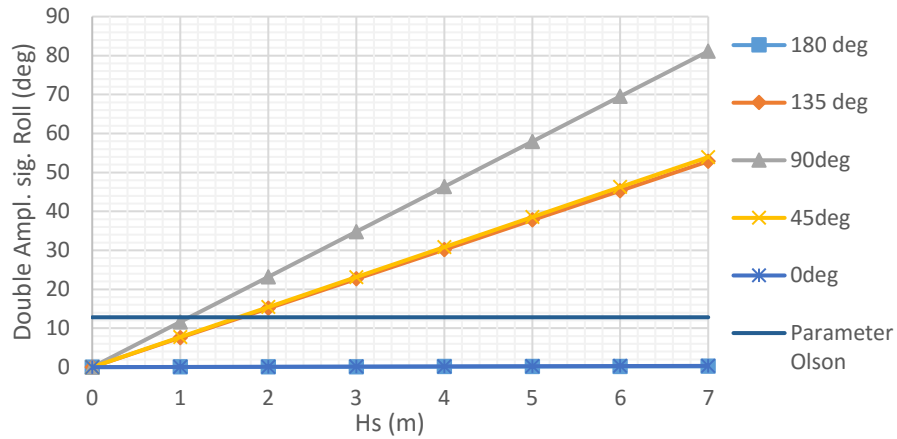
Gambar 4.43 Percepatan Signifikan *Heave* vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi *Light Load*, 0 knots

Berdasarkan Gambar 4.41 sampai dengan Gambar 4.43 dapat diketahui bawa batas tinggi gelombang signifikan maksimal pada 1,35 m jika mengacu pada BV. Untuk parameter dari Nordforsk tidak jauh berbeda dengan parameter BV sebesar 1,1 m. Sedangkan untuk kriteria Olson membatasi hingga tinggi gelombang signifikan mencapai 3,3 m. Selibuhnya tinggi gelombang di atas itu kapal dianggap tidak mampu beroperasi secara optimal.

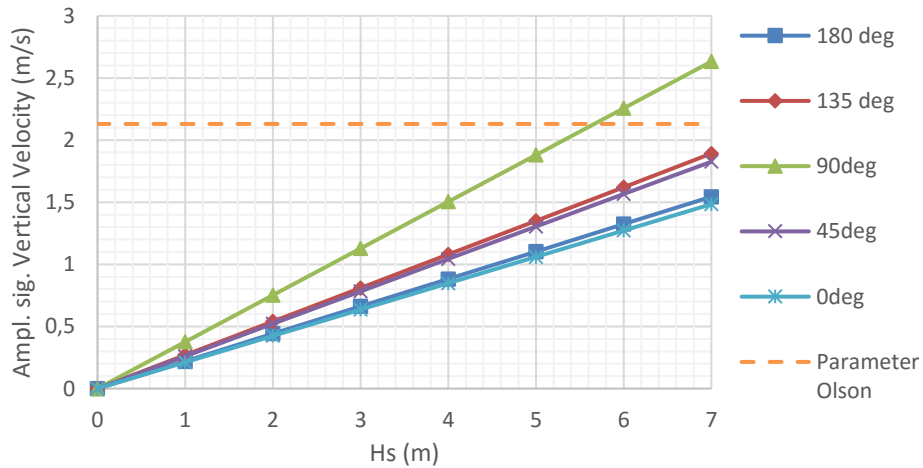
4.7.6. Operasi Helikopter *Light Load* Stasioner



Gambar 4.44 Double Ampl. Signifikan vertikal vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi *Light Load*, 0 knots



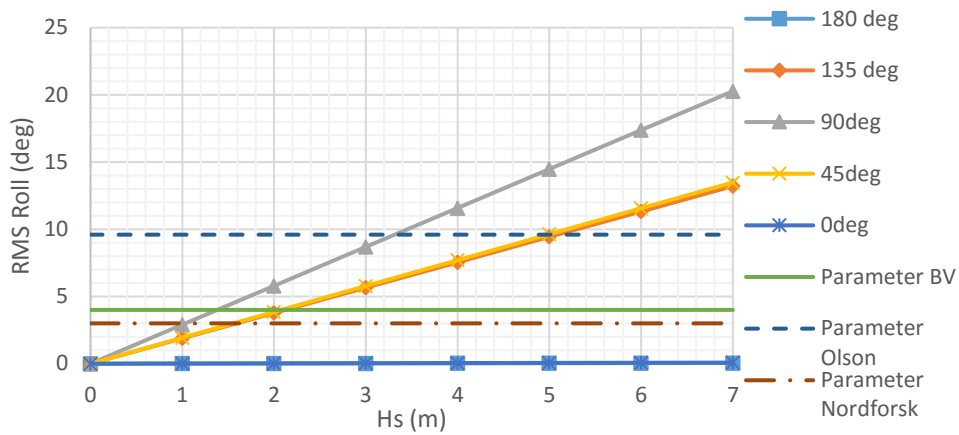
Gambar 4.45 Double Ampl. Signifikan *Roll* vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi *Light Load, 0 knots*



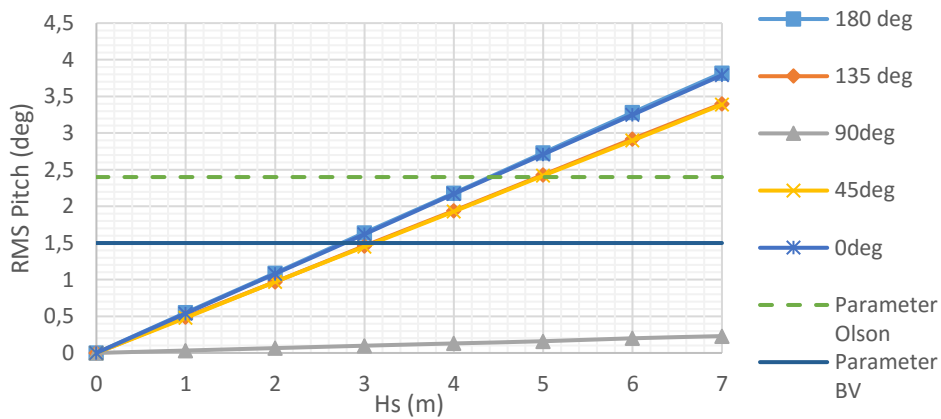
Gambar 4.46 Ampl. Signifikan Kecepatan Vertikal vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi *Light Load, 0 knots*

Berdasarkan Gambar 4.44 sampai dengan Gambar 4.46 dapat diketahui bahwa batas tinggi gelombang signifikan maksimal pada 1,1 m. Selebihnya akan melampaui kriteria pada gerakan signifikan *roll* jika terkena gelombang dengan arah 90°. Sehingga operabilitas kapal pada saat *light load* tidak dapat dilakukan operasi transfer muatan ataupun personil dari helikopter ke kapal, maupun dari kapal ke kapal. Operasi bisa saja dilakukan dengan cara memutar arah kapal sehingga dapat menghindari gelombang dari arah 90°. Dengan demikian maka batas tersebut bisa dilonggarkan lebih besar.

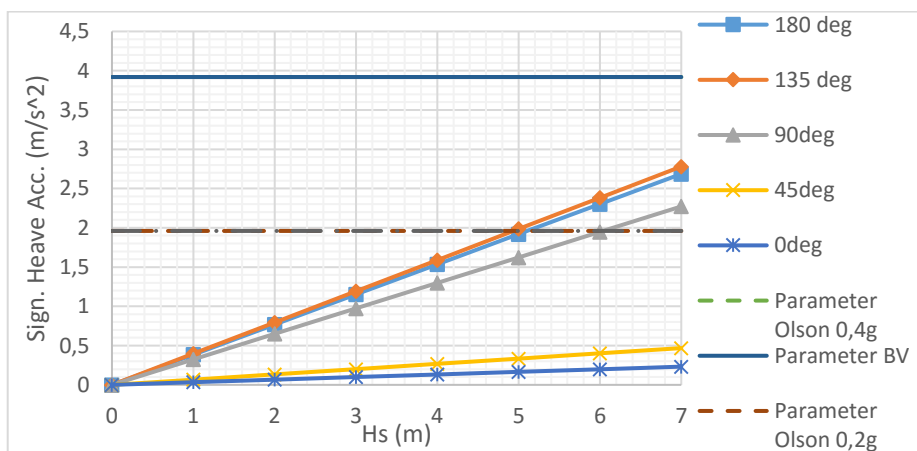
4.7.7. Operasi Umum *Light Load* Melaju



Gambar 4.47 RMS Roll vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi *Light Load*, 15 knots



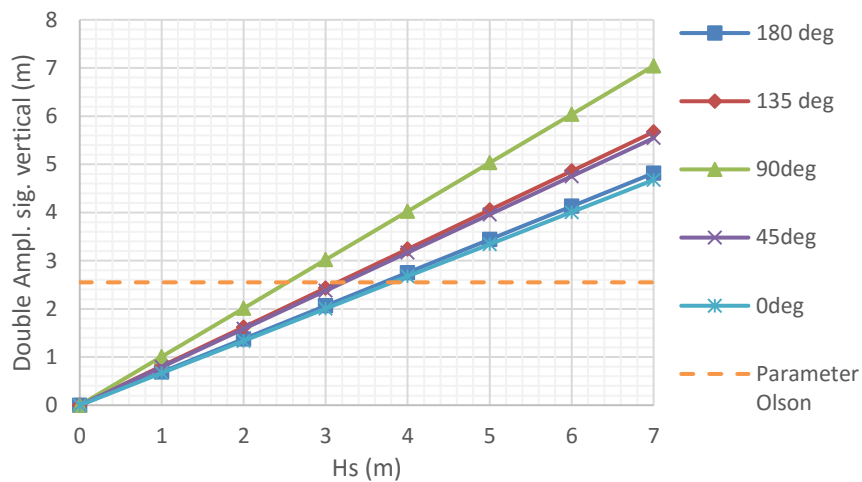
Gambar 4.48 RMS Pitch vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi *Light Load*, 15 knots



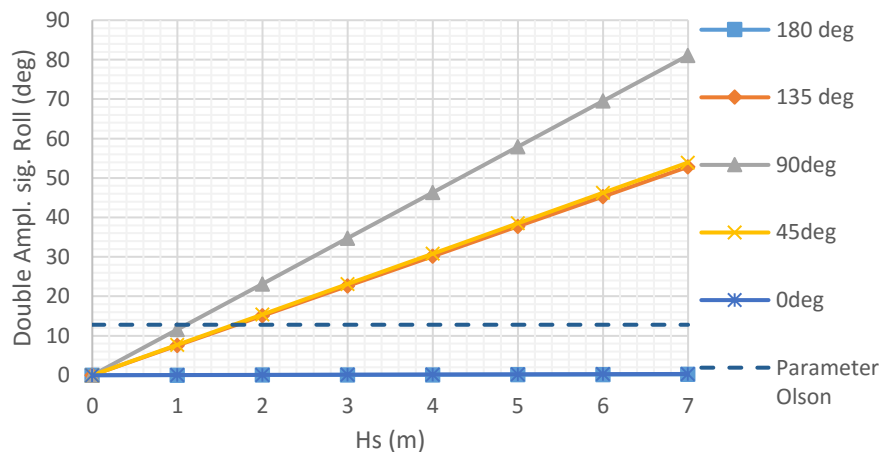
Gambar 4.49 Percepatan Signifikan Heave vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi *Light Load*, 15 knots

Berdasarkan Gambar 4.47 sampai dengan Gambar 4.49 dapat diketahui bawa batas tinggi gelombang signifikan maksimal pada 1,3 m jika mengacu pada BV. Untuk parameter dari Nordforsk tidak jauh berbeda dengan parameter BV sebesar 1,1 m. Sedangkan untuk kriteria Olson membatasi hingga tinggi gelombang signifikan mencapai 3,2 m. Selebihnya tinggi gelombang di atas itu kapal dianggap tidak mampu beroperasi secara optimal pada kecepatan 15 *knots*.

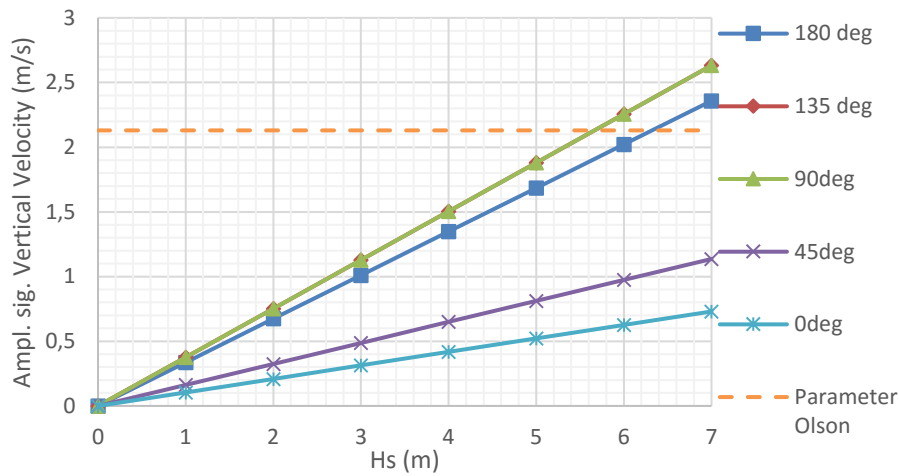
4.7.8. Operasi Helikopter *Light Load* Melaju



Gambar 4.50 Double Ampl. Signifikan vertikal vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi *Light Load*, 15 *knots*



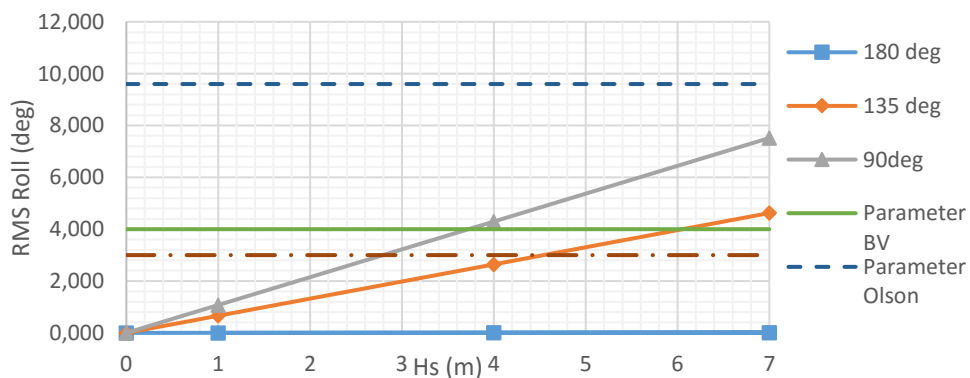
Gambar 4.51 Double Ampl. Signifikan *Roll* vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi *Light Load*, 15 *knots*



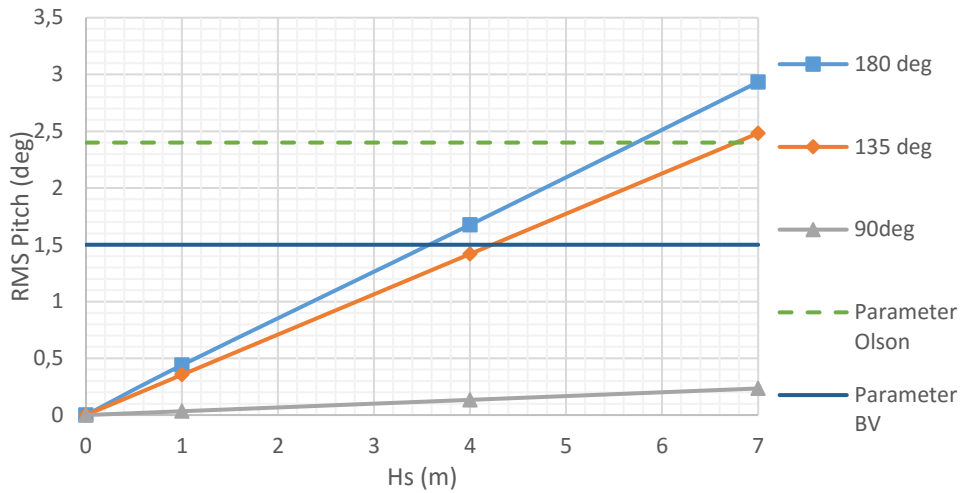
Gambar 4.52 Ampl. Signifikan Kecepatan Vertikal vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi *Light Load*, 15 knots

Berdasarkan Gambar 4.50 sampai dengan Gambar 4.52 dapat diketahui bawa batas tinggi gelombang signifikan maksimal pada 1,05 m. Selebihnya akan melampaui kriteria pada gerakan signifikan *roll* jika terkena gelombang dengan arah 90°. Sehingga operabilitas kapal pada saat *light load* dengan kecepatan 15 *knots* tidak dapat dilakukan operasi transfer muatan ataupun personil dari helikopter ke kapal, maupun dari kapal ke kapal. Operasi bisa saja dilakukan dengan cara melakukan manuver sehingga dapat menghindari gelombang dari arah 90°. Dengan demikian maka batas tersebut bisa dilonggarkan lebih besar.

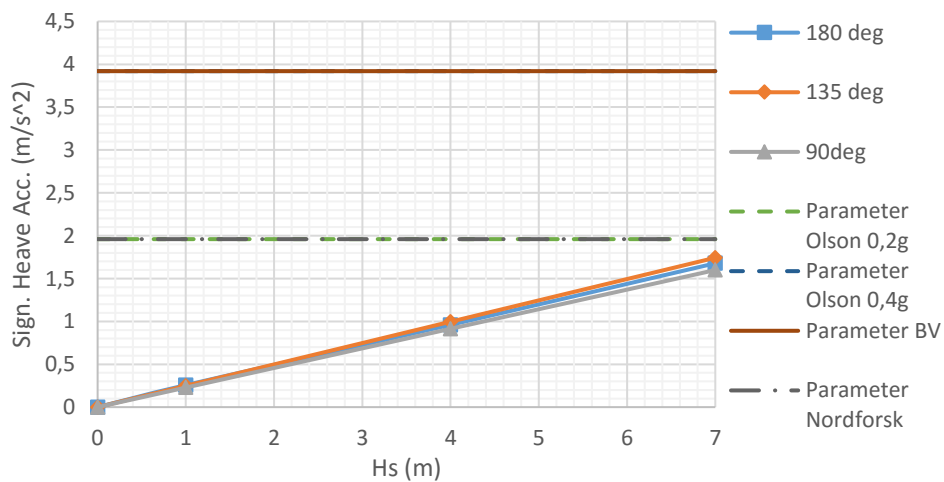
4.7.9. Operasi Umum Saat Survei Seismik



Gambar 4.53 RMS *Roll* vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi Operasi Survei Seismik



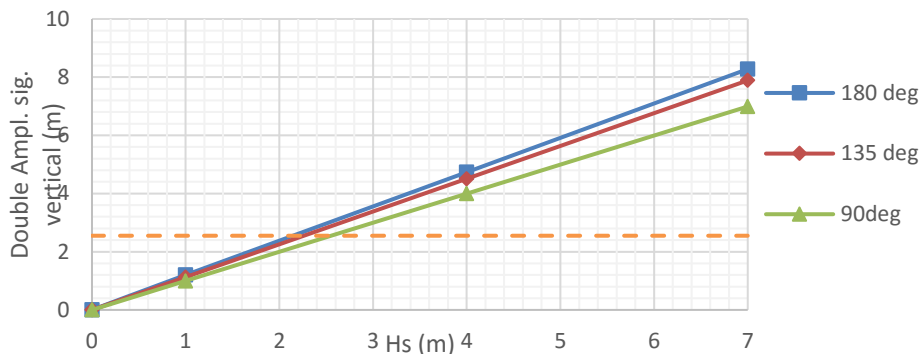
Gambar 4.54 RMS *Pitch* vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi Operasi Survei Seismik



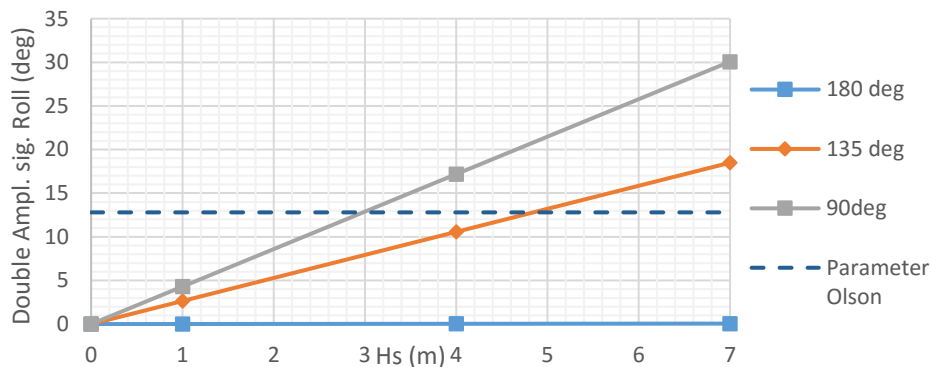
Gambar 4.55 Percepatan Signifikan *Heave* vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi Operasi Survei Seismik

Berdasarkan Gambar 4.53 sampai dengan Gambar 4.56 dapat diketahui bawa batas tinggi gelombang signifikan maksimal pada 3,7 m jika mengacu pada BV. Untuk parameter dari Nordforsk sebesar 2,8 m. Sedangkan untuk kriteria Olson membatasi hingga tinggi gelombang signifikan mencapai 5,75 m. Selibuhnya tinggi gelombang di atas itu kapal dianggap tidak mampu beroperasi secara optimal pada saat melaksanakan survei seismik.

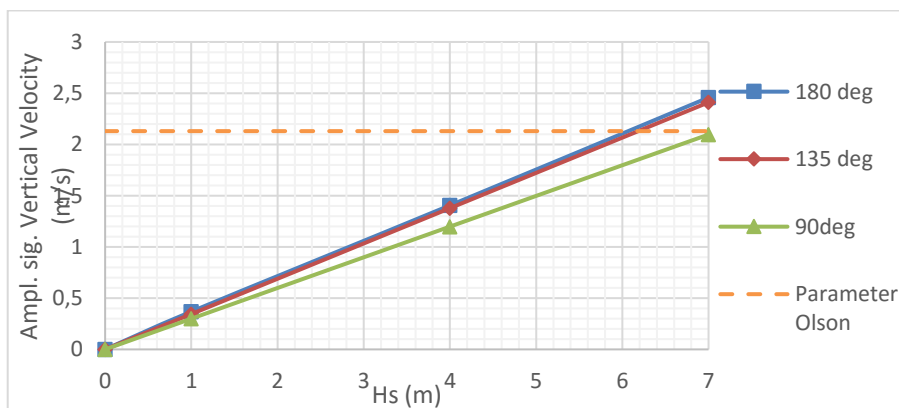
4.7.10. Operasi Helikopter Saat Survei Seismik



Gambar 4.56 Double Ampl. Signifikan vertikal vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi Operasi Survei Seismik



Gambar 4.57 Double Ampl. Signifikan Roll vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi Operasi Survei Seismik



Gambar 4.58 Ampl. Signifikan Kecepatan Vertikal vs. Tinggi Gelombang Signifikan Kondisi Operasi Survei Seismik

Berdasarkan Gambar 4.56 sampai dengan Gambar 4.58 dapat diketahui bawa batas tinggi gelombang signifikan maksimal pada 2,15 m. Sehingga operabilitas kapal pada saat pelaksanaan survei seismik tidak dapat dilakukan operasi transfer muatan ataupun personil dari helikopter ke kapal, maupun dari kapal ke kapal jika tinggi gelombang signifikan lebih dari 2,15 m.

4.7.11. Operabilitas Di Perairan Natuna

Dalam melaksanakan pelayaran di seluruh wilayah perairan secara umum, batas-batas tersebut dapat sedikit dilonggarkan. Namun guna tetap menjaga keamanan dan keselamatan, kapal dapat memperbesar operabilitasnya dengan melakukan manuver tertentu untuk menghindari arah dominan gelombang sehingga dapat memperkecil gerakan kapal. Sebagai contoh, kapal bermanuver untuk menghindari arah gelombang dari samping (90°). Sehingga kriteria dari BV yang terlampaui untuk gerakan *roll* dapat dihindari.

Cara lain untuk lebih memperbesar operabilitas kapal ialah dengan menurunkan *streamer* untuk ditarik. Namun hal ini dapat menambah beban hambatan kapal untuk melaju.

Kemudian untuk mempermudah analisa, berdasarkan pembahasan sebelumnya dapat diperkirakan bahwa batasan tinggi gelombang signifikan agar kapal mampu beroperasi dengan baik diambil nilai rata-rata kurang dari 3,5 m untuk kriteria operasi umum, selebihnya kapal dianggap tidak mampu beroperasi dengan optimal.

Untuk kondisi kapal sedang melakukan survei seismik, untuk mempermudah dalam melakukan analisa sehingga diambil batas tinggi gelombang signifikan sebesar 5,5 m untuk kriteria operasi umum.

Sedangkan untuk kriteria operasi helikopter, kriteria BV dan Nordforsk dapat diperkirakan bahwa batasan tinggi gelombang signifikan agar kapal mampu beroperasi dengan baik diambil nilai rata-rata kurang dari 1,5 m.

Dengan data sebaran gelombang laut Natuna, akan diperhitungkan operabilitas kapal *Geomarin-IV* seperti pada Tabel 4.9 sampai dengan Tabel 4.11.

Tabel 4.9 Operabilitas umum tanpa survei berdasarkan gelombang Laut

Natuna

Tp (s)		Hs (m)											
Lower	Upper	0 - 0,49	0,5 - 0,99	1 - 1,49	1,5 - 1,99	2 - 2,49	2,5 - 2,99	3 - 3,49	3,5 - 3,99	4 - 4,49	4,5 - 4,99	5 - 5,49	5,5 - 5,99
0	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	1,9	0,0008	-	-	-	-	-	-	-	<i>Operable</i>			
2	2,9	0,0210	-	-	-	-	-	-	-				
3	3,9	0,1079	0,0863	0,0050	0,0018	0,0002	-	-	-	-	-	-	-
4	4,9	0,0183	0,1529	0,0143	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	5,9	0,0060	0,0370	0,0771	0,0047	-	-	-	-	-	-	-	-
6	6,9	0,0043	0,0177	0,0409	0,0257	0,0010	-	-	-	-	-	-	-
7	7,9	0,0023	0,0079	0,0280	0,0382	0,0105	0,0002	-	-	-	-	-	-
8	8,9	0,0020	0,0058	0,0103	0,0247	0,0334	0,0119	0,000	-	-	-	-	-
9	9,9	0,0007	0,0041	0,0062	0,0158	0,0176	0,0255	0,012	0,0012	-	-	-	-
10	10,9	-	0,0037	0,0051	0,0067	0,0095	0,0113	0,011	0,0080	0,0017	-	-	-
11	11,9	0,0001	0,0027	0,0034	0,0034	0,0043	0,0059	0,004	0,0049	0,0025	0,0022	0,0003	-
12	12,9	-	0,0020	0,0022	0,0016	0,0009	0,0020	0,001	0,0018	0,0010	0,0009	0,0005	0,0003
13	13,9	-	0,0007	0,0010	0,0004	0,0006	0,0002	0,000	0,0011	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001
14	14,9	-	0,0002	0,0009	0,0004	0,0004	0,0003	0,000	-	-	-	-	-
15	15,9	0,0001	0,0001	0,0002	0,0006	0,0004	0,0007	0,000	-	-	-	-	-
16	16,9	-	0,0001	-	0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-
17	17,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	18,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total		0,1636	0,3212	0,1947	0,1243	0,0789	0,0580	0,0324	0,0169	0,0055	0,0033	0,0009	0,0004

Berdasarkan Tabel 4.9 jika dinyatakan dalam persentase, maka operabilitas kapal *Geomarin-IV* sebesar 97,31%, sementara waktu *down time* kapal ini sebesar 2,69% untuk pelayaran biasa dengan kriteria umum. Jika dihitung persentase tersebut terhadap waktu operasi dengan asumsi pelayaran selama 100 hari baik untuk pelayaran menuju lokasi survey maupun kembali menuju pelabuhan, maka kapal akan *down time* sebanyak 3 hari.

Tabel 4.10 Operabilitas umum saat survei berdasarkan gelombang Laut Natuna

Tp (s)		Hs (m)													
Lower	Upper	0 - 0,49	0,5 - 0,99	1 - 1,49	1,5 - 1,99	2 - 2,49	2,5 - 2,99	3 - 3,49	3,5 - 3,99	4 - 4,49	4,5 - 4,99	5 - 5,49	5,5 - 5,99		
0	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1	1,9	0,0008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	2,9	0,0210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	3,9	0,1079	0,0863	0,0050	0,0018	0,0002	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	4,9	0,0183	0,1529	0,0143	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	5,9	0,0060	0,0370	0,0771	0,0047	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	6,9	0,0043	0,0177	0,0409	0,0257	0,0010	-	-	-	-	-	-	-	-	
7	7,9	0,0023	0,0079	0,0280	0,0382	0,0105	0,0002	-	-	-	-	-	-	-	
8	8,9	0,0020	0,0058	0,0103	0,0247	0,0334	0,0119	0,0009	-	-	-	-	-	-	
9	9,9	0,0007	0,0041	0,0062	0,0158	0,0176	0,0255	0,0129	0,0012	-	-	-	-	-	
10	10,9	-	0,0037	0,0051	0,0067	0,0095	0,0113	0,0114	0,0080	0,0017	-	-	-	-	
11	11,9	0,0001	0,0027	0,0034	0,0034	0,0043	0,0059	0,0047	0,0049	0,0025	0,0022	0,0003	-	-	
12	12,9	-	0,0020	0,0022	0,0016	0,0009	0,0020	0,0019	0,0018	0,0010	0,0009	0,0005	0,0003	-	
13	13,9	-	0,0007	0,0010	0,0004	0,0006	0,0002	0,0004	0,0011	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	-	
14	14,9	-	0,0002	0,0009	0,0004	0,0004	0,0003	0,0001	-	-	-	-	-	-	
15	15,9	0,0001	0,0001	0,0002	0,0006	0,0004	0,0007	0,0001	-	-	-	-	-	-	
16	16,9	-	0,0001	-	0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17	17,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	18,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total		0,1636	0,3212	0,1947	0,1243	0,0789	0,0580	0,0324	0,0169	0,0055	0,0033	0,0009	0,0004	-	

Operable

Down Time

Berdasarkan Tabel 4.10 jika dinyatakan dalam persentase, maka operabilitas dari *seakeeping* kapal *Geomarin-IV* sebesar 99,97%, akibat kegiatan survei seismik dengan kecepatan 5 *knots*. Sedangkan untuk waktu *down time* kapal ini sebesar 0,03% jika dalam kondisi melaksanakan survei seismik dengan kriteria operasi umum. Apabila dihitung persentase tersebut terhadap waktu operasi dengan asumsi waktu survey selama 100 hari, maka kapal akan *down time* selama kurang dari 1 hari.

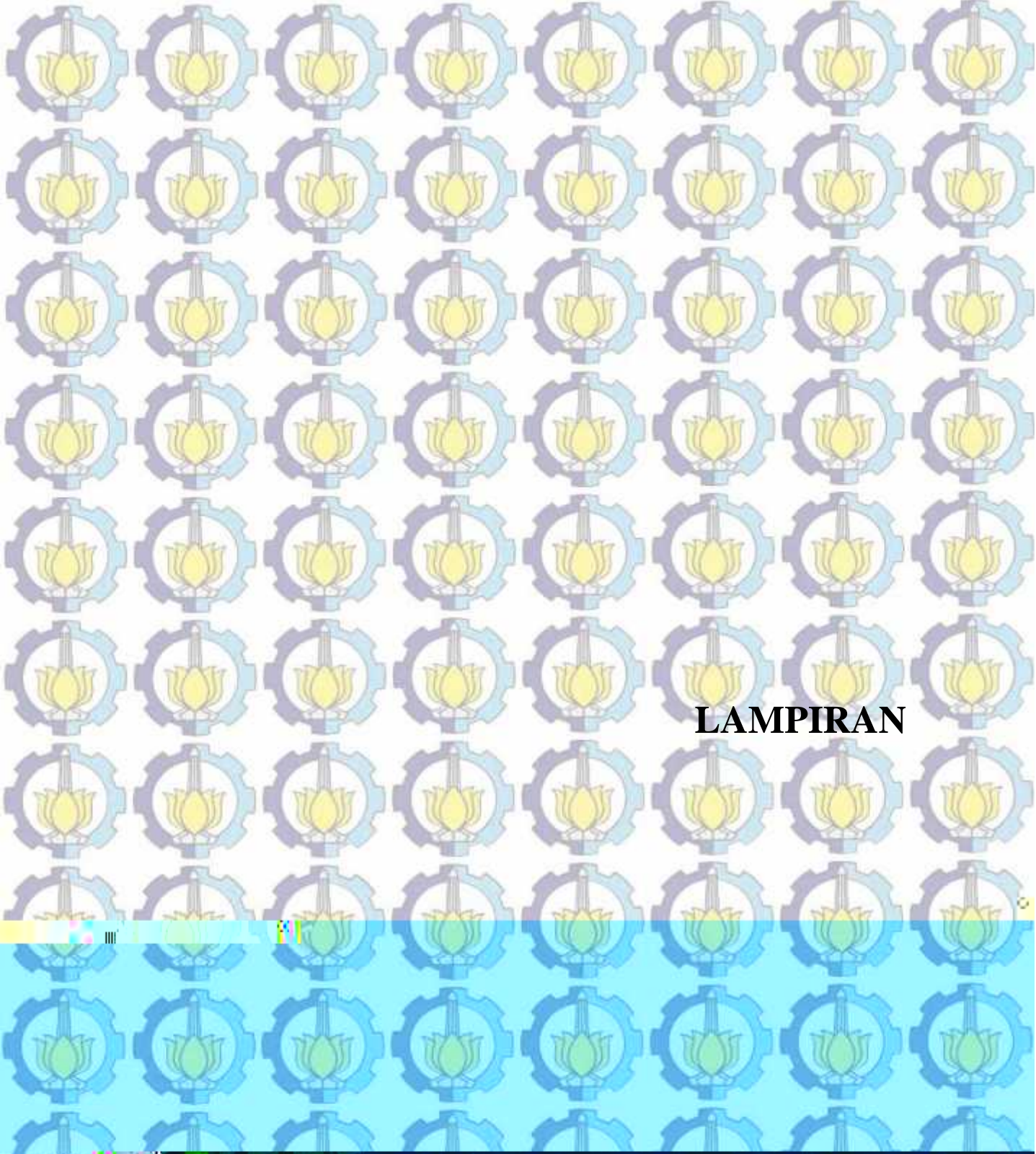
Meskipun dalam pembahasan subbab sebelumnya kriteria BV dan Nordforsk digolongkan ke dalam kriteria operasi umum, namun pada pembahasan kali ini digabungkan dengan perhitungan operabilitas menggunakan kriteria operasi helikopter. Hal ini karena kriteria BV dan Nordforsk tersebut menghasilkan nilai batas tinggi gelombang signifikan yang hampir sama dengan kondisi kapal dengan kriteria operasi helikopter. Menggunakan batas tinggi gelombang signifikan berdasarkan kriteria helikopter secara lebih jelas dapat diamati pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Operabilitas dengan kriteria helikopter berdasarkan gelombang laut Natuna

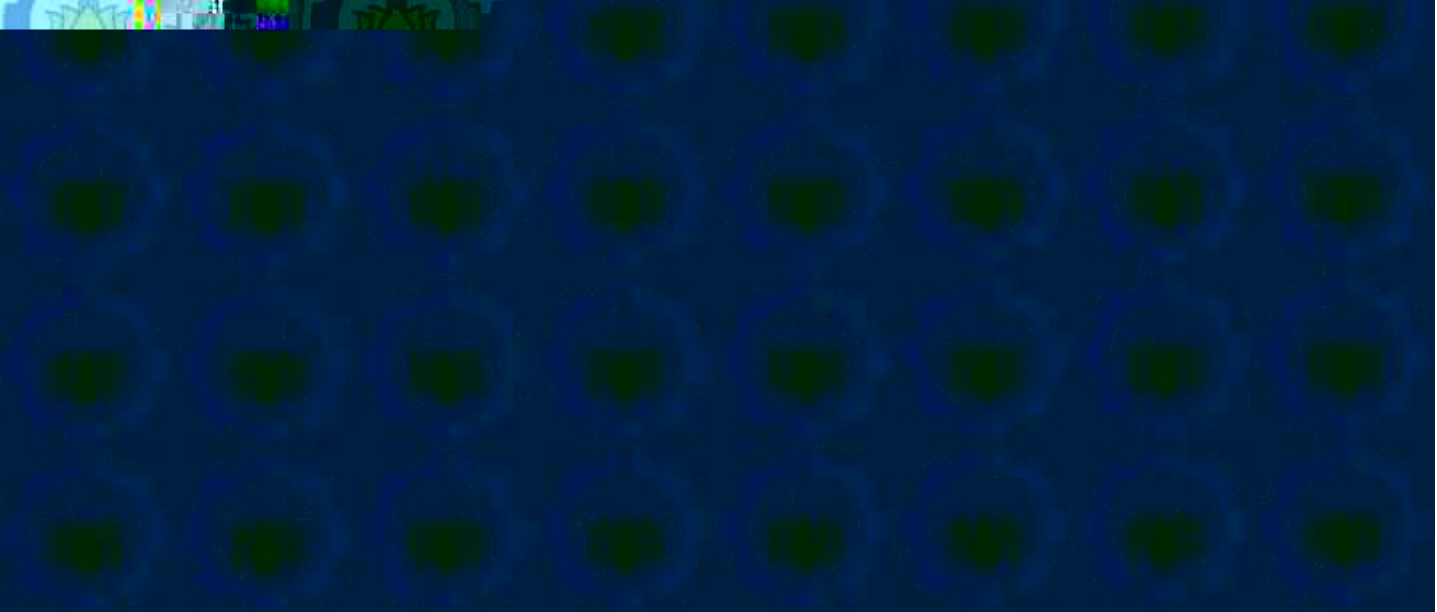
Tp (s)		Hs (m)											
Lower	Upper	0 - 0,49	0,5 - 0,99	1 - 1,49	1,5 - 1,99	2 - 2,49	2,5 - 2,99	3 - 3,49	3,5 - 3,99	4 - 4,49	4,5 - 4,99	5 - 5,49	5,5 - 5,99
0	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	1,9	0,0008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	2,9	0,0210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	3,9	0,1079	0,0863	0,0050	0,0018	0,0002	-	-	-	-	-	-	-
4	4,9	0,0183	0,1529	0,0143	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	5,9	0,0060	0,0370	0,0771	0,0047	-	-	-	-	-	-	-	-
6	6,9	0,0043	0,0177	0,0409	0,0257	0,0010	-	-	-	-	-	-	-
7	7,9	0,0023	0,0079	0,0280	0,0382	0,0105	0,0002	-	-	-	-	-	-
8	8,9	0,0020	0,0058	0,0103	0,0247	0,0334	0,0119	0,0009	-	-	-	-	-
9	9,9	0,0007	0,0041	0,0062	0,0158	0,0176	0,0255	0,0129	0,0012	-	-	-	-
10	10,9	-	0,0037	0,0051	0,0067	0,0095	0,0113	0,0114	0,0080	0,0017	-	-	-
11	11,9	0,0001	0,0027	0,0034	0,0034	0,0043	0,0059	0,0047	0,0049	0,0025	0,0022	0,0003	-
12	12,9	-	0,0020	0,0022	0,0016	0,0009	0,0020	0,0019	0,0018	0,0010	0,0009	0,0005	0,0003
13	13,9	-	0,0007	0,0010	0,0004	0,0006	0,0002	0,0004	0,0011	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001
14	14,9	-	0,0002	0,0009	0,0004	0,0004	0,0003	0,0001	-	-	-	-	-
15	15,9	0,0001	0,0001	0,0002	0,0006	0,0004	0,0007	0,0001	-	-	-	-	-
16	16,9	-	0,0001	-	0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-
17	17,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	18,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total		0,1636	0,3212	0,1947	0,0743	0,0789	0,0580	0,0324	0,0169	0,0055	0,0033	0,0009	0,0004

Berdasarkan Tabel 4.11 jika dinyatakan dalam persentase, maka operabilitas dari *seakeeping* kapal *Geomarin-IV* sebesar 67,95% untuk operasi helikopter. Sedangkan untuk waktu *down time* kapal ini sebesar 32,05%. Jika dihitung persentase tersebut terhadap waktu operasi dengan asumsi melakukan pelayaran selama 100 hari, maka kapal tidak dapat beroperasi transfer muatan atau personil baik dari helikopter ke kapal, maupun dari kapal ke kapal, atau melakukan aktivitas operasional yang membutuhkan standar keselamatan tinggi sebanyak 33 hari.

Aktivitas operasional yang membutuhkan standar keselamatan tinggi dapat berupa proses penurunan maupun mengangkat *airgun*, proses pengisian bahan bakar, maupun aktivitas-aktivitas lain. Analisa dilakukan pada kecepatan 15 *knots* untuk mengakomodasi kondisi-kondisi tertentu yang memaksa kapal melakukan aktivitas berat dengan kecepatan tinggi. Sebagai contoh kemungkinan kondisi darurat dan waktu pelayaran sangat lama sehingga transfer personil melalui helikopter dilakukan dengan kondisi tanpa menurunkan kecepatan kapal.



LAMPIRAN



RAOs 0 kn, 180 deg, full load

	Enc. Fq	Wv. Fq	RAO heave	RAO roll	RAO pitch
1	0,4	0,4	0,957	0	0,931
2	0,48	0,48	0,927	0	0,922
3	0,56	0,56	0,874	0	0,904
4	0,64	0,64	0,792	0	0,872
5	0,72	0,72	0,675	0	0,818
6	0,809	0,809	0,503	0	0,727
7	0,897	0,897	0,297	0	0,6
8	0,986	0,986	0,082	0	0,444
9	1,074	1,074	0,133	0	0,273
10	1,163	1,163	0,281	0	0,115
11	1,251	1,251	0,353	0	0,033
12	1,34	1,34	0,324	0	0,079
13	1,429	1,429	0,206	0	0,086
14	1,517	1,517	0,092	0	0,061
15	1,606	1,606	0,117	0	0,028
16	1,694	1,694	0,132	0	0,015
17	1,783	1,783	0,089	0	0,018
18	1,871	1,871	0,038	0	0,011
19	1,96	1,96	0,029	0	0,005
20	2,049	2,049	0,016	0	0,007
21	2,137	2,137	0,016	0	0,005
22	2,226	2,226	0,028	0	0,005
23	2,314	2,314	0,027	0	0,005
24	2,403	2,403	0,031	0	0,004
25	2,491	2,491	0,03	0	0,004
26	2,58	2,58	0,023	0	0,003
27	2,669	2,669	0,018	0	0,002
28	2,757	2,757	0,012	0	0,002
29	2,846	2,846	0,009	0	0,001
30	2,934	2,934	0,01	0	0,001
31	3,023	3,023	0,013	0	0,001
32	3,111	3,111	0,014	0	0,001
33	3,2	3,2	0,014	0	0,001
34	3,675	3,675	0,013	0	0,001
35	4,15	4,15	0,012	0	0,001
36	4,625	4,625	0,01	0	0
37	5,1	5,1	0,008	0	0
38	5,575	5,575	0,011	0	0
39	6,05	6,05	0,018	0	0
40	6,525	6,525	0,006	0	0
41	7	7	0,004	0	0

RAOs 0 kn, 135 deg, full load

	Enc. Fq	Wv. Fq	RAO heave	RAO roll	RAO pitch
1	0,4	0,4	0,965	0,939	0,586
2	0,39	0,39	0,966	0,924	0,586
3	0,38	0,38	0,966	0,91	0,587
4	0,37	0,37	0,967	0,896	0,587
5	0,36	0,36	0,967	0,884	0,589
6	0,461	0,461	0,959	1,052	0,592
7	0,563	0,563	0,937	1,372	0,617
8	0,664	0,664	0,885	2,119	0,641
9	0,766	0,766	0,786	4,267	0,645
10	0,867	0,867	0,632	2,945	0,609
11	0,969	0,969	0,438	1,409	0,529
12	1,07	1,07	0,244	0,866	0,414
13	1,171	1,171	0,133	0,605	0,288
14	1,273	1,273	0,168	0,455	0,184
15	1,374	1,374	0,218	0,359	0,115
16	1,476	1,476	0,238	0,292	0,075
17	1,577	1,577	0,228	0,243	0,056
18	1,679	1,679	0,178	0,207	0,045
19	1,78	1,78	0,114	0,178	0,031
20	1,881	1,881	0,087	0,155	0,014
21	1,983	1,983	0,064	0,137	0,009
22	2,084	2,084	0,02	0,122	0,006
23	2,186	2,186	0,012	0,109	0,002
24	2,287	2,287	0,011	0,098	0,004
25	2,389	2,389	0,021	0,089	0,003
26	2,49	2,49	0,025	0,081	0,002
27	2,591	2,591	0,016	0,074	0,002
28	2,693	2,693	0,014	0,068	0,001
29	2,794	2,794	0,006	0,063	0,001
30	2,896	2,896	0,002	0,058	0,001
31	2,997	2,997	0,008	0,054	0,001
32	3,099	3,099	0,014	0,05	0,001
33	3,2	3,2	0,017	0,047	0,001
34	3,675	3,675	0,017	0,035	0,001
35	4,15	4,15	0,02	0,027	0,001
36	4,625	4,625	0,021	0,022	0,001
37	5,1	5,1	0,01	0,018	0
38	5,575	5,575	0,01	0,015	0,001
39	6,05	6,05	0,091	0,013	0,002
40	6,525	6,525	0,008	0,011	0
41	7	7	0,013	0,009	0

RAOs 0 kn, 90 deg, full load

	Enc. Fq	Wv. Fq	RAO heave	RAO roll	RAO pitch
1	0,4	0,4	0,98	1,327	0,176
2	0,39	0,39	0,979	1,306	0,17
3	0,38	0,38	0,978	1,286	0,166
4	0,37	0,37	0,976	1,268	0,162
5	0,36	0,36	0,975	1,25	0,161
6	0,461	0,461	0,991	1,487	0,225
7	0,563	0,563	1,014	1,941	0,31
8	0,664	0,664	1,039	2,997	0,363
9	0,766	0,766	1,056	6,034	0,367
10	0,867	0,867	1,07	4,165	0,315
11	0,969	0,969	1,088	1,992	0,212
12	1,07	1,07	1,114	1,225	0,083
13	1,171	1,171	1,122	0,856	0,055
14	1,273	1,273	1,053	0,644	0,124
15	1,374	1,374	0,854	0,507	0,129
16	1,476	1,476	0,571	0,413	0,088
17	1,577	1,577	0,339	0,344	0,044
18	1,679	1,679	0,223	0,292	0,035
19	1,78	1,78	0,165	0,252	0,034
20	1,881	1,881	0,133	0,22	0,021
21	1,983	1,983	0,097	0,194	0,009
22	2,084	2,084	0,036	0,172	0,005
23	2,186	2,186	0,02	0,154	0,003
24	2,287	2,287	0,021	0,139	0,007
25	2,389	2,389	0,033	0,126	0,007
26	2,49	2,49	0,041	0,115	0,007
27	2,591	2,591	0,044	0,105	0,005
28	2,693	2,693	0,038	0,097	0,002
29	2,794	2,794	0,014	0,089	0,001
30	2,896	2,896	0,01	0,082	0,002
31	2,997	2,997	0,026	0,077	0,003
32	3,099	3,099	0,026	0,071	0,002
33	3,2	3,2	0,019	0,067	0,001
34	3,675	3,675	0,027	0,05	0,002
35	4,15	4,15	0,024	0,039	0,001
36	4,625	4,625	0,019	0,031	0,001
37	5,1	5,1	0,016	0,025	0,001
38	5,575	5,575	0,012	0,021	0,001
39	6,05	6,05	0,119	0,018	0,003
40	6,525	6,525	0,01	0,015	0
41	7	7	0,018	0,013	0

RAOs 0 kn, 45 deg, full load

	Enc. Fq	Wv. Fq	RAO heave	RAO roll	RAO pitch
1	0,4	0,4	0,968	0,939	0,919
2	0,39	0,39	0,968	0,924	0,913
3	0,38	0,38	0,969	0,91	0,907
4	0,37	0,37	0,969	0,896	0,902
5	0,36	0,36	0,969	0,884	0,897
6	0,461	0,461	0,965	1,052	0,954
7	0,563	0,563	0,951	1,372	1,001
8	0,664	0,664	0,909	2,119	1,012
9	0,766	0,766	0,824	4,267	0,972
10	0,867	0,867	0,69	2,945	0,873
11	0,969	0,969	0,539	1,409	0,719
12	1,07	1,07	0,436	0,866	0,527
13	1,171	1,171	0,404	0,605	0,326
14	1,273	1,273	0,363	0,455	0,161
15	1,374	1,374	0,272	0,359	0,094
16	1,476	1,476	0,192	0,292	0,081
17	1,577	1,577	0,153	0,243	0,045
18	1,679	1,679	0,112	0,207	0,011
19	1,78	1,78	0,07	0,178	0,018
20	1,881	1,881	0,062	0,155	0,013
21	1,983	1,983	0,037	0,137	0,002
22	2,084	2,084	0,01	0,122	0,005
23	2,186	2,186	0,031	0,109	0,005
24	2,287	2,287	0,021	0,098	0,003
25	2,389	2,389	0,03	0,089	0,003
26	2,49	2,49	0,035	0,081	0,003
27	2,591	2,591	0,022	0,074	0,002
28	2,693	2,693	0,015	0,068	0,001
29	2,794	2,794	0,007	0,063	0,001
30	2,896	2,896	0,003	0,058	0,001
31	2,997	2,997	0,008	0,054	0,001
32	3,099	3,099	0,014	0,05	0,001
33	3,2	3,2	0,018	0,047	0,001
34	3,675	3,675	0,018	0,035	0,001
35	4,15	4,15	0,021	0,027	0,001
36	4,625	4,625	0,021	0,022	0,001
37	5,1	5,1	0,01	0,018	0
38	5,575	5,575	0,009	0,015	0,001
39	6,05	6,05	0,091	0,013	0,002
40	6,525	6,525	0,009	0,011	0
41	7	7	0,013	0,009	0

RAOs 0 kn, 0 deg, full load

	Enc. Fq	Wv. Fq	RAO heave	RAO roll	RAO pitch
1	0,4	0,4	0,957	0	0,931
2	0,39	0,39	0,96	0	0,932
3	0,38	0,38	0,962	0	0,933
4	0,37	0,37	0,964	0	0,935
5	0,36	0,36	0,966	0	0,936
6	0,461	0,461	0,935	0	0,924
7	0,563	0,563	0,872	0	0,904
8	0,664	0,664	0,76	0	0,859
9	0,766	0,766	0,591	0	0,776
10	0,867	0,867	0,369	0	0,647
11	0,969	0,969	0,122	0	0,476
12	1,07	1,07	0,125	0	0,281
13	1,171	1,171	0,292	0	0,102
14	1,273	1,273	0,356	0	0,044
15	1,374	1,374	0,286	0	0,087
16	1,476	1,476	0,135	0	0,075
17	1,577	1,577	0,101	0	0,038
18	1,679	1,679	0,135	0	0,015
19	1,78	1,78	0,091	0	0,018
20	1,881	1,881	0,034	0	0,01
21	1,983	1,983	0,027	0	0,005
22	2,084	2,084	0,01	0	0,007
23	2,186	2,186	0,025	0	0,005
24	2,287	2,287	0,028	0	0,006
25	2,389	2,389	0,03	0	0,004
26	2,49	2,49	0,03	0	0,004
27	2,591	2,591	0,022	0	0,003
28	2,693	2,693	0,017	0	0,002
29	2,794	2,794	0,009	0	0,001
30	2,896	2,896	0,009	0	0,001
31	2,997	2,997	0,012	0	0,001
32	3,099	3,099	0,014	0	0,001
33	3,2	3,2	0,014	0	0,001
34	3,675	3,675	0,013	0	0,001
35	4,15	4,15	0,012	0	0,001
36	4,625	4,625	0,01	0	0
37	5,1	5,1	0,008	0	0
38	5,575	5,575	0,011	0	0
39	6,05	6,05	0,018	0	0
40	6,525	6,525	0,006	0	0
41	7	7	0,004	0	0

RAOs 15 kn, 180 deg, full load

	Enc. Fq	Wv. Fq	RAO heave	RAO roll	RAO pitch
1	0,052	0,05	1	0	0,88
2	0,108	0,1	1,002	0	0,913
3	0,168	0,15	1,004	0	0,943
4	0,231	0,2	1,006	0	0,967
5	0,299	0,25	1,009	0	0,985
6	0,371	0,3	1,018	0	0,997
7	0,446	0,35	1,033	0	1
8	0,526	0,4	1,058	0	0,992
9	0,609	0,45	1,093	0	0,971
10	0,697	0,5	1,126	0	0,93
11	0,788	0,55	1,128	0	0,856
12	0,883	0,6	1,055	0	0,741
13	0,982	0,65	0,887	0	0,596
14	1,086	0,7	0,669	0	0,455
15	1,193	0,75	0,464	0	0,344
16	1,304	0,8	0,299	0	0,26
17	1,419	0,85	0,179	0	0,198
18	1,537	0,9	0,104	0	0,15
19	1,66	0,95	0,079	0	0,111
20	1,787	1	0,092	0	0,081
21	1,918	1,05	0,11	0	0,058
22	2,052	1,1	0,123	0	0,042
23	2,191	1,15	0,129	0	0,033
24	2,333	1,2	0,129	0	0,029
25	2,48	1,25	0,124	0	0,029
26	2,63	1,3	0,115	0	0,03
27	2,784	1,35	0,105	0	0,031
28	2,942	1,4	0,093	0	0,031
29	3,104	1,45	0,08	0	0,03
30	3,27	1,5	0,068	0	0,028
31	3,44	1,55	0,058	0	0,026
32	3,614	1,6	0,049	0	0,023
33	3,792	1,65	0,043	0	0,02
34	3,974	1,7	0,037	0	0,008
35	4,16	1,75	0,025	0	0,006
36	4,349	1,8	0,012	0	0,003
37	4,543	1,85	0,007	0	0,002
38	4,741	1,9	0,005	0	0,001
39	4,942	1,95	0,006	0	0,001
40	5,148	2	0,006	0	0,001
41	5,357	2,05	0,006	0	0,001

RAOs 15 kn, 135 deg, full load

	Enc. Fq	Wv. Fq	RAO heave	RAO roll	RAO pitch
1	0,051	0,05	1	0,469	0,719
2	0,106	0,1	1	0,649	0,712
3	0,163	0,15	1	0,701	0,713
4	0,222	0,2	0,999	0,732	0,714
5	0,285	0,25	0,997	0,76	0,715
6	0,35	0,3	0,994	0,793	0,716
7	0,418	0,35	0,99	0,833	0,717
8	0,489	0,4	0,982	0,884	0,717
9	0,563	0,45	0,972	0,955	0,717
10	0,639	0,5	0,957	1,056	0,715
11	0,718	0,55	0,938	1,213	0,712
12	0,8	0,6	0,914	1,49	0,708
13	0,885	0,65	0,884	2,112	0,702
14	0,973	0,7	0,851	4,715	0,693
15	1,063	0,75	0,815	6,754	0,68
16	1,156	0,8	0,779	1,521	0,659
17	1,252	0,85	0,746	0,707	0,629
18	1,351	0,9	0,715	0,386	0,588
19	1,452	0,95	0,683	0,223	0,537
20	1,556	1	0,644	0,135	0,478
21	1,663	1,05	0,588	0,093	0,413
22	1,773	1,1	0,496	0,08	0,342
23	1,886	1,15	0,36	0,078	0,267
24	2,001	1,2	0,212	0,077	0,196
25	2,119	1,25	0,106	0,073	0,133
26	2,24	1,3	0,098	0,067	0,082
27	2,364	1,35	0,125	0,059	0,043
28	2,491	1,4	0,134	0,049	0,015
29	2,62	1,45	0,124	0,04	0,002
30	2,752	1,5	0,103	0,03	0,012
31	2,887	1,55	0,076	0,022	0,016
32	3,024	1,6	0,051	0,014	0,016
33	3,165	1,65	0,028	0,008	0,014
34	3,308	1,7	0,009	0,002	0,011
35	3,454	1,75	0,036	0,001	0,007
36	3,603	1,8	0,011	0,004	0,007
37	3,754	1,85	0,026	0,005	0,004
38	3,909	1,9	0,018	0,005	0,003
39	4,066	1,95	0,02	0,004	0,003
40	4,226	2	0,028	0,003	0,005
41	4,388	2,05	0,003	0,002	0,004

RAOs 15 kn, 90 deg, full load

	Enc. Fq	Wv. Fq	RAO heave	RAO roll	RAO pitch
1	0,05	0,05	0,988	0,66	0,11
2	0,1	0,1	0,988	0,916	0,031
3	0,15	0,15	0,989	0,99	0,017
4	0,2	0,2	0,989	1,036	0,012
5	0,25	0,25	0,99	1,079	0,01
6	0,3	0,3	0,979	1,13	0,01
7	0,35	0,35	0,949	1,195	0,011
8	0,4	0,4	0,893	1,281	0,012
9	0,45	0,45	0,82	1,402	0,014
10	0,5	0,5	0,752	1,579	0,016
11	0,55	0,55	0,725	1,86	0,019
12	0,6	0,6	0,772	2,361	0,023
13	0,65	0,65	0,894	3,491	0,028
14	0,7	0,7	1,013	8,232	0,034
15	0,75	0,75	0,966	6,034	0,042
16	0,8	0,8	0,695	3,123	0,052
17	0,85	0,85	0,39	1,631	0,064
18	0,9	0,9	0,237	1,033	0,078
19	0,95	0,95	0,179	0,716	0,092
20	1	1	0,144	0,521	0,109
21	1,05	1,05	0,114	0,391	0,125
22	1,1	1,1	0,05	0,298	0,138
23	1,15	1,15	0,02	0,231	0,14
24	1,2	1,2	0,026	0,18	0,128
25	1,25	1,25	0,032	0,142	0,109
26	1,3	1,3	0,042	0,113	0,088
27	1,35	1,35	0,043	0,091	0,069
28	1,4	1,4	0,039	0,074	0,054
29	1,45	1,45	0,015	0,06	0,042
30	1,5	1,5	0,01	0,048	0,033
31	1,55	1,55	0,026	0,039	0,027
32	1,6	1,6	0,026	0,032	0,021
33	1,65	1,65	0,019	0,026	0,017
34	1,7	1,7	0,028	0,022	0,015
35	1,75	1,75	0,024	0,018	0,009
36	1,8	1,8	0,019	0,016	0,01
37	1,85	1,85	0,017	0,013	0,007
38	1,9	1,9	0,012	0,012	0,007
39	1,95	1,95	0,12	0,01	0,005
40	2	2	0,01	0,009	0,005
41	2,05	2,05	0,018	0,009	0,005

RAOs 15 kn, 45 deg, full load

	Enc. Fq	Wv. Fq	RAO heave	RAO roll	RAO pitch
1	0,049	0,05	1	0,469	0,719
2	0,094	0,1	1	0,649	0,711
3	0,137	0,15	1	0,701	0,711
4	0,178	0,2	0,999	0,732	0,711
5	0,215	0,25	0,998	0,76	0,712
6	0,25	0,3	0,995	0,793	0,712
7	0,282	0,35	0,99	0,833	0,712
8	0,311	0,4	0,983	0,884	0,711
9	0,337	0,45	0,972	0,955	0,71
10	0,361	0,5	0,957	1,056	0,707
11	0,382	0,55	0,937	1,213	0,704
12	0,4	0,6	0,91	1,492	0,701
13	0,415	0,65	0,874	2,117	0,696
14	0,427	0,7	0,829	4,739	0,691
15	0,437	0,75	0,775	6,826	0,684
16	0,444	0,8	0,71	1,55	0,673
17	0,448	0,85	0,635	0,728	0,654
18	0,449	0,9	0,55	0,404	0,623
19	0,448	0,95	0,455	0,239	0,58
20	0,444	1	0,351	0,151	0,524
21	0,437	1,05	0,245	0,112	0,457
22	0,427	1,1	0,178	0,099	0,373
23	0,414	1,15	0,201	0,094	0,276
24	0,399	1,2	0,243	0,087	0,181
25	0,381	1,25	0,25	0,079	0,106
26	0,36	1,3	0,226	0,07	0,062
27	0,336	1,35	0,183	0,06	0,048
28	0,309	1,4	0,134	0,049	0,05
29	0,28	1,45	0,087	0,037	0,051
30	0,248	1,5	0,05	0,025	0,048
31	0,213	1,55	0,035	0,015	0,04
32	0,176	1,6	0,041	0,007	0,03
33	0,135	1,65	0,047	0,004	0,021
34	0,092	1,7	0,047	0,007	0,013
35	0,046	1,75	0,068	0,009	0,008
36	-0,003	1,8	0,041	0,008	0,008
37	-0,054	1,85	0,066	0,007	0,01
38	-0,109	1,9	0,012	0,004	0,009
39	-0,166	1,95	0,006	0,002	0,007
40	-0,226	2	0,041	0,001	0,006
41	-0,288	2,05	0,019	0,002	0,002

RAOs 15 kn, 0 deg, full load

	Enc. Fq	Wv. Fq	RAO heave	RAO roll	RAO pitch
1	0,048	0,05	1	0	1,011
2	0,092	0,1	1	0	1,006
3	0,132	0,15	1	0	1,006
4	0,169	0,2	0,998	0	1,006
5	0,201	0,25	0,995	0	1,005
6	0,229	0,3	0,988	0	1,003
7	0,254	0,35	0,978	0	1
8	0,274	0,4	0,963	0	0,993
9	0,291	0,45	0,94	0	0,984
10	0,303	0,5	0,908	0	0,97
11	0,312	0,55	0,864	0	0,951
12	0,317	0,6	0,807	0	0,926
13	0,318	0,65	0,734	0	0,895
14	0,314	0,7	0,644	0	0,855
15	0,307	0,75	0,539	0	0,805
16	0,296	0,8	0,419	0	0,74
17	0,281	0,85	0,291	0	0,654
18	0,263	0,9	0,164	0	0,547
19	0,24	0,95	0,067	0	0,425
20	0,213	1	0,105	0	0,302
21	0,182	1,05	0,175	0	0,194
22	0,148	1,1	0,204	0	0,128
23	0,109	1,15	0,176	0	0,12
24	0,067	1,2	0,114	0	0,126
25	0,02	1,25	0,063	0	0,116
26	-0,03	1,3	0,062	0	0,094
27	-0,084	1,35	0,078	0	0,069
28	-0,142	1,4	0,083	0	0,046
29	-0,204	1,45	0,074	0	0,032
30	-0,27	1,5	0,057	0	0,026
31	-0,34	1,55	0,038	0	0,024
32	-0,414	1,6	0,026	0	0,02
33	-0,492	1,65	0,026	0	0,016
34	-0,574	1,7	0,031	0	0,011
35	-0,66	1,75	0,07	0	0,011
36	-0,749	1,8	0,014	0	0,005
37	-0,843	1,85	0,02	0	0,007
38	-0,941	1,9	0,011	0	0,006
39	-1,042	1,95	0,013	0	0,004
40	-1,148	2	0,015	0	0,004
41	-1,257	2,05	0,014	0	0,003

RAOs 0 kn, 180 deg, light load

	Enc. Fq	Wv. Fq	RAO heave	RAO roll	RAO pitch
1	0,05	0,05	1	0	1,011
2	0,1	0,1	1	0	1,006
3	0,15	0,15	0,999	0	1,007
4	0,2	0,2	0,998	0	1,008
5	0,25	0,25	0,994	0	1,009
6	0,3	0,3	0,988	0	1,008
7	0,35	0,35	0,978	0	1,005
8	0,4	0,4	0,962	0	1
9	0,45	0,45	0,939	0	0,991
10	0,5	0,5	0,908	0	0,977
11	0,55	0,55	0,866	0	0,958
12	0,6	0,6	0,813	0	0,932
13	0,65	0,65	0,75	0	0,898
14	0,7	0,7	0,678	0	0,855
15	0,75	0,75	0,602	0	0,799
16	0,8	0,8	0,529	0	0,727
17	0,85	0,85	0,461	0	0,639
18	0,9	0,9	0,401	0	0,537
19	0,95	0,95	0,35	0	0,427
20	1	1	0,317	0	0,321
21	1,05	1,05	0,308	0	0,226
22	1,1	1,1	0,316	0	0,147
23	1,15	1,15	0,32	0	0,09
24	1,2	1,2	0,3	0	0,057
25	1,25	1,25	0,252	0	0,05
26	1,3	1,3	0,189	0	0,051
27	1,35	1,35	0,126	0	0,048
28	1,4	1,4	0,076	0	0,039
29	1,45	1,45	0,05	0	0,027
30	1,5	1,5	0,047	0	0,016
31	1,55	1,55	0,047	0	0,009
32	1,6	1,6	0,042	0	0,007
33	1,65	1,65	0,034	0	0,007
34	1,7	1,7	0,025	0	0,007
35	1,75	1,75	0,047	0	0,007
36	1,8	1,8	0,019	0	0,007
37	1,85	1,85	0,014	0	0,003
38	1,9	1,9	0,016	0	0,002
39	1,95	1,95	0,012	0	0,002
40	2	2	0,012	0	0,002
41	2,05	2,05	0,002	0	0,002

RAOs 0 kn, 135 deg, light load

	Enc. Fq	Wv. Fq	RAO heave	RAO roll	RAO pitch
1	0,05	0,05	1	0,469	0,719
2	0,1	0,1	1	0,649	0,712
3	0,15	0,15	1	0,701	0,713
4	0,2	0,2	0,999	0,732	0,714
5	0,25	0,25	0,997	0,76	0,715
6	0,3	0,3	0,994	0,793	0,716
7	0,35	0,35	0,99	0,833	0,717
8	0,4	0,4	0,982	0,884	0,717
9	0,45	0,45	0,972	0,955	0,717
10	0,5	0,5	0,957	1,056	0,715
11	0,55	0,55	0,938	1,213	0,712
12	0,6	0,6	0,914	1,49	0,708
13	0,65	0,65	0,884	2,112	0,702
14	0,7	0,7	0,851	4,715	0,693
15	0,75	0,75	0,815	6,754	0,68
16	0,8	0,8	0,779	1,521	0,659
17	0,85	0,85	0,746	0,707	0,629
18	0,9	0,9	0,715	0,386	0,588
19	0,95	0,95	0,683	0,223	0,537
20	1	1	0,644	0,135	0,478
21	1,05	1,05	0,588	0,093	0,413
22	1,1	1,1	0,496	0,08	0,342
23	1,15	1,15	0,36	0,078	0,267
24	1,2	1,2	0,212	0,077	0,196
25	1,25	1,25	0,106	0,073	0,133
26	1,3	1,3	0,098	0,067	0,082
27	1,35	1,35	0,125	0,059	0,043
28	1,4	1,4	0,134	0,049	0,015
29	1,45	1,45	0,124	0,04	0,002
30	1,5	1,5	0,103	0,03	0,012
31	1,55	1,55	0,076	0,022	0,016
32	1,6	1,6	0,051	0,014	0,016
33	1,65	1,65	0,028	0,008	0,014
34	1,7	1,7	0,009	0,002	0,011
35	1,75	1,75	0,036	0,001	0,007
36	1,8	1,8	0,011	0,004	0,007
37	1,85	1,85	0,026	0,005	0,004
38	1,9	1,9	0,018	0,005	0,003
39	1,95	1,95	0,02	0,004	0,003
40	2	2	0,028	0,003	0,005
41	2,05	2,05	0,003	0,002	0,004

RAOs 0 kn, 190 deg, light load

	Enc. Fq	Wv. Fq	RAO heave	RAO roll	RAO pitch
1	0,05	0,05	1	0,66	0,11
2	0,1	0,1	1	0,916	0,031
3	0,15	0,15	1	0,99	0,017
4	0,2	0,2	1	1,036	0,012
5	0,25	0,25	1,001	1,079	0,01
6	0,3	0,3	1,001	1,13	0,01
7	0,35	0,35	1,002	1,195	0,011
8	0,4	0,4	1,003	1,281	0,012
9	0,45	0,45	1,005	1,402	0,014
10	0,5	0,5	1,009	1,579	0,016
11	0,55	0,55	1,014	1,86	0,019
12	0,6	0,6	1,021	2,361	0,023
13	0,65	0,65	1,031	3,491	0,028
14	0,7	0,7	1,045	8,232	0,034
15	0,75	0,75	1,064	12,659	0,042
16	0,8	0,8	1,089	3,123	0,052
17	0,85	0,85	1,123	1,631	0,064
18	0,9	0,9	1,164	1,033	0,078
19	0,95	0,95	1,212	0,716	0,092
20	1	1	1,259	0,521	0,109
21	1,05	1,05	1,284	0,391	0,125
22	1,1	1,1	1,248	0,298	0,138
23	1,15	1,15	1,131	0,231	0,14
24	1,2	1,2	0,966	0,18	0,128
25	1,25	1,25	0,81	0,142	0,109
26	1,3	1,3	0,681	0,113	0,088
27	1,35	1,35	0,573	0,091	0,069
28	1,4	1,4	0,482	0,074	0,054
29	1,45	1,45	0,405	0,06	0,042
30	1,5	1,5	0,343	0,048	0,033
31	1,55	1,55	0,293	0,039	0,027
32	1,6	1,6	0,253	0,032	0,021
33	1,65	1,65	0,221	0,026	0,017
34	1,7	1,7	0,2	0,022	0,015
35	1,75	1,75	0,096	0,018	0,009
36	1,8	1,8	0,135	0,016	0,01
37	1,85	1,85	0,127	0,013	0,007
38	1,9	1,9	0,105	0,012	0,007
39	1,95	1,95	0,095	0,01	0,005
40	2	2	0,069	0,009	0,005
41	2,05	2,05	0,079	0,009	0,005

RAOs 0 kn, 45 deg, light load

	Enc. Fq	Wv. Fq	RAO heave	RAO roll	RAO pitch
1	0,05	0,05	1	0,469	0,719
2	0,1	0,1	1	0,649	0,711
3	0,15	0,15	1	0,701	0,711
4	0,2	0,2	0,999	0,732	0,711
5	0,25	0,25	0,998	0,76	0,712
6	0,3	0,3	0,995	0,793	0,712
7	0,35	0,35	0,99	0,833	0,712
8	0,4	0,4	0,983	0,884	0,711
9	0,45	0,45	0,972	0,955	0,71
10	0,5	0,5	0,957	1,056	0,707
11	0,55	0,55	0,937	1,213	0,704
12	0,6	0,6	0,91	1,492	0,701
13	0,65	0,65	0,874	2,117	0,696
14	0,7	0,7	0,829	4,739	0,691
15	0,75	0,75	0,775	6,826	0,684
16	0,8	0,8	0,71	1,55	0,673
17	0,85	0,85	0,635	0,728	0,654
18	0,9	0,9	0,55	0,404	0,623
19	0,95	0,95	0,455	0,239	0,58
20	1	1	0,351	0,151	0,524
21	1,05	1,05	0,245	0,112	0,457
22	1,1	1,1	0,178	0,099	0,373
23	1,15	1,15	0,201	0,094	0,276
24	1,2	1,2	0,243	0,087	0,181
25	1,25	1,25	0,25	0,079	0,106
26	1,3	1,3	0,226	0,07	0,062
27	1,35	1,35	0,183	0,06	0,048
28	1,4	1,4	0,134	0,049	0,05
29	1,45	1,45	0,087	0,037	0,051
30	1,5	1,5	0,05	0,025	0,048
31	1,55	1,55	0,035	0,015	0,04
32	1,6	1,6	0,041	0,007	0,03
33	1,65	1,65	0,047	0,004	0,021
34	1,7	1,7	0,047	0,007	0,013
35	1,75	1,75	0,068	0,009	0,008
36	1,8	1,8	0,041	0,008	0,008
37	1,85	1,85	0,066	0,007	0,01
38	1,9	1,9	0,012	0,004	0,009
39	1,95	1,95	0,006	0,002	0,007
40	2	2	0,041	0,001	0,006
41	2,05	2,05	0,019	0,002	0,002

RAOs 0 kn, 0 deg, light load

	Enc. Fq	Wv. Fq	RAO heave	RAO roll	RAO pitch
1	0,05	0,05	1	0	1,011
2	0,1	0,1	1	0	1,006
3	0,15	0,15	1	0	1,006
4	0,2	0,2	0,998	0	1,006
5	0,25	0,25	0,995	0	1,005
6	0,3	0,3	0,988	0	1,003
7	0,35	0,35	0,978	0	1
8	0,4	0,4	0,963	0	0,993
9	0,45	0,45	0,94	0	0,984
10	0,5	0,5	0,908	0	0,97
11	0,55	0,55	0,864	0	0,951
12	0,6	0,6	0,807	0	0,926
13	0,65	0,65	0,734	0	0,895
14	0,7	0,7	0,644	0	0,855
15	0,75	0,75	0,539	0	0,805
16	0,8	0,8	0,419	0	0,74
17	0,85	0,85	0,291	0	0,654
18	0,9	0,9	0,164	0	0,547
19	0,95	0,95	0,067	0	0,425
20	1	1	0,105	0	0,302
21	1,05	1,05	0,175	0	0,194
22	1,1	1,1	0,204	0	0,128
23	1,15	1,15	0,176	0	0,12
24	1,2	1,2	0,114	0	0,126
25	1,25	1,25	0,063	0	0,116
26	1,3	1,3	0,062	0	0,094
27	1,35	1,35	0,078	0	0,069
28	1,4	1,4	0,083	0	0,046
29	1,45	1,45	0,074	0	0,032
30	1,5	1,5	0,057	0	0,026
31	1,55	1,55	0,038	0	0,024
32	1,6	1,6	0,026	0	0,02
33	1,65	1,65	0,026	0	0,016
34	1,7	1,7	0,031	0	0,011
35	1,75	1,75	0,07	0	0,011
36	1,8	1,8	0,014	0	0,005
37	1,85	1,85	0,02	0	0,007
38	1,9	1,9	0,011	0	0,006
39	1,95	1,95	0,013	0	0,004
40	2	2	0,015	0	0,004
41	2,05	2,05	0,014	0	0,003

RAOs 015 kn, 0 deg, light load

	Enc. Fq	Wv. Fq	RAO heave	RAO roll	RAO pitch
1	0,048	0,05	1	0	1,011
2	0,092	0,1	1	0	1,006
3	0,132	0,15	1	0	1,006
4	0,169	0,2	0,998	0	1,006
5	0,201	0,25	0,995	0	1,005
6	0,229	0,3	0,988	0	1,003
7	0,254	0,35	0,978	0	1
8	0,274	0,4	0,963	0	0,993
9	0,291	0,45	0,94	0	0,984
10	0,303	0,5	0,908	0	0,97
11	0,312	0,55	0,864	0	0,951
12	0,317	0,6	0,807	0	0,926
13	0,318	0,65	0,734	0	0,895
14	0,314	0,7	0,644	0	0,855
15	0,307	0,75	0,539	0	0,805
16	0,296	0,8	0,419	0	0,74
17	0,281	0,85	0,291	0	0,654
18	0,263	0,9	0,164	0	0,547
19	0,24	0,95	0,067	0	0,425
20	0,213	1	0,105	0	0,302
21	0,182	1,05	0,175	0	0,194
22	0,148	1,1	0,204	0	0,128
23	0,109	1,15	0,176	0	0,12
24	0,067	1,2	0,114	0	0,126
25	0,02	1,25	0,063	0	0,116
26	-0,03	1,3	0,062	0	0,094
27	-0,084	1,35	0,078	0	0,069
28	-0,142	1,4	0,083	0	0,046
29	-0,204	1,45	0,074	0	0,032
30	-0,27	1,5	0,057	0	0,026
31	-0,34	1,55	0,038	0	0,024
32	-0,414	1,6	0,026	0	0,02
33	-0,492	1,65	0,026	0	0,016
34	-0,574	1,7	0,031	0	0,011
35	-0,66	1,75	0,07	0	0,011
36	-0,749	1,8	0,014	0	0,005
37	-0,843	1,85	0,02	0	0,007
38	-0,941	1,9	0,011	0	0,006
39	-1,042	1,95	0,013	0	0,004
40	-1,148	2	0,015	0	0,004
41	-1,257	2,05	0,014	0	0,003

RAOs 15 kn, 45 deg, light load

	Enc. Fq	Wv. Fq	RAO heave	RAO roll	RAO pitch
1	0,049	0,05	1	0,469	0,719
2	0,094	0,1	1	0,649	0,711
3	0,137	0,15	1	0,701	0,711
4	0,178	0,2	0,999	0,732	0,711
5	0,215	0,25	0,998	0,76	0,712
6	0,25	0,3	0,995	0,793	0,712
7	0,282	0,35	0,99	0,833	0,712
8	0,311	0,4	0,983	0,884	0,711
9	0,337	0,45	0,972	0,955	0,71
10	0,361	0,5	0,957	1,056	0,707
11	0,382	0,55	0,937	1,213	0,704
12	0,4	0,6	0,91	1,492	0,701
13	0,415	0,65	0,874	2,117	0,696
14	0,427	0,7	0,829	4,739	0,691
15	0,437	0,75	0,775	6,826	0,684
16	0,444	0,8	0,71	1,55	0,673
17	0,448	0,85	0,635	0,728	0,654
18	0,449	0,9	0,55	0,404	0,623
19	0,448	0,95	0,455	0,239	0,58
20	0,444	1	0,351	0,151	0,524
21	0,437	1,05	0,245	0,112	0,457
22	0,427	1,1	0,178	0,099	0,373
23	0,414	1,15	0,201	0,094	0,276
24	0,399	1,2	0,243	0,087	0,181
25	0,381	1,25	0,25	0,079	0,106
26	0,36	1,3	0,226	0,07	0,062
27	0,336	1,35	0,183	0,06	0,048
28	0,309	1,4	0,134	0,049	0,05
29	0,28	1,45	0,087	0,037	0,051
30	0,248	1,5	0,05	0,025	0,048
31	0,213	1,55	0,035	0,015	0,04
32	0,176	1,6	0,041	0,007	0,03
33	0,135	1,65	0,047	0,004	0,021
34	0,092	1,7	0,047	0,007	0,013
35	0,046	1,75	0,068	0,009	0,008
36	-0,003	1,8	0,041	0,008	0,008
37	-0,054	1,85	0,066	0,007	0,01
38	-0,109	1,9	0,012	0,004	0,009
39	-0,166	1,95	0,006	0,002	0,007
40	-0,226	2	0,041	0,001	0,006
41	-0,288	2,05	0,019	0,002	0,002

RAOs 15 kn, 190 deg, light load

	Enc. Fq	Wv. Fq	RAO heave	RAO roll	RAO pitch
1	0,05	0,05	1	0,66	0,11
2	0,1	0,1	1	0,916	0,031
3	0,15	0,15	1	0,99	0,017
4	0,2	0,2	1	1,036	0,012
5	0,25	0,25	1,001	1,079	0,01
6	0,3	0,3	1,001	1,13	0,01
7	0,35	0,35	1,002	1,195	0,011
8	0,4	0,4	1,003	1,281	0,012
9	0,45	0,45	1,005	1,402	0,014
10	0,5	0,5	1,009	1,579	0,016
11	0,55	0,55	1,014	1,86	0,019
12	0,6	0,6	1,021	2,361	0,023
13	0,65	0,65	1,031	3,491	0,028
14	0,7	0,7	1,045	8,232	0,034
15	0,75	0,75	1,064	12,659	0,042
16	0,8	0,8	1,089	3,123	0,052
17	0,85	0,85	1,123	1,631	0,064
18	0,9	0,9	1,164	1,033	0,078
19	0,95	0,95	1,212	0,716	0,092
20	1	1	1,259	0,521	0,109
21	1,05	1,05	1,284	0,391	0,125
22	1,1	1,1	1,248	0,298	0,138
23	1,15	1,15	1,131	0,231	0,14
24	1,2	1,2	0,966	0,18	0,128
25	1,25	1,25	0,81	0,142	0,109
26	1,3	1,3	0,681	0,113	0,088
27	1,35	1,35	0,573	0,091	0,069
28	1,4	1,4	0,482	0,074	0,054
29	1,45	1,45	0,405	0,06	0,042
30	1,5	1,5	0,343	0,048	0,033
31	1,55	1,55	0,293	0,039	0,027
32	1,6	1,6	0,253	0,032	0,021
33	1,65	1,65	0,221	0,026	0,017
34	1,7	1,7	0,2	0,022	0,015
35	1,75	1,75	0,096	0,018	0,009
36	1,8	1,8	0,135	0,016	0,01
37	1,85	1,85	0,127	0,013	0,007
38	1,9	1,9	0,105	0,012	0,007
39	1,95	1,95	0,095	0,01	0,005
40	2	2	0,069	0,009	0,005
41	2,05	2,05	0,079	0,009	0,005

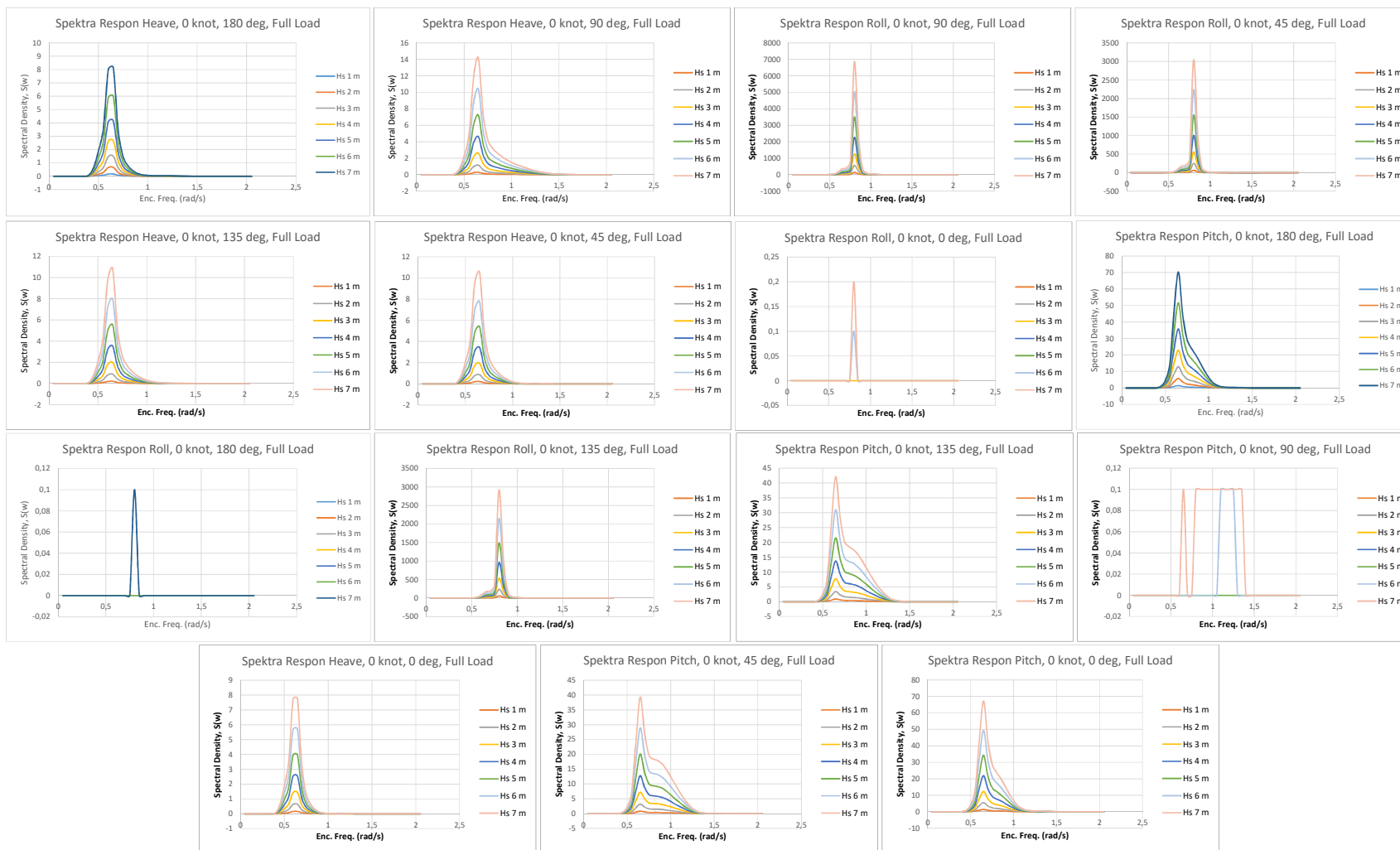
RAOs 15 kn, 135 deg, light load

	Enc. Fq	Wv. Fq	RAO heave	RAO roll	RAO pitch
1	0,051	0,05	1	0,469	0,719
2	0,106	0,1	1	0,649	0,712
3	0,163	0,15	1	0,701	0,713
4	0,222	0,2	0,999	0,732	0,714
5	0,285	0,25	0,997	0,76	0,715
6	0,35	0,3	0,994	0,793	0,716
7	0,418	0,35	0,99	0,833	0,717
8	0,489	0,4	0,982	0,884	0,717
9	0,563	0,45	0,972	0,955	0,717
10	0,639	0,5	0,957	1,056	0,715
11	0,718	0,55	0,938	1,213	0,712
12	0,8	0,6	0,914	1,49	0,708
13	0,885	0,65	0,884	2,112	0,702
14	0,973	0,7	0,851	4,715	0,693
15	1,063	0,75	0,815	6,754	0,68
16	1,156	0,8	0,779	1,521	0,659
17	1,252	0,85	0,746	0,707	0,629
18	1,351	0,9	0,715	0,386	0,588
19	1,452	0,95	0,683	0,223	0,537
20	1,556	1	0,644	0,135	0,478
21	1,663	1,05	0,588	0,093	0,413
22	1,773	1,1	0,496	0,08	0,342
23	1,886	1,15	0,36	0,078	0,267
24	2,001	1,2	0,212	0,077	0,196
25	2,119	1,25	0,106	0,073	0,133
26	2,24	1,3	0,098	0,067	0,082
27	2,364	1,35	0,125	0,059	0,043
28	2,491	1,4	0,134	0,049	0,015
29	2,62	1,45	0,124	0,04	0,002
30	2,752	1,5	0,103	0,03	0,012
31	2,887	1,55	0,076	0,022	0,016
32	3,024	1,6	0,051	0,014	0,016
33	3,165	1,65	0,028	0,008	0,014
34	3,308	1,7	0,009	0,002	0,011
35	3,454	1,75	0,036	0,001	0,007
36	3,603	1,8	0,011	0,004	0,007
37	3,754	1,85	0,026	0,005	0,004
38	3,909	1,9	0,018	0,005	0,003
39	4,066	1,95	0,02	0,004	0,003
40	4,226	2	0,028	0,003	0,005
41	4,388	2,05	0,003	0,002	0,004

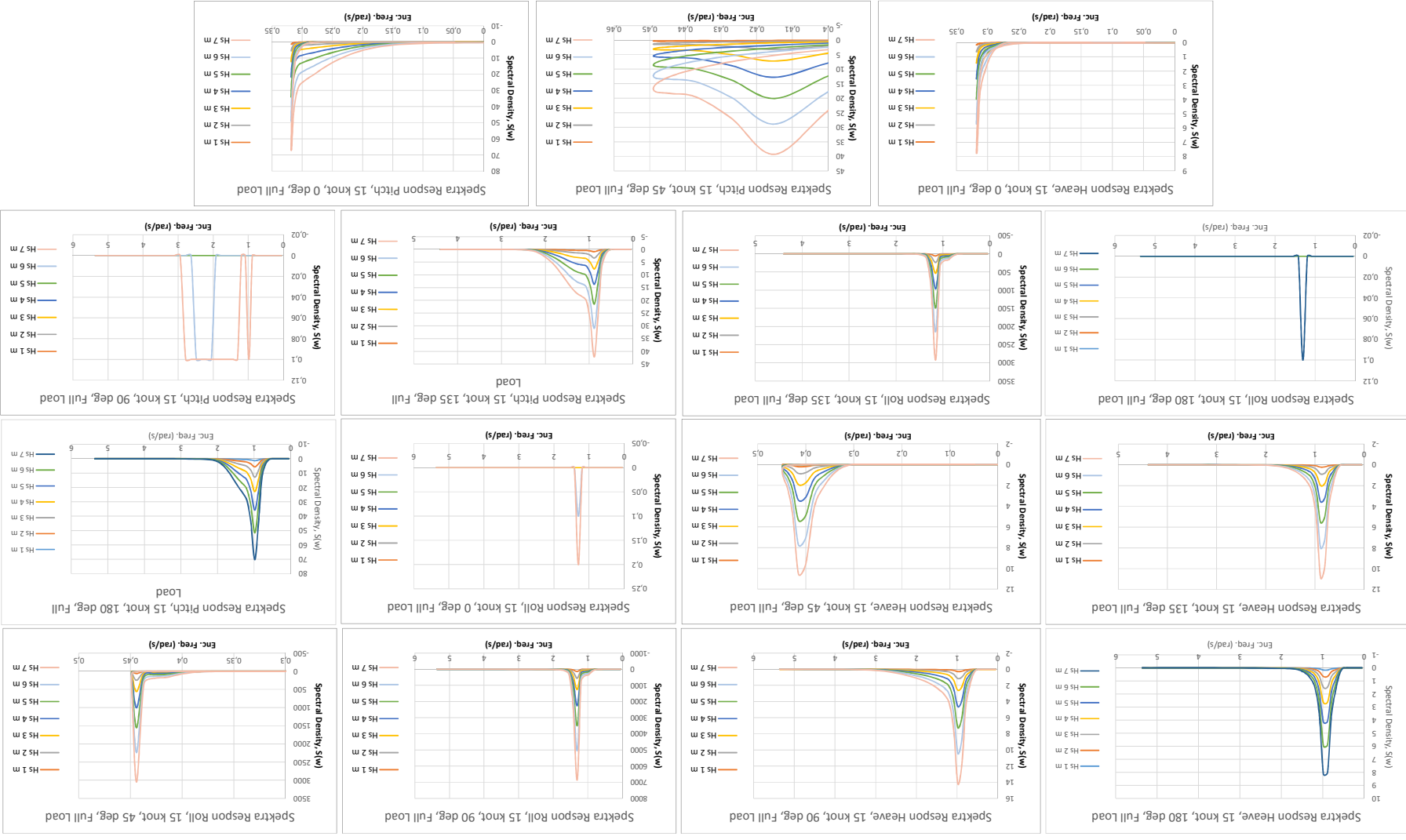
RAOs 15 kn, 180 deg, light load

	Enc. Fq	Wv. Fq	RAO heave	RAO roll	RAO pitch
1	0,052	0,05	1	0	1,011
2	0,108	0,1	1	0	1,006
3	0,168	0,15	0,999	0	1,007
4	0,231	0,2	0,998	0	1,008
5	0,299	0,25	0,994	0	1,009
6	0,371	0,3	0,988	0	1,008
7	0,446	0,35	0,978	0	1,005
8	0,526	0,4	0,962	0	1
9	0,609	0,45	0,939	0	0,991
10	0,697	0,5	0,908	0	0,977
11	0,788	0,55	0,866	0	0,958
12	0,883	0,6	0,813	0	0,932
13	0,982	0,65	0,75	0	0,898
14	1,086	0,7	0,678	0	0,855
15	1,193	0,75	0,602	0	0,799
16	1,304	0,8	0,529	0	0,727
17	1,419	0,85	0,461	0	0,639
18	1,537	0,9	0,401	0	0,537
19	1,66	0,95	0,35	0	0,427
20	1,787	1	0,317	0	0,321
21	1,918	1,05	0,308	0	0,226
22	2,052	1,1	0,316	0	0,147
23	2,191	1,15	0,32	0	0,09
24	2,333	1,2	0,3	0	0,057
25	2,48	1,25	0,252	0	0,05
26	2,63	1,3	0,189	0	0,051
27	2,784	1,35	0,126	0	0,048
28	2,942	1,4	0,076	0	0,039
29	3,104	1,45	0,05	0	0,027
30	3,27	1,5	0,047	0	0,016
31	3,44	1,55	0,047	0	0,009
32	3,614	1,6	0,042	0	0,007
33	3,792	1,65	0,034	0	0,007
34	3,974	1,7	0,025	0	0,007
35	4,16	1,75	0,047	0	0,007
36	4,349	1,8	0,019	0	0,007
37	4,543	1,85	0,014	0	0,003
38	4,741	1,9	0,016	0	0,002
39	4,942	1,95	0,012	0	0,002
40	5,148	2	0,012	0	0,002
41	5,357	2,05	0,002	0	0,002

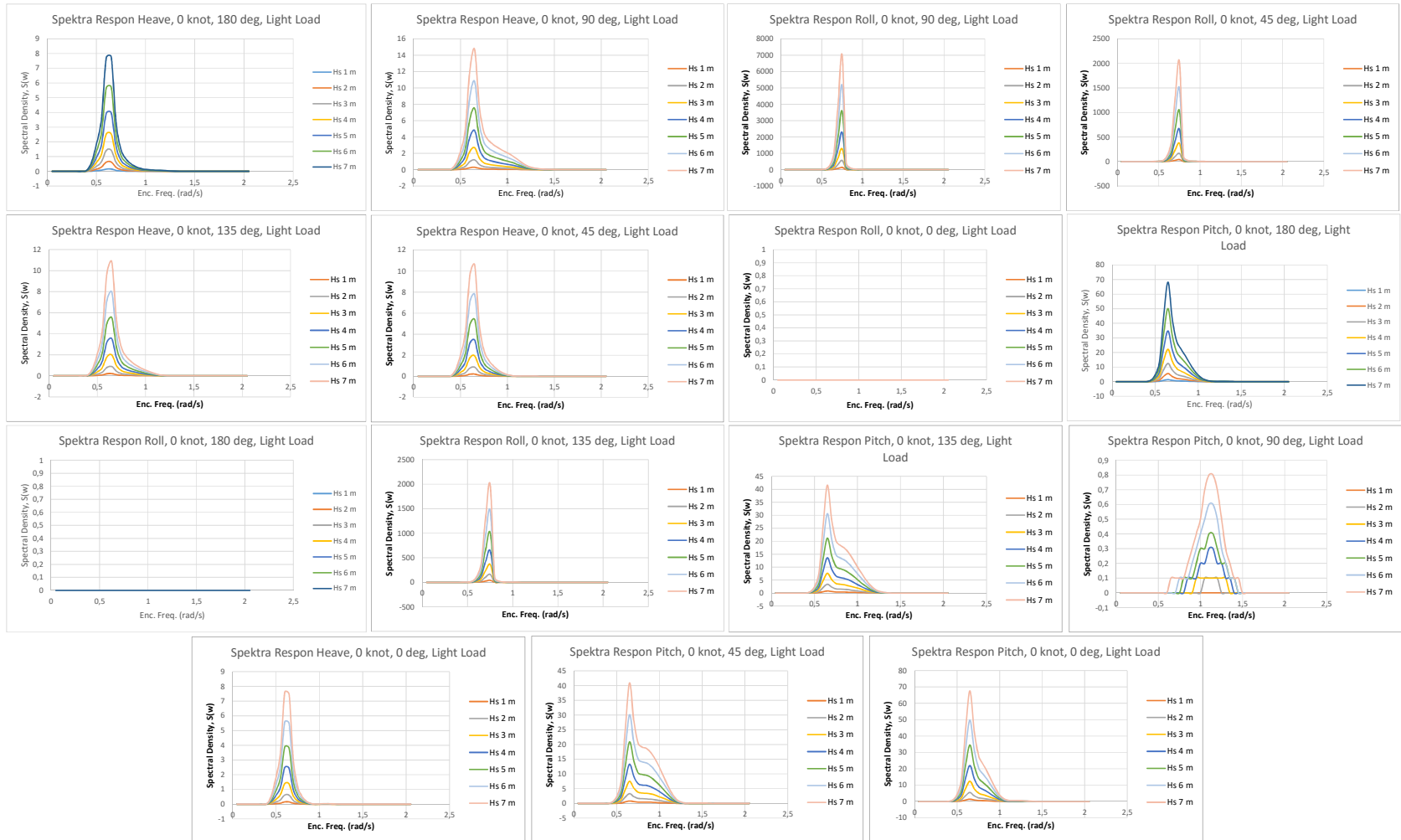
Full Load 0 kn, Spectral Density $S(w)$ pada setiap Encounter Frequency (w_e)



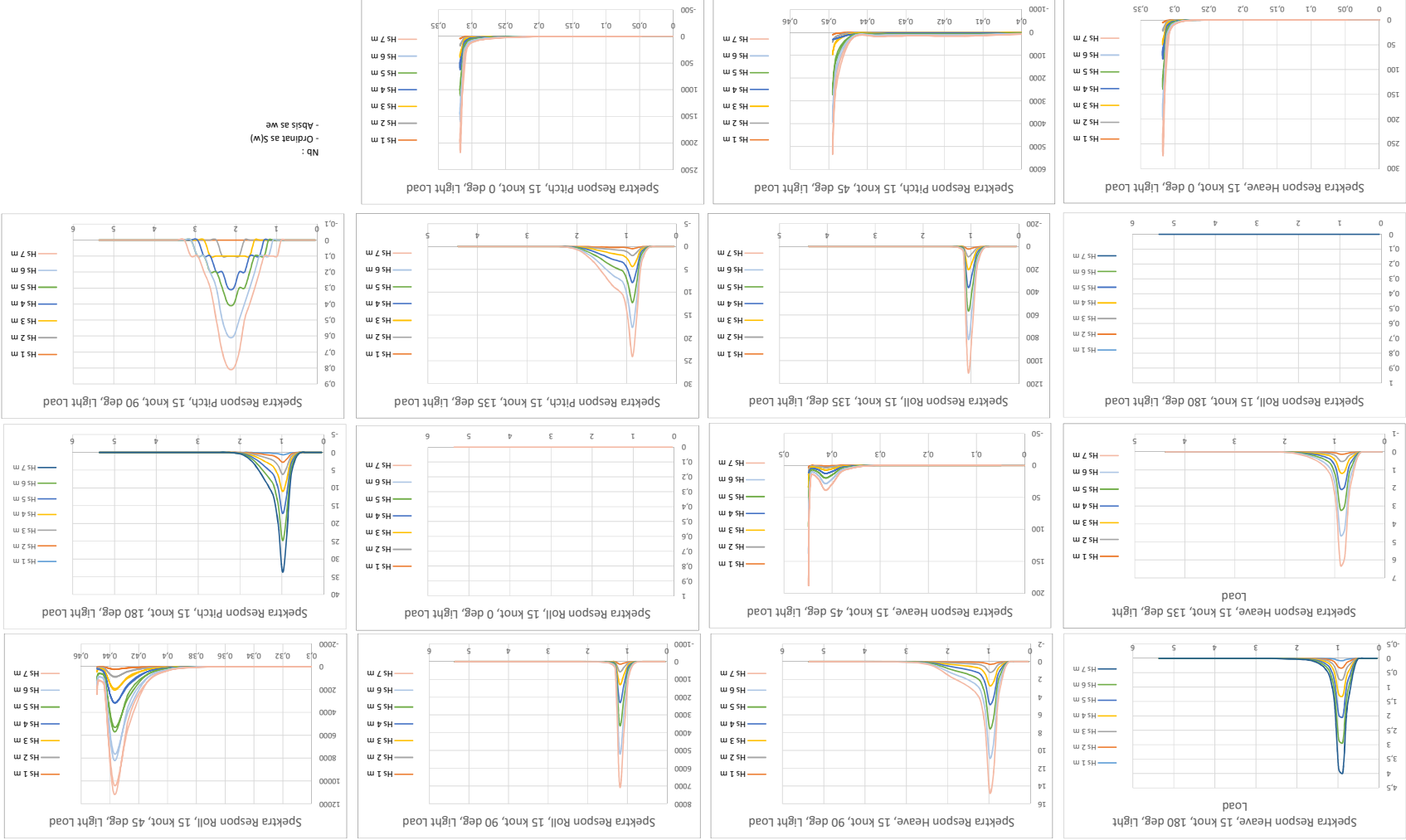
Full Load 15 kn, Spectral Density S(w) pada setiap Encounter Frequency (we)



Light Load 0 kn, Spectral Density $S(w)$ pada setiap Encounter Frequency (w_e)



Light Load 15 kn, Spectral Density S(w) pada setiap Encounter Frequency (we)

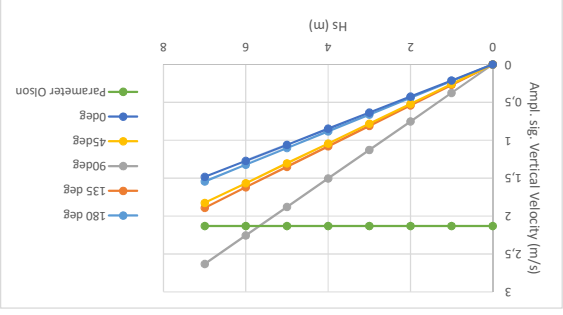
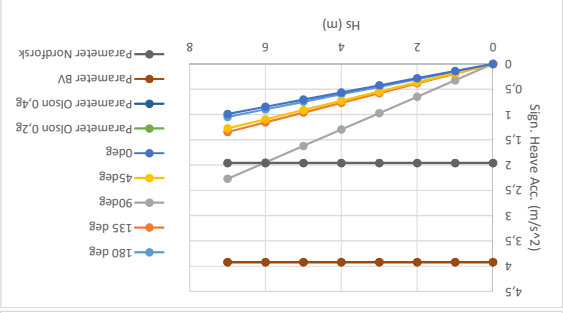
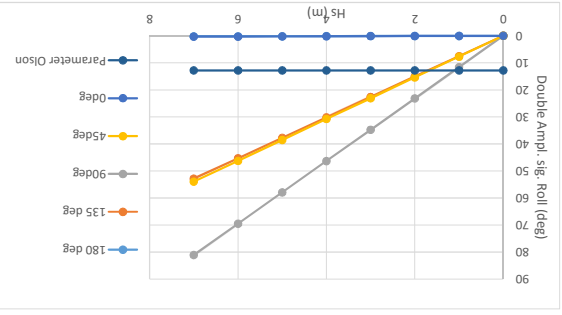
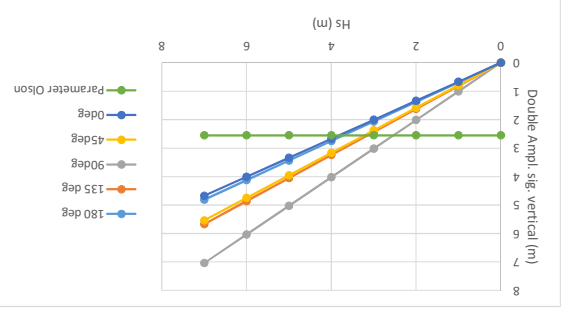
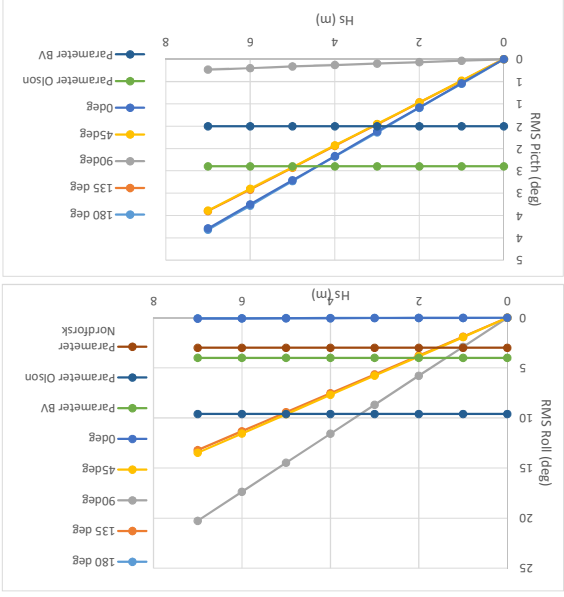


Nb :
- Ordinat as S(w)
- Absis as we

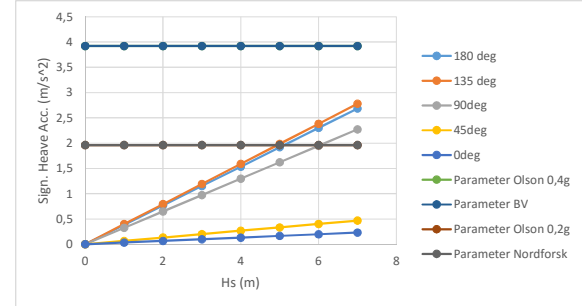
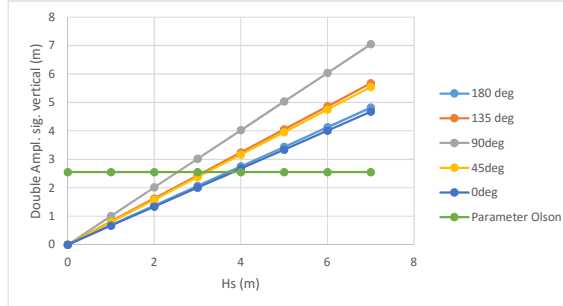
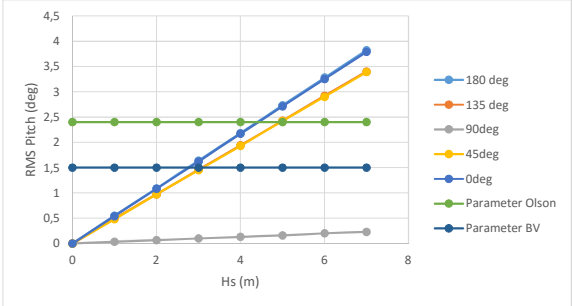
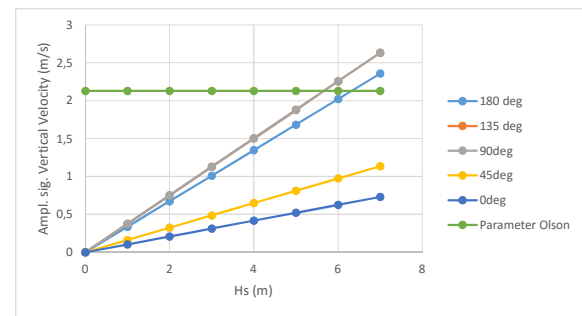
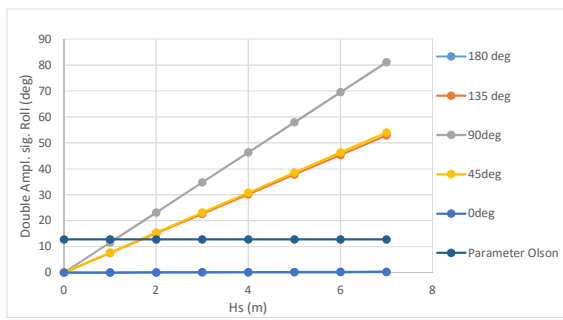
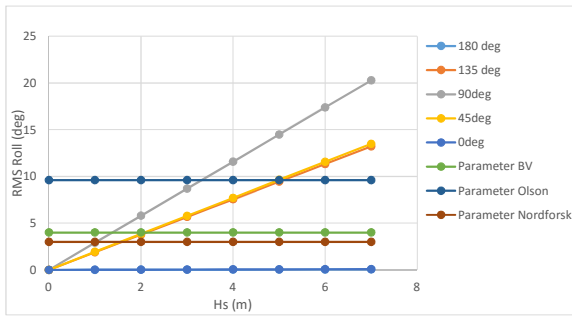
Respon Kapal Akibat Pengaruh Streamer di Gelombang Acak

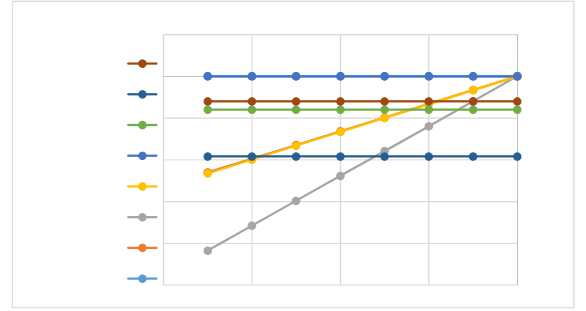
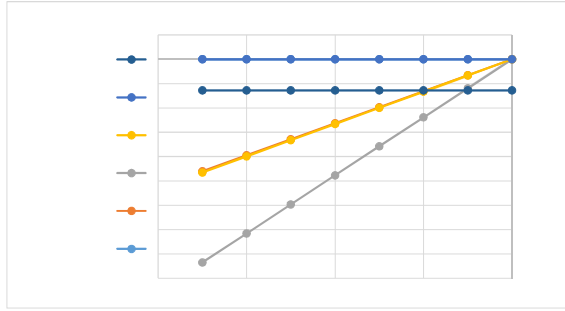
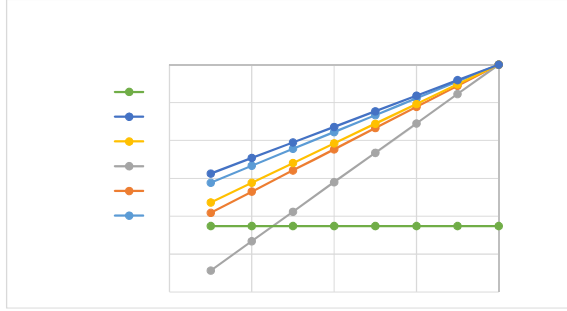
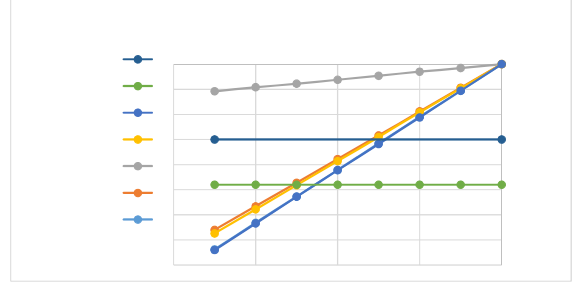
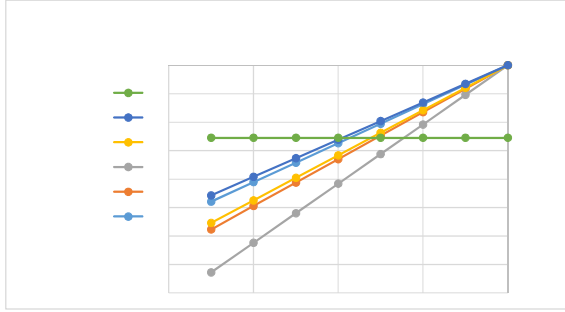
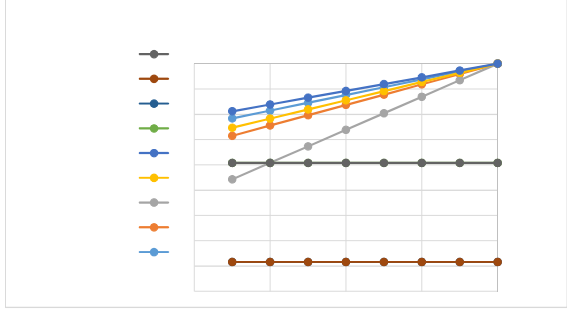
Heave (m)	180	135	90	Pitch (deg)	180	135	90	Roll (deg)	180	135	90
0 m0 =	0	0	0	0 m0 =	0	0	0	0 m0 =	0	0	0
1 m0 =	0,090	0,079	0,062	1 m m0 =	0,193	0,126	0,001	1 m m0 =	0,000	0,436	1,153
RMS =	0,300	0,282	0,250	RMS =	0,440	0,355	0,033	RMS =	0,002	0,660	1,074
Av. =	0,375	0,352	0,312	Av. =	0,550	0,443	0,042	Av. =	0,003	0,826	1,342
Sig. =	1,201	1,127	0,999	Sig. =	1,759	1,419	0,134	Sig. =	0,009	2,642	4,296
4 m0 =	1,400	1,270	0,998	4 m m0 =	2,809	2,012	0,018	4 m m0 =	0,000	6,979	18,454
RMS =	1,183	1,127	0,999	RMS =	1,676	1,419	0,134	RMS =	0,008	2,642	4,296
Av. =	1,479	1,409	1,248	Av. =	2,095	1,773	0,167	Av. =	0,010	3,302	5,370
Sig. =	4,732	4,509	3,995	Sig. =	6,704	5,674	0,535	Sig. =	0,033	10,567	17,183
7 m0 =	4,282	3,889	3,055	7 m m0 =	8,601	6,163	0,055	7 m m0 =	0,000	21,374	56,515
RMS =	2,069	1,972	1,748	RMS =	2,933	2,483	0,234	RMS =	0,015	4,623	7,518
Av. =	2,587	2,465	2,185	Av. =	3,666	3,103	0,293	Av. =	0,018	5,779	9,397
Sig. =	8,277	7,888	6,991	Sig. =	11,731	9,930	0,937	Sig. =	0,058	18,493	30,071

Prediksi Operabilitas Full Load, 0 kn

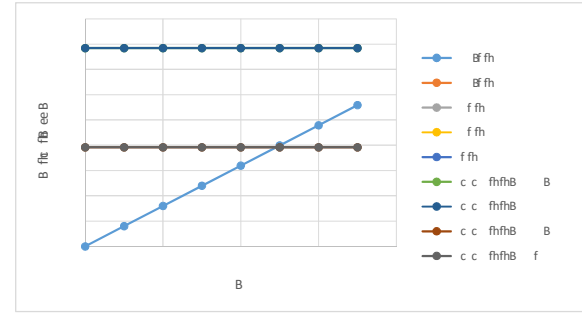
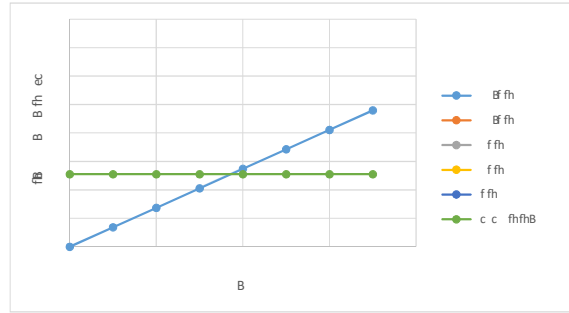
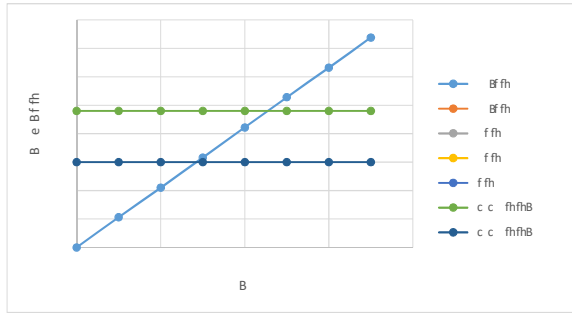
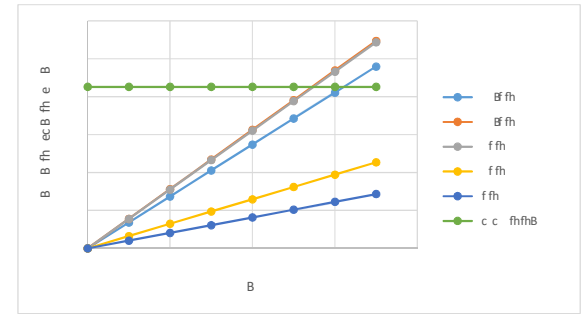
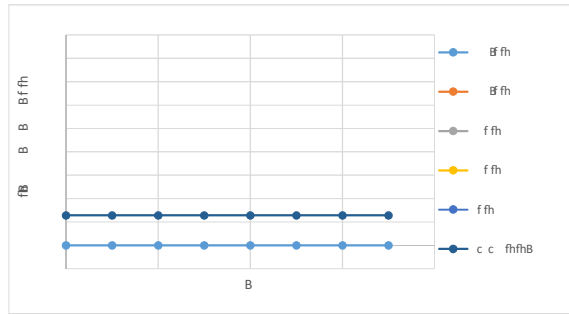
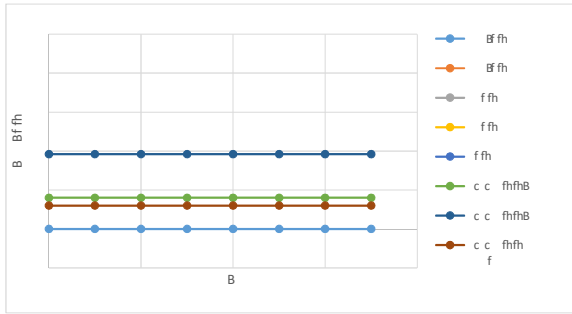


Prediksi Operabilitas Full Load, 15 kn



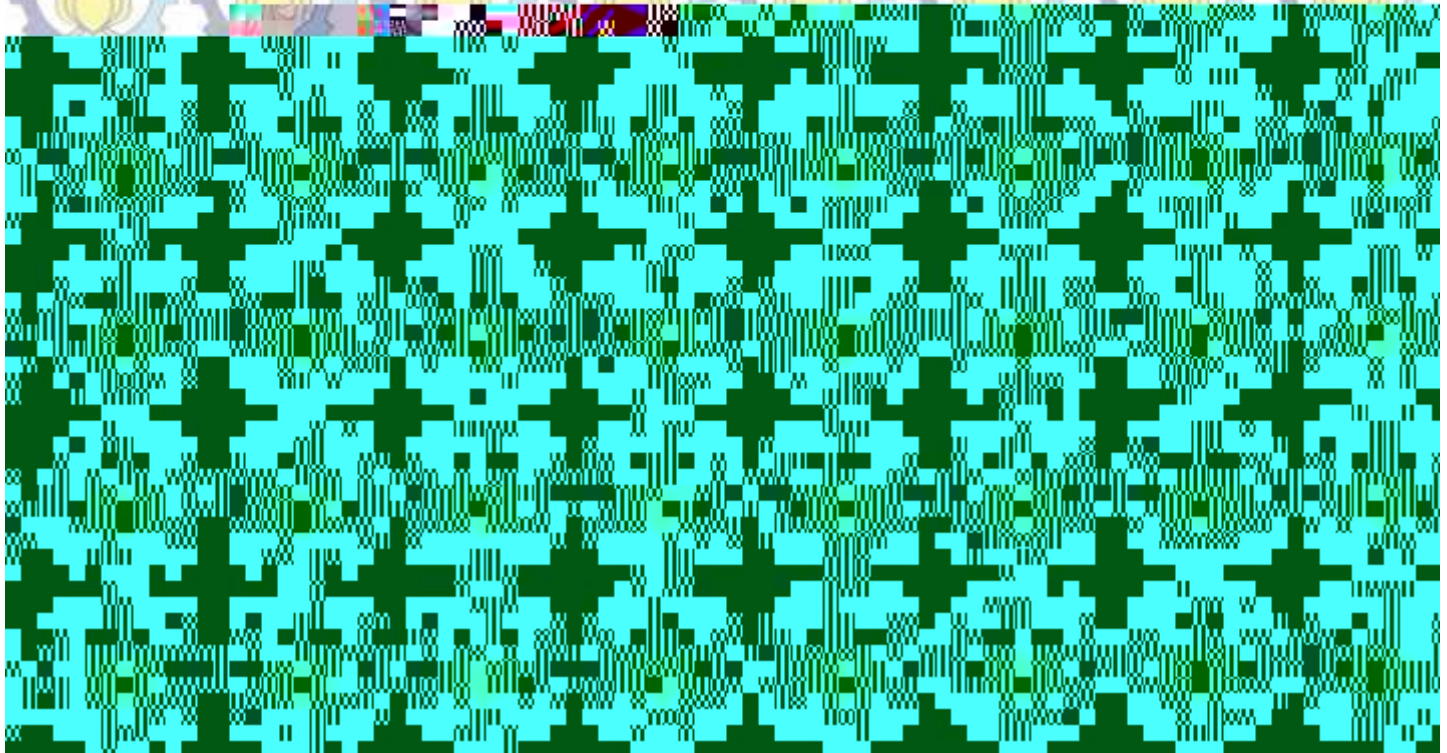


f f i B f h c c B B c f B B





BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dilakukan mengenai perilaku gerak desain kapal survei seismik *Geomarin-IV* dalam kondisi *free floating* maupun saat menarik *streamer* saat survei seismik, dihasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Respon gerakan kapal *Geomarin-IV* akibat eksitasi gelombang reguler menghasilkan *RAO* tertinggi saat dalam kondisi *light load* dengan nilai *heave* tertinggi 1,248 (m/m), *roll* sebesar 12,65 (rad/rad), dan *pitch* sebesar 1,02 (rad/rad) berlaku untuk kecepatan 0 knot dan 15 knot.
- Respon gerakan kapal *Geomarin-IV* di gelombang acak untuk pergerakan *heave* terbesar terjadi pada saat kapal dalam kondisi *light load* dengan kecepatan 15 knot akibat arah gelombang 90°. Untuk gerakan *roll* maksimum terjadi pada saat kapal dalam kondisi *light load* dengan kecepatan 15 knot akibat arah gelombang 90°. Dan untuk gerakan *pitch* maksimum terjadi ketika kapal dalam kondisi *light load* dengan kecepatan 15 knot akibat arah gelombang 180°.
- Parameter operabilitas BV dan Nordforsk terlampaui saat tinggi gelombang signifikan terendah 1,3 m dan 1,1 m pada gerakan *roll* akibat gelombang 90° kondisi tidak sedang beroperasi survei seismik.
- Operabilitas berdasarkan kriteria kapal umum Olson menghasilkan batas tinggi gelombang signifikan maksimal sebesar 3,2 m dan kriteria helikopter menghasilkan batas *Hs* 1,05 m.
- Operabilitas *seakeeping* kapal *Geomarin-IV* di gelombang acak akibat kondisi beroperasi survei seismik, didapatkan batas tinggi gelombang signifikan maksimal sebesar 5,5 m dengan kriteria operasi umum Olson.
- Peluang *operable* secara keseluruhan untuk kriteria operasi umum sebesar 97,31%, untuk kondisi operasi survei seismik menggunakan kriteria umum sebesar 99,97%, sedangkan untuk kriteria operasi helikopter, BV, dan Nordforsk menghasilkan peluang *operable* sebesar 67,95%.

5.2. Saran

Penelitian ini masih belum bisa dikatakan sempurna karena masih menyederhanakan beberapa masalah dalam analisis. Untuk itu dalam penelitian selanjutnya diharapkan mempertimbangkan hal-hal seperti halnya berikut:

1. Pada saat dilakukan analisa kapal mengoperasikan *streamer* atau sedang melakukan survei seismik, perlu dilakukan pada kondisi pembebanan yang berbeda-beda.
2. Pada penelitian ini analisa terbatas pada 3 mode gerakan vertikal yaitu *heave*, *roll*, dan *pitch*. Untuk penelitian selanjutnya dapat melengkapi analisa dengan mode gerakan *surge*, *sway*, dan *yaw* mengingat ada kriteria gerakan lateral.
3. Pada penelitian ini hanya dilakukan variasi tinggi gelombang dengan mengabaikan periode gelombang, sehingga untuk penelitian selanjutnya dapat menambahkan variasi periode gelombang untuk hasil yang lebih akurat.
4. Analisa pada tugas akhir ini hanya dilakukan dengan data perairan Natuna, dapat ditambahkan data perairan lainnya yang dianggap lebih akurat untuk mewakili kondisi perairan Indonesia dalam melakukan analisa.
5. nalisa operabilitas kapal *Geomarin-IV* berdasarkan *Motions Sickness Incidence* (MSI) dan *Motion Induced Interruption* (MII) .



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Bhattacharyya, R. 1978. *Dynamics of Marine Vehicles*. John Wiley & Sons Inc. New York.
- Brillin, Dimas B. 2015. **Analisa Seakeeping Pada Offshore Supply Vessel 56 Meter**". *Jurnal Teknik ITS*. Vol. 4, No. 2, (2015) ISSN:2337-3539 (2301-9271 Print).
- Bureau Veritas. 2011. *Rules for the Classification of Naval Ships*. Perancis.
- Chakrabarti, S.K. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structures*, USA: Computational Mechanics Publications Southampton.
- Dehghanian, A. dkk. 2014. **Optimizing the Seakeeping Performance of Ship Hull Forms Using Genetic Algorithm**". *Journal of Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. Vol. 8, DOI:10.12716/1001.08.01.06. March.
- Djarmiko, E.B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. ITS Press. Surabaya.
- Hermawan, YA. 2015. *Analisis Teknis Perbandingan Desain Bentuk Lambung FSO Dalam Aspek Serviceability dan Structural Integrity*. ITS Press. Surabaya.
- Hoffman, D. 1976. **The Impact of Seakeeping on Ship Operations**". *Marine Technology*. SNAME, Vol. 13, No. 2, pp.241-262. July.
- IMO 2008. *Code of Safety for Special Purpose Ship*. Resolution MSC.266(84).
- Kurniawan, dkk. 2012. **Study On High Wave Prone Areas Over Indonesian Waters**". *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. Vol. 13, No. 3, pp.201-212. Desember.
- Lloyd, A.R.J.M. 1989. *Seakeeping: Ship Behaviour in Rough Weather*. Ellis Horwood Ltd. Chichester. UK.
- Maimun, A. 2006. **Seakeeping Analysis of A Fishing Vessel Operating In Malaysian Water**. *Jurnal Mekanikal Universiti Teknologi Malaysia*. No. 22, 103-114. Desember.
- Murtedjo, M. 1999. *Handout Teori Bangunan Apung*. ITS Press. Surabaya.
- Nocerino, Erica. 2010. **Human Postural Stability Onboard Ship As Seakeeping Criterion**. Italia.
- Olson, S.R. 1978. **An Evaluation of the Seakeeping Qualities of Naval Combatants**. *Naval Engineering Journal*. ASNE, Vol. 90, No. 1, pp. 23-40, Feb.
- Yuda, I.D.G.A.S. 2013. **Evaluasi Aspek Gerakan dan Operabilitas Dalam Perancangan Drillship dengan Displasemen 35000 Ton**. ITS Pers. Surabaya.



BIODATA PENULIS

BIODATA PENULIS



Yonny Ahmad Ismail, lahir di Sidoarjo, 20 Mei 1994. Pendidikan TK, SD, SMP dan SMA ditempuh di Sidoarjo dan lulus dari SMA Negeri 1 Krembung pada tahun 2012. Setelah itu penulis mengikuti Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru melalui jalur SNMPTN Undangan dan diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis berasal dari sebuah keluarga yang sangat sederhana yang bertempat tinggal di Sidoarjo, tepatnya di desa Bulang, Kec. Prambon. Penulis merupakan anak ke-2 dari 3 bersaudara. Penulis pernah aktif dalam kegiatan kepramukaan sejak masuk SMP hingga lulus SMA dan pernah menjadi pengurus Dewan Kerja Cabang Sidoarjo di tahun 2011. Saat penyusunan Tugas Akhir ini, penulis berstatus magang dan secara tidak langsung terlibat dalam proses perencanaan dan perancangan pembangunan kapal *Geomarin IV* milik Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (P3GL) yang sedang dikerjakan oleh PT. Citra Mas, Surabaya. Penulis memiliki ketertarikan dalam bidang hidrodinamika, sehingga Tugas Akhir yang disusun merupakan salah satu dari penerapan hidrodinamika kelautan.