



TUGAS AKHIR - MO 091336

**ANALISIS KARAKTERISTIK GERAKAN DAN OPERABILITAS  
*SELF PROPELLED COAL BARGE (SPCB)***

**BRIAN PUTRA NEGARA**

NRP. 4310 100 003

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 2014**



FINAL PROJECT - MO 091336

**MOTION CHARACTERISTICS AND OPERABILITY OF SELF  
PROPELLED COAL BARGE (SPCB) ANALYSIS**

**BRIAN PUTRA NEGARA**

NRP. 4310 100 003

SUPERVISOR :

**Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D**  
**Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.**

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2014

# ANALISIS KARAKTERISTIK GERAKAN DAN OPERABILITAS *SELF PROPELLED COAL BARGE* (SPCB)

**Nama Mahasiswa** : Brian Putra Negara

**NRP** : 4310 100 003

**Jurusan** : Teknik Kelautan FTK – ITS

**Dosen Pembimbing** : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D  
Ir. Mas Murtedjo, M.Eng

## ABSTRAK

SPCB merupakan fasilitas transportasi laut yang digunakan untuk mengangkut batubara. Skenario pengoperasian SPCB ditentukan untuk mengetahui karakteristik gerakan SPCB pada saat beroperasi di lingkungan laut. Pada penelitian ini akan mengkaji karakteristik gerakan untuk mengetahui operabilitas SPCB. Operabilitas adalah kemampuan untuk bekerja di suatu lingkungan laut tertentu, dengan membandingkan waktu mampu bekerja dengan total waktu berada dilokasi, atau dengan kata lain merupakan peluang diselesaikannya suatu pekerjaan dengan mempertimbangkan kriteria atau kondisi batas operasinya pada keganasan laut tertentu. Penelitian ini menyajikan metodologi berbasis frekuensi untuk menghitung perilaku gerak SPCB pada perairan Natuna dan perairan Dunia yang dikorelasikan dengan tinggi gelombang ekstrem di Laut Jawa. Berdasarkan analisis karakteristik gerakan SPCB akibat gelombang reguler didapatkan RAO (*Response Amplitude Operator*) untuk tiap gerakan *heave*, *roll* dan *pitch*, sedangkan analisis karakteristik gerak SPCB akibat gelombang acak dengan mengkorelasikan nilai RAO kuadrat dikalikan spektra gelombang maka akan didapatkan spektra respons gerak serta didapatkan harga statistik gerakan. Melihat karakteristik gerakan SPCB yang dikorelasikan dengan kriteria operasi SPCB, maka SPCB mampu beroperasi hingga tinggi gelombang signifikan 2 meter, untuk tinggi gelombang lebih dari 2 m SPCB tidak optimal dalam melakukan operasinya. Dalam analisis operabilitas SPCB pada perairan Dunia didapatkan presentase *operable* dari *Self Propelled Coal Barge* (SPCB) sebesar 56,75 % dan waktu tidak beroperasi (*downtime*) 43,25 %, Dalam waktu setahun (365 hari) jika SPCB dioperasikan secara menerus maka SPCB mampu beroperasi selama 207 hari. Sedangkan analisis operabilitas SPCB pada perairan Natuna didapatkan presentase *operable* dari *Self Propelled Coal Barge* (SPCB) sebesar 84,07 % dan waktu tidak beroperasi (*downtime*) 15,93 %. Dalam waktu setahun (365 hari) jika SPCB dioperasikan secara menerus maka SPCB mampu beroperasi selama 303 hari.

**Kata kunci** : *Self propelled coal barge* (SPCB), *Karakteristik gerakan*, *gelombang reguler*, *gelombang acak*, *operabilitas*.



# MOTION CHARACTERISTICS AND OPERABILITY OF SELF PROPELLED COAL BARGE (SPCB) ANALYSIS

**Student Name** : Brian Putra Negara  
**Reg** : 4310 100 003  
**Department** : Ocean Engineering, Marine Faculty – ITS  
**Supervisors** : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D  
Ir. Mas Murtedjo, M.Eng

## ABSTRACT

*SPCB is facility of sea transportation that use to carry coal. Scenario operational is definitely to know motion characteristics of SPCB when operate in sea environment. This research will investigate motion characteristics to know operability of SPCB. Operability is the ability to work in a certain sea environment, by comparing the working time to the total time at location, or in the other words is the probability to complete the work by considering the criteria or limiting conditions in a certain sea severity. The research presented frequency domain methodology to count motion behaviour of SPCB in Natuna sea and World sea that relate with extreme wave high in Java sea. Based on motion characteristics of SPCB analysis because regular wave get RAO (Response Amplitude Operate) for each heave, roll and pitch motion, whereas motion characteristics of SPCB analysis because irregular wave relate RAO square time with wave spectra so that will get motion spectra response and that will get motion statistic value. See motion characteristic of SPCB related with operatonal criteria of SPCB, so that SPCB can operate until significant wave high 2 meters, for significant wave high over 2 meters, SPCB doesn't optimal for do the operation. In operability of SPCB analysis in world sea get presentage operable from SPCB at about 56,75 % and down time 43,25 %. In one year (365 days), if SPCB continuation operate so that SPCB can operate during 207 days. Meanwhile operability of SPCB analysis in Natuna sea get operable precentage from SPCB at about 84,07 % and down time 15,93 % in one year (365 days), if SPCB continuation operate so that SPCB can operate during 303 days.*

*Key Word : Self propelled coal barge (SPCB), motion characteristics, regular wave, irregular wave, operability.*



**ANALISIS KARAKTERISTIK GERAKAN DAN  
OPERABILITAS SELF PROPELLED COAL BARGE (SPCB)**

**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

Oleh :

**BRIAN PUTRA NEGARA**

NRP. 4310 100 003

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

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

2. Ir. Mas Murtedjo, M.Eng. .... (Pembimbing 2)

SURABAYA, AGUSTUS 2014



## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur kepada Allah SWT yang memberikan kasih sayang-Nya, kesehatan dan kekuatan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik dan lancar. Ucapan terima kasih kepada Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D dan Ir. Mas Murtedjo, M.Eng selaku dosen pembimbing yang selalu mengarahkan dan membimbing penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Karakteristik Gerakan Dan Operabilitas *Self Propelled Coal Barge (SPCB)***” ini menjelaskan mengenai analisis terhadap karakteristik gerakan *Self Propelled Coal Barge (SPCB)* di gelombang reguler maupun gelombang acak beserta Operabilitas SPCB akibat karakteristik gerakan pada SPCB.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih terdapat kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik sangat diharapkan sebagai bahan penyempurnaan laporan selanjutnya. Penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang kelautan, bagi pembaca umumnya dan penulis pada khususnya.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, 4 Agustus 2014

Penulis



## DAFTAR ISI

|   |       |
|---|-------|
| HALAMAN JUDUL .....   | i     |
| LEMBAR PENGESAHAN .....   | iii   |
| ABSTRAK .....   | v     |
| KATA PENGANTAR .....  | ix    |
| UCAPAN TERIMA KASIH .....   | xi    |
| DAFTAR ISI .....  | xiii  |
| DAFTAR GAMBAR .....   | xviii |
| DAFTAR TABEL .....  | xxiii |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b>  |       |
| 1.1 LATAR BELAKANG MASALAH .....                                      | 1     |
| 1.2 PERUMUSAN MASALAH .....   | 3     |
| 1.3 TUJUAN .....  | 4     |
| 1.4 MANFAAT .....   | 4     |
| 1.5 BATASAN MASALAH .....   | 4     |
| 1.6 SISTEMATIKA MASALAH .....   | 6     |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI</b>                        |       |
| 2.1 TINJAUAN PUSTAKA .....  | 7     |
| 2.1.1 Potensi Batubara Provinsi Kalimantan Tengah .....               | 8     |
| 2.1.2 Sistem Distribusi Batubara .....                                | 9     |
| 2.1.3 <i>Self Propelled Coal Barge</i> .....                          | 10    |
| 2.1.4 Kriteria Operabilitas .....                                     | 11    |
| 2.2 DASAR TEORI .....   | 12    |
| 2.2.1 Beban Gelombang .....   | 12    |
| 2.2.2 Teori Gerakan Bangunan Apung di Atas Gelombang<br>Reguler ..... | 12    |
| 2.2.2.1 <i>Heaving</i> .....  | 13    |
| 2.2.2.2 <i>Pitching</i> .....   | 14    |



|   |    |
|---|----|
| 2.2.2.3 <i>Rolling</i>  | 14 |
| 2.2.2.4 <i>Yawing</i>   | 14 |
| 2.2.2.5 <i>Swaying</i>  | 15 |
| 2.2.2.6 <i>Surging</i>  | 15 |
| 2.2.3 Spektra Gelombang   | 20 |
| 2.2.4 Gerakan Bangunan Apung di Atas Gelombang Acak                           | 22 |
| 2.2.5 Prediksi Operabilitas Bangunan Apung                                    | 24 |
| 2.2.6 Perangkat Lunak Moses   | 27 |
| <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>  |    |
| 3.1 METODOLOGI PENELITIAN   | 29 |
| 3.2 PROSEDUR PENELITIAN   | 30 |
| 3.2.1 Studi Literatur & Pengumpulan Data                                      | 31 |
| 3.2.2 Pemodelan <i>Self Proepelled Coal Barge</i>                             | 36 |
| 3.2.3 Penentuan Skenario Operasi  | 43 |
| 3.2.4 Komputasi Gerakan   | 43 |
| 3.2.5 Analisis Spektra  | 44 |
| 3.2.6 Penentuan Oprabilitas   | 44 |
| <b>BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN</b>                                   |    |
| 4.1 PEMODELAN <i>SELF PROPELLED COAL BARGE</i> (SPCB)                         | 45 |
| 4.2 SKENARIO ANALISIS KRAKTERISTIK GERAKAN SPCB                               | 48 |
| 4.2.1 Perhitungan <i>Cemter of Gravity</i> SPCB                               | 49 |
| 4.2.2 Perhitungan Radius Girasi SPCB  | 50 |
| 4.2.3 Skenario Arah Pembebanan  | 51 |
| 4.2.4 Skenario Kecepatan SPCB   | 52 |
| 4.3 ANANLISIS KARAKTERISTIK GERAK SPCB PADA<br>GELOMBANG REGULER              | 52 |
| 4.3.1 Analisis Karakteristik Gerak SPCB Kondisi Mengapung<br>Bebas dan Melaju | 52 |



|   |    |
|---|----|
| 4.3.1.A Karakteristik gerak SPCB akibat gelombang Haluan<br>(180 <sup>0</sup> ) Kondisi Ballast.....          | 53 |
| 4.3.1.B Karakteristik gerak SPCB akibat Gelombang perempat<br>Haluan (135 <sup>0</sup> ) Kondisi Ballast..... | 57 |
| 4.3.1.C Karakteristik gerak SPCB akibat Gelombang sisi (90 <sup>0</sup> )<br>Kondisi Ballast.....             | 60 |
| 4.3.1.D Karakteristik gerak SPCB akibat Gelombang buritan<br>(0 <sup>0</sup> ) Kondisi Ballast.....           | 62 |
| 4.3.1.E Karakteristik gerak SPCB akibat gelombang Haluan<br>(180 <sup>0</sup> ) Kondisi Muatan 50%.....       | 65 |
| 4.3.1.F Karakteristik gerak SPCB akibat Gelombang perempat<br>Haluan (135 <sup>0</sup> ) Muatan 50% .....     | 68 |
| 4.3.1.G Karakteristik gerak SPCB akibat Gelombang sisi (90 <sup>0</sup> )<br>Kondisi Muatan 50%.....          | 71 |
| 4.3.1.H Karakteristik gerak SPCB akibat Gelombang buritan<br>(0 <sup>0</sup> ) Kondisi Muatan 50% .....       | 73 |
| 4.3.1.I Karakteristik gerak SPCB akibat gelombang Haluan<br>(180 <sup>0</sup> ) Kondisi Muatan 100% .....     | 76 |
| 4.3.1.J Karakteristik gerak SPCB akibat Gelombang perempat<br>Haluan (135 <sup>0</sup> ) Muatan 100% .....    | 79 |
| 4.3.1.K Karakteristik gerak SPCB akibat Gelombang sisi (90 <sup>0</sup> )<br>Kondisi Muatan 100% .....        | 83 |
| 4.3.1.L Karakteristik gerak SPCB akibat Gelombang buritan<br>(0 <sup>0</sup> ) Kondisi Muatan 100% .....      | 85 |
| 4.4 ANALISIS SPEKTRA .....  | 88 |
| 4.4.1 Analisis Spektra Gelombang .....  | 88 |
| 4.5 ANALISIS SPEKTRA RESPON GERAK SPCB DI GELOMBANG<br>ACAK .....   | 94 |
| 4.5.1 Spektra Respons untuk Gerakan <i>Heave</i> pada Kondisi <i>Full</i><br><i>Load</i> .....                | 98 |



|  |     |
|--|-----|
| 4.5.2 Spektra Respons untuk Gerakan <i>Heave</i> pada Kondisi <i>Half Load</i> ..... | 104 |
| 4.5.3 Spektra Respons untuk Gerakan <i>Heave</i> pada Kondisi <i>Ballast</i> .....   | 109 |
| 4.5.4 Spektra Respons untuk Gerakan <i>Roll</i> pada Kondisi <i>Full Load</i> .....  | 115 |
| 4.5.5 Spektra Respons untuk Gerakan <i>Roll</i> pada Kondisi <i>Half Load</i> .....  | 120 |
| 4.5.6 Spektra Respons untuk Gerakan <i>Roll</i> pada Kondisi <i>Ballast</i> .....    | 125 |
| 4.5.7 Spektra Respons untuk Gerakan <i>Pitch</i> pada Kondisi <i>Full Load</i> ..... | 131 |
| 4.5.8 Spektra Respons untuk Gerakan <i>Pitch</i> pada Kondisi <i>Half Load</i> ..... | 136 |
| 4.5.9 Spektra Respons untuk Gerakan <i>pitch</i> pada Kondisi <i>Ballast</i> .....   | 141 |
| 4.6 ANALISIS OPERABILITAS SPCB .....   | 150 |
| 4.6.1 Operabilitas SPCB ( <i>Self Propelled Coal Barge SPCB</i> )                    |     |
| Di Perairan Dunia .....  | 150 |
| 4.6.2 Operabilitas SPCB ( <i>Self Propelled Coal Barge SPCB</i> )                    |     |
| Di Perairan Natuna .....   | 158 |
| BAB V PENUTUP  |     |
| 5.1 KESIMPULAN .....   | 163 |
| 5.2 SARAN .....  | 166 |
| DAFTAR PUSTAKA   |     |



## DAFTAR TABEL

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Tabel 2.1 Harga statistik amplitudo dan tinggi gelombang pada spektrum . 20

Tabel 2.2 Kriteria Umum Operasi SPCB (Lloyd A.R.J.M, 1989) ..... 24

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Tabel 3.1 Data Kapal Acuan (www.worldoils.com) ..... 31

Tabel 3.2 Data Gelombang ( PT. Kalvindo Utama -Fugro Indonesia) ..... 34

Tabel 3.3 Data Sebaran Gelombang di Perairan Dunia (ABS,2011) ..... 34

Tabel 3.4 Data Sebaran Gelombang di Perairan Natuna (Metocean Belanak) 35

Tabel 3.5 Kriteria Umum Operasi SPCB (Lloyd A.R.J.M, 1989) ..... 35

Tabel 3.6 Tabel Hidrostatik Model SPCB..... 37

Tabel 3.7 Tabel Hidrostatik Model SPCB..... 38

Tabel 3.8 Tabel Hidrostatik Model SPCB..... 39

Tabel 3.9 Tabel Hidrostatik Model SPCB..... 40

Tabel 3.10 Tabel Hidrostatik Model SPCB..... 41

Tabel 3.11 Perhitungan Tahanan Kapal dan  
Power Kapal dengan Kecepatan 7 knot ..... 42

### BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 4.1 Ukuran Utama SPCB Candiesvega ..... 45

Tabel 4.2 Validasi Model SPCB pada Kondisi *Ballast* ..... 47

Tabel 4.3 Validasi Model SPCB pada Kondisi *half load* ..... 47

Tabel 4.4 Validasi Model SPCB Pada Kondisi *full load* ..... 48

Tabel 4.5 Titik Berat SPCB pada Kondisi *Full Load* ..... 49

Tabel 4.6 Titik Berat SPCB pada Kondisi *Half Load* ..... 49

Tabel 4.7 Titik Berat SPCB pada Kondisi *Ballast* ..... 49

Tabel 4.8 Radius Girasi SPCB pada *Full Load* ..... 51

Tabel 4.9 Radius Girasi SPCB pada *Half Load* ..... 51

Tabel 4.10 Radius Girasi SPCB pada *Ballast* ..... 51



|  |     |
|--|-----|
| Tabel 4.11 Perhitungan Spektra Gelombang Menggunakan Formula<br>JONSWAP untuk Hs 5,5 meter dan Tp 11,5 detik .....   | 89  |
| Tabel 4.12 Perhitungan Spektra Respons Gerak <i>Heave</i> untuk<br><i>Self Propelled Coal Barge</i> .....  | 95  |
| Tabel 4.13 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>heave Self Propelled Coal Barge</i><br>kondisi <i>full load</i> dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang<br>Hs = 5,5 meter dan Tp= 11,5 detik ..... | 97  |
| Tabel 4.14 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>heave Self Propelled Coal Barge</i><br>kondisi <i>full load</i> dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang<br>Hs = 5,5 meter dan Tp= 8,5 detik .....  | 101 |
| Tabel 4.15 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>heave Self Propelled Coal Barge</i><br>kondisi <i>full load</i> dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang<br>Hs = 2,5 meter dan Tp= 8,5 detik .....  | 102 |
| Tabel 4.16 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>heave Self Propelled Coal Barge</i><br>kondisi <i>full load</i> dengan kecepatan kapal 3 knot pada tinggi gelombang<br>Hs = 2,5 meter dan Tp= 8,5 detik .....  | 103 |
| Tabel 4.17 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>heave Self Propelled Coal Barge</i><br>kondisi <i>Half load</i> dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang<br>Hs = 5,5 meter dan Tp= 8,5 detik .....  | 106 |
| Tabel 4.18 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>heave Self Propelled Coal Barge</i><br>kondisi <i>Half load</i> dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang<br>Hs = 2,5 meter dan Tp= 8,5 detik .....  | 107 |
| Tabel 4.19 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>heave Self Propelled Coal Barge</i><br>kondisi <i>Half load</i> dengan kecepatan kapal 3 knot pada tinggi gelombang<br>Hs = 2,5 meter dan Tp= 8,5 detik .....  | 108 |
| Tabel 4.20 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>heave Self Propelled Coal Barge</i><br>kondisi <i>Ballast</i> dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang Hs<br>= 5,5 meter dan Tp= 8,5 detik .....    | 111 |



|   |     |
|---|-----|
| Tabel 4.21 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>heave Self Propelled Coal Barge</i> kondisi <i>Ballast</i> dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang $H_s = 2,5$ meter dan $T_p = 8,5$ detik .....  | 112 |
| Tabel 4.22 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>heave Self Propelled Coal Barge</i> kondisi <i>Ballast</i> dengan kecepatan kapal 3 knot pada tinggi gelombang $H_s = 2,5$ meter dan $T_p = 8,5$ detik .....  | 113 |
| Tabel 4.23 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>roll Self Propelled Coal Barge</i> kondisi <i>full load</i> dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang $H_s = 5,5$ meter dan $T_p = 8,5$ detik ..... | 117 |
| Tabel 4.24 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>roll Self Propelled Coal Barge</i> kondisi <i>full load</i> dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang $H_s = 2,5$ meter dan $T_p = 8,5$ detik ..... | 118 |
| Tabel 4.25 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>roll Self Propelled Coal Barge</i> kondisi <i>full load</i> dengan kecepatan kapal 3 knot pada tinggi gelombang $H_s = 2,5$ meter dan $T_p = 8,5$ detik ..... | 119 |
| Tabel 4.26 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>roll Self Propelled Coal Barge</i> kondisi <i>half load</i> dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang $H_s = 5,5$ meter dan $T_p = 8,5$ detik ..... | 122 |
| Tabel 4.27 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>roll Self Propelled Coal Barge</i> kondisi <i>half load</i> dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang $H_s = 2,5$ meter dan $T_p = 8,5$ detik ..... | 123 |
| Tabel 4.28 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>roll Self Propelled Coal Barge</i> kondisi <i>half load</i> dengan kecepatan kapal 3 knot pada tinggi gelombang $H_s = 2,5$ meter dan $T_p = 8,5$ detik ..... | 124 |
| Tabel 4.29 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>roll Self Propelled Coal Barge</i> kondisi <i>Ballast</i> dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang $H_s = 5,5$ meter dan $T_p = 8,5$ detik .....   | 128 |
| Tabel 4.30 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>roll Self Propelled Coal Barge</i> kondisi <i>Ballast</i> dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang $H_s = 2,5$ meter dan $T_p = 8,5$ detik .....   | 129 |



|  |     |
|--|-----|
| Tabel 4.31 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>roll Self Propelled Coal Barge</i> kondisi <i>Ballast</i> dengan kecepatan kapal 3 knot pada tinggi gelombang $H_s = 2,5$ meter dan $T_p = 8,5$ detik .....    | 130 |
| Tabel 4.32 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>pitch Self Propelled Coal Barge</i> kondisi <i>full load</i> dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang $H_s = 5,5$ meter dan $T_p = 8,5$ detik ..... | 133 |
| Tabel 4.33 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>pitch Self Propelled Coal Barge</i> kondisi <i>full load</i> dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang $H_s = 2,5$ meter dan $T_p = 8,5$ detik ..... | 134 |
| Tabel 4.34 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>pitch Self Propelled Coal Barge</i> kondisi <i>full load</i> dengan kecepatan kapal 3 knot pada tinggi gelombang $H_s = 2,5$ meter dan $T_p = 8,5$ detik ..... | 135 |
| Tabel 4.35 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>pitch Self Propelled Coal Barge</i> kondisi <i>half load</i> dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang $H_s = 5,5$ meter dan $T_p = 8,5$ detik ..... | 138 |
| Tabel 4.36 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>pitch Self Propelled Coal Barge</i> kondisi <i>half load</i> dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang $H_s = 2,5$ meter dan $T_p = 8,5$ detik ..... | 139 |
| Tabel 4.37 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>pitch Self Propelled Coal Barge</i> kondisi <i>half load</i> dengan kecepatan kapal 3 knot pada tinggi gelombang $H_s = 2,5$ meter dan $T_p = 8,5$ detik ..... | 140 |
| Tabel 4.38 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>pitch Self Propelled Coal Barge</i> kondisi <i>Ballast</i> dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang $H_s = 5,5$ meter dan $T_p = 8,5$ detik .....   | 144 |
| Tabel 4.39 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>pitch Self Propelled Coal Barge</i> kondisi <i>Ballast</i> dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang $H_s = 2,5$ meter dan $T_p = 8,5$ detik .....   | 145 |
| Tabel 4.40 Harga-harga stokastik respons gerakan <i>pitch Self Propelled Coal Barge</i> kondisi <i>Ballast</i> dengan kecepatan kapal 3 knot pada tinggi gelombang $H_s = 2,5$ meter dan $T_p = 8,5$ detik .....   | 146 |



|  |     |
|--|-----|
| Tabel 4.41 Batasan Tinggi Gelombang Signifikan untuk<br>Kondisi <i>Ballast</i> .....           | 151 |
| Tabel 4.42 Batasan Tinggi Gelombang Signifikan untuk<br>Kondisi <i>Half Load</i> .....         | 152 |
| Tabel 4.43 Batasan Tinggi Gelombang Signifikan untuk<br>Kondisi <i>Full Load</i> .....         | 153 |
| Tabel 4.44 Merupakan Data Gelombang dilaut Jawa<br>(PT. Kalvindo Utama -Fugro Indonesia) ..... | 156 |
| Tabel 4.45 Data sebaran gelombang untuk<br>perairan seluruh dunia .....                        | 156 |
| Tabel 4.46 Diagram Operabilitas SPCB di Perairan Dunia .....                                   | 156 |
| Tabel 4.47 Presentase Operabilitas SPCB di Perairan Dunia.....                                 | 157 |
| Tabel 4.48 Data sebaran gelombang di<br>perairan Natuna (Metocean Belanak) .....               | 159 |
| Tabel 4.49 Diagram Operabilitas untuk Perairan Natuna .....                                    | 160 |
| Tabel 4.50 Presentase Operabilitas di Perairan Natuna .....                                    | 161 |



## DAFTAR GAMBAR

### BAB I PENDAHULUAN

|  |   |
|--|---|
| Gambar 1.1 Peta Jalur Pelayaran dari Kalimantan Tengah Menuju<br>PLTU Paiton (maps.google.com) ..... | 2 |
|--|---|

|  |   |
|--|---|
| Gambar 1.2 <i>Self Propelled Coal Barge 8000 dwt model</i><br>(www.ldpl.com) ..... | 3 |
|--|---|

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

|  |   |
|--|---|
| Gambar 2.1 Peta Potensi Penyebaran Batu Bara di Provinsi<br>Kalimantan Tengah (Murtedjo, 2013) ..... | 9 |
|--|---|

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.2 <i>Self Propelled Coal Barge 8000 dwt model</i> (www.ldpl.com) . | 10 |
|---|----|

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.3 Ilustrasi gerakan <i>heaving</i> (Wicaksono, 2013) ..... | 13 |
|---|----|

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.4 Ilustrasi gerakan <i>pitching</i> (Nurfadiyah, 2011) ..... | 14 |
|---|----|

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.5 Ilustrasi gerakan <i>rolling</i> (Wicaksono, 2013) ..... | 14 |
|---|----|

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2.6 Ilustrasi gerakan <i>yawing</i> (Wicaksono, 2013) ..... | 14 |
|--|----|

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.7 Ilustrasi gerakan <i>swaying</i> (Wicaksono, 2013) ..... | 15 |
|---|----|

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2.8 Ilustrasi gerakan <i>surging</i> (Wicaksono,2013) ..... | 15 |
|--|----|

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2.9 Gerakan bangunan apung dalam 6-derajat kebebasan<br>(Djatkiko,2012) ..... | 16 |
|--|----|

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.10 Bentuk umum grafik respons gerakan<br>bangunan apung (Djatkiko, 2012) ..... | 18 |
|---|----|

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

|  |    |
|--|----|
| Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian yang dilakukan ..... | 30 |
|--|----|

|  |    |
|--|----|
| Gambar 3.2 <i>Linesplan Self Propelled Coal Barge</i> (SPCB) ..... | 32 |
|--|----|

|  |    |
|--|----|
| Gambar 3.3 <i>General Arrangement</i> untuk SPCB ..... | 33 |
|--|----|

### BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| Gambar 4.1 Model SPCB Maxsurf ..... | 46 |
|-------------------------------------|----|

|   |    |
|---|----|
| Gambar 4.2 Model Panel SPCB Moses ..... | 46 |
|---|----|



|   |    |
|---|----|
| Gambar 4.3 RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang Haluan 180°<br>kondisi ballast .....                 | 53 |
| Gambar 4.4 RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang Perempat Haluan<br>135° kondisi ballast .....        | 57 |
| Gambar 4.5 RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang Perempat Haluan<br>90° kondisi ballast .....         | 60 |
| Gambar 4.6 RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang buritan 0° kondisi<br>ballast .....                  | 62 |
| Gambar 4.7 RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang haluan 180°<br>kondisi muatan 50% .....              | 65 |
| Gambar 4.8 RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang perempat haluan<br>135° kondisi muatan 50% .....     | 68 |
| Gambar 4.9 RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang sisi 90° kondisi<br>muatan 50% .....                 | 71 |
| Gambar 4.10 RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang buritan 0°<br>kondisi muatan 50% .....              | 73 |
| Gambar 4.11 RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang haluan 180°<br>kondisi muatan 100% .....            | 76 |
| Gambar 4.12 RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang perempat haluan<br>135° kondisi muatan 100% .....   | 79 |
| Gambar 4.13 RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang sisi 90° kondisi<br>muatan 100% .....               | 83 |
| Gambar 4.14 RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang buritan 0°<br>kondisi muatan 100% .....             | 85 |
| Gambar 4.15 Spektra Gelombang dengan $T_p = 3,5$ s, $T_p = 4,5$ s, $T_p = 5,5$ s<br>untuk semua $H_s$ .....   | 90 |
| Gambar 4.16 Spektra Gelombang dengan $T_p = 6,5$ s, $T_p = 7,5$ s, $T_p = 8,5$ s<br>untuk semua $H_s$ .....   | 91 |
| Gambar 4.17 Spektra Gelombang dengan $T_p = 9,5$ s, $T_p = 10,5$ s, $T_p = 11,5$ s<br>untuk semua $H_s$ ..... | 93 |



|  |     |
|--|-----|
| Gambar 4.18 Spektra Respons <i>heave</i> ( <i>full load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 7 knot ..... | 98  |
| Gambar 4.19 Spektra Respons <i>heave</i> ( <i>full load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 5 knot ..... | 99  |
| Gambar 4.20 Spektra Respons <i>heave</i> ( <i>full load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 3 knot.....  | 99  |
| Gambar 4.21 Spektra Respons <i>heave</i> ( <i>full load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 0 knot. .... | 100 |
| Gambar 4.22 Spektra Respons <i>heave</i> ( <i>Half load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 7 knot. .... | 104 |
| Gambar 4.23 Spektra Respons <i>heave</i> ( <i>Half load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 5 knot. .... | 104 |
| Gambar 4.24 Spektra Respons <i>heave</i> ( <i>Half load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 3 knot. .... | 105 |
| Gambar 4.25 Spektra Respons <i>heave</i> ( <i>Half load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 0 knot. .... | 105 |
| Gambar 4.26 Spektra Respons <i>heave</i> ( <i>Ballast</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 7 knot. ....   | 109 |
| Gambar 4.27 Spektra Respons <i>heave</i> ( <i>Ballast</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 5 knot. ....   | 109 |
| Gambar 4.28 Spektra Respons <i>heave</i> ( <i>Ballast</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 3 knot. ....   | 110 |
| Gambar 4.29 Spektra Respons <i>heave</i> ( <i>Ballast</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 0 knot. ....   | 110 |
| Gambar 4.30 Spektra Respons <i>roll</i> ( <i>Full Load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 7 knot. ....  | 115 |
| Gambar 4.31 Spektra Respons <i>roll</i> ( <i>Full Load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 5 knot. ....  | 115 |
| Gambar 4.32 Spektra Respons <i>roll</i> ( <i>Full Load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 3 knot. ....  | 116 |



|  |     |
|--|-----|
| Gambar 4.33 Spektra Respons <i>roll</i> ( <i>Full Load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 0 knot. ....  | 116 |
| Gambar 4.34 Spektra Respons <i>roll</i> ( <i>Half Load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 7 knot. ....  | 120 |
| Gambar 4.35 Spektra Respons <i>roll</i> ( <i>Half Load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 5 knot. ....  | 120 |
| Gambar 4.36 Spektra Respons <i>roll</i> ( <i>Half Load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 3 knot. ....  | 121 |
| Gambar 4.37 Spektra Respons <i>roll</i> ( <i>Half Load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 0 knot. ....  | 121 |
| Gambar 4.38 Spektra Respons <i>roll</i> ( <i>Ballast</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 7 knot. ....    | 125 |
| Gambar 4.39 Spektra Respons <i>roll</i> ( <i>Ballast</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 5 knot. ....    | 126 |
| Gambar 4.40 Spektra Respons <i>roll</i> ( <i>Ballast</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 0 knot. ....    | 126 |
| Gambar 4.41 Spektra Respons <i>roll</i> ( <i>Ballast</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 0 knot. ....    | 127 |
| Gambar 4.42 Spektra Respons <i>pitch</i> ( <i>Full Load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 7 knot. .... | 131 |
| Gambar 4.43 Spektra Respons <i>pitch</i> ( <i>Full Load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 5 knot. .... | 131 |
| Gambar 4.44 Spektra Respons <i>pitch</i> ( <i>Full Load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 3 knot. .... | 132 |
| Gambar 4.45 Spektra Respons <i>pitch</i> ( <i>Full Load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 0 knot. .... | 132 |
| Gambar 4.46 Spektra Respons <i>pitch</i> ( <i>Half Load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 7 knot. .... | 136 |
| Gambar 4.47 Spektra Respons <i>pitch</i> ( <i>Half Load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 5 knot. .... | 136 |



|  |     |
|--|-----|
| Gambar 4.48 Spektra Respons <i>pitch</i> ( <i>Half Load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 3 knot. ....                 | 137 |
| Gambar 4.49 Spektra Respons <i>pitch</i> ( <i>Half Load</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 0 knot. ....                 | 137 |
| Gambar 4.50 Spektra Respons <i>pitch</i> ( <i>Ballast</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 7 knot. ....                   | 141 |
| Gambar 4.51 Spektra Respons <i>pitch</i> ( <i>Ballast</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 5 knot. ....                   | 142 |
| Gambar 4.52 Spektra Respons <i>pitch</i> ( <i>Ballast</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 3 knot. ....                   | 142 |
| Gambar 4.53 Spektra Respons <i>pitch</i> ( <i>Ballast</i> ) dengan<br>kecepatan kapal 0 knot. ....                   | 143 |
| Gambar 4.54 Kenaikan percepatan <i>heave</i> signifikan sebagai fungsi kenaikan<br>tinggi gelombang signifikan ..... | 148 |
| Gambar 4.55 Kenaikan amplitudo <i>roll</i> rata-rata sebagai fungsi kenaikan<br>tinggi gelombang signifikan.....     | 148 |
| Gambar 4.56 Kenaikan amplitudo <i>pitch</i> rata-rata sebagai fungsi<br>kenaikan tinggi gelombang signifikan.....    | 149 |



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Indonesia merupakan negara maritim, sumber daya alam di Indonesia sangat melimpah, pada masa mendatang produksi batubara di Indonesia diperkirakan akan terus meningkat, tidak hanya untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, tetapi juga untuk memenuhi permintaan luar negeri. Dengan sumber daya batubara Indonesia yang masih melimpah, di lain pihak harga BBM yang tetap tinggi, menuntut industri yang selama ini berbahan bakar minyak untuk beralih menggunakan batubara. Untuk itu ketergantungan menggunakan satu jenis sumber energi seperti BBM harus dapat diganti dengan sumber daya alternatif diantaranya batubara.

Pada saat ini telah banyak batubara juga dimanfaatkan dalam bentuk energi listrik karena merupakan sumber yang sangat diandalkan dan juga sangat dibutuhkan untuk digunakan dalam pembangkit listrik. Mengingat juga peraturan Presiden Republik Indonesia nomor 47 tahun 2011 mengenai penugasan kepada PT.Perusahaan Listrik Negara (PERSERO) untuk melakukan percepatan pembangunan pembangkit tenaga listrik yang menggunakan batubara. Dalam hal itu batubara akan menjadi sumber daya alam yang akan membantu untuk digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik.

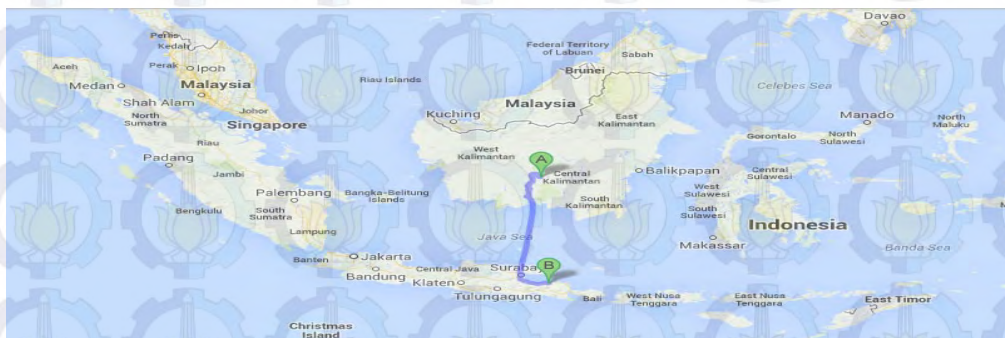
Salah satu pulau penghasil batubara di Indonesia adalah pulau Kalimantan, tersebar dibagian timur, tengah, dan selatan. Provinsi Kalimantan tengah merupakan penghasil utama batubara kualitas tinggi di Indonesia dan Dunia. Menurut Dinas Pertambangan dan Energi, 2006a, Provinsi Kalimantan Tengah memiliki potensi besar dan secara geologi batubara di daerah ini memiliki kualitas yang sangat baik. Salah satunya adalah batubara metalurgi (*coking coal*) yaitu batubara yang digunakan untuk bahan baku kokas, karena kokas adalah bahan utama yang digunakan sebagai bahan bakar berkarbon tinggi untuk pemrosesan logam dan juga industri baja.



Diperkirakan mencapai 3,71 miliar ton untuk potensi cadangan batubara yang dimiliki Kalimantan Tengah. Umumnya, transportasi pengangkut batubara ke luar Kalimantan menggunakan jalur transportasi laut, dengan di distribusikan menggunakan *barge* tanpa mesin penggerak sendiri (didorong/ditarik oleh kapal tunda/*tugboat*).

Kemajuan di berbagai bidang telah di dukung dengan suatu teknologi, salah satunya pada bidang kemaritiman dalam mengupayakan pengembangan fasilitas transportasi laut. Terlihat pada alat transportasi menggunakan barge yang sekarang mulai di modifikasi menjadi *self propelled barge* dengan mesin penggerak sendiri yang lebih ekonomis terhadap biaya dan efisien terhadap waktu.

Untuk *self propelled coal barge* (SPCB) pada dasarnya dirancang untuk menjadi sebuah teknologi yang dapat memudahkan pengguna untuk mengangkut batubara melalui jalur perairan, sehingga kapal ini juga dirancang agar dapat menjangkau segala kondisi lingkungan. Dengan kebutuhan batubara yang akan digunakan sebagai bahan utama pembangkit listrik maka distribusi juga dilakukan di luar Pulau Kalimantan menuju PLTU di Pulau Jawa yakni PLTU Paiton melalui jalur perairan laut yang akan diangkut menggunakan *self propelled coal barge* (SPCB).



**Gambar 1.1** Peta Jalur Pelayaran dari Kalimantan Tengah Menuju PLTU Paiton  
(maps.google.com)

Hambatan yang biasanya dialami adalah kegagalan untuk menjaga efektifitas dalam menjalankan misi bangunan saat melakukan operasi, seperti keterlambatan jadwal operasi akibat cuaca buruk. Keselamatan berbagai hal yang berada pada *self propelled coal barge* (SPCB) seperti muatan batubara juga harus



diperhatikan. Kondisi tersebut berpengaruh pada keselamatan operasi *self propelled coal barge* (SPCB).



**Gambar 1.2** *Self Propelled Coal Barge 8000 dwt model* (www.ldpl.com)

Sehubungan dengan hal tersebut operabilitas akan dicapai jika batasan kriteria tidak terlampaui oleh salah satu elemen karakteristik respons dilaut.

Berdasarkan informasi diatas diperlukan untuk mengembangkan analisis karakteristik gerakan dan operabilitas *self propelled coal barge* (SPCB) sebagai Tugas Akhir.

## **1.2 PERUMUSAN MASALAH**

Memperhatikan pada segenap uraian yang telah disampaikan dalam latar belakang di atas, maka sejumlah permasalahan yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini adalah meliputi:

1. Bagaimana karakteristik gerakan *self propelled coal barge* (SPCB) tersebut pada saat menerima eksitasi gelombang reguler pada kondisi terapung bebas dan melaju ?
2. Bagaimana karakteristik gerakan *self propelled coal barge* (SPCB) tersebut pada saat menerima eksitasi gelombang acak pada kondisi terapung bebas dan melaju ?
3. Bagaimana operabilitas *self propelled coal barge* (SPCB) tersebut pada saat dioperasikan ?



### 1.3 TUJUAN

Dari perumusan masalah diatas, dapat diambil tujuan yang ingin dicapai yaitu:

1. Memperoleh karakteristik gerakan pada saat menerima eksitasi gelombang reguler dengan meninjau pada intensitas *Response Amplitudo Operator* (RAO) dari *self propelled coal barge* (SPCB) baik pada kondisi terapung bebas dan pada kondisi melaju.
2. Memperoleh karakteristik gerakan *self propelled coal barge* (SPCB) tersebut pada saat menerima eksitasi gelombang acak dengan meninjau pada harga-harga statistik intensitasnya baik pada kondisi terapung bebas dan pada kondisi melaju.
3. Memperoleh indikator kualitas operabilitas *self propelled coal barge* (SPCB) tersebut pada saat dioperasikan.

### 1.4 MANFAAT

Dengan adanya analisis karakteristik gerakan dan operabilitas *self propelled coal barge* (SPCB) ini maka akan diketahui peluang diselesaikannya suatu pekerjaan dengan mengetahui kondisi batas (*limited condition*), sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam merancang moda transportasi distribusi batubara yang tepat untuk diterapkan diperairan laut Indonesia.

### 1.5 BATASAN MASALAH

Analisis menyangkut karakteristik gerakan dan operabilitas *Self Propelled Coal Barge* tentunya akan terkait dengan banyak variabilitas besaran rancangan. Oleh karena itu perlu ditetapkan sejumlah batasan masalah sebagai berikut:

- a. Ukuran utama *self propelled coal barge* (SPCB) yang direncanakan dalam analisis ditentukan dengan mengacu pada parameter kapal " SPCB 8000 DWT ". Parameter tersebut yaitu displasemen, panjang, sarat serta lebarnya, pemodelan dengan bantuan Software MAXSURF.
- b. Kapasitas maksimal muatan *coal* sebesar 7700 ton.



- c. Karakteristik gerakan *self propelled coal barge* yang ditinjau adalah gerakan respon akibat beban gelombang.
- d. Menggunakan data sebaran gelombang Perairan Dunia dan Perairan Natuna.
- e. Gerakan *self propelled coal barge* dikaji dalam tiga kondisi pembebanan operasional, yakni *full load*, *half load*, dan *ballast*.
- f. Pada setiap kondisi pembebanan dilakukan komputasi pengaruh kecepatan yang akan dikaji dalam analisis karakteristik gerakan *self propelled coal barge* (SPCB) pada saat melaju ini di variasikan dari  $V= 0$  knot (*Stasioner*),  $V= 3$  knot (*harbouring*),  $V= 5$  knot (*surveillance*),  $V= 7$  knoit (Kecepatan maximum) dengan propagasi eksitasi dipilih gelombang  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $180^\circ$  untuk gerakan *heave*, *roll*, *pitch* pada gelombang reguler dan gelombang acak.
- g. Beban arus diabaikan dan Beban anging diabaikan.
- h. Prediksi gerakan di gelombang reguler dilakukan dengan menerapkan teori difraksi 3-dimensi dengan bantuan software MOSES 7.
- i. Perhitungan RAO gerakan *self propelled coal barge* (SPCB) menggunakan perangkat lunak MOSES 7.
- j. Prediksi gerakan di gelombang acak akan dilakukan dengan menerapkan analisis spektra JONSWAP dengan  $\gamma = 2,5$ , dengan menggunakan formulasi spektra yang sesuai dengan perairan tertutup/kepulauan.
- k. Analisis operabilitas akan dilakukan dengan mengacu pada hasil prediksi gerakan di gelombang acak dan mengkorelasikannya dengan kriteria *seakeeping* yang sesuai, pada khususnya sesuai dengan batasan-batasan operasi.
- l. Kapal dianggap *rigid body*, tidak menghitung kekuatan dari struktur operasi *self propelled coal barge* (SPCB).
- m. Kapal dianggap stabil dalam kondisi apapun, tidak menghitung stabilitas kapal saat melaju.



## **1.6. SISTEMATIKA PENULISAN**

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan tugas akhir, manfaat yang diperoleh, serta ruang lingkup penelitian untuk membatasi analisis yang dilakukan dalam tugas akhir.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

Bab ini berisi referensi dan juga teori-teori pendukung yang digunakan sebagai acuan atau pedoman dalam menyelesaikan tugas akhir. Referensi tersebut bersumber pada jurnal lokal maupun internasional, literatur, *rules/code* dan juga buku yang berkaitan dengan topik yang dibahas.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisi tentang alur pengerjaan tugas akhir dengan tujuan untuk memecahkan masalah yang diangkat dalam bentuk diagram alir atau *flow chart* yang disusun secara sistematis yang dilengkapi pula dengan data-data penelitian serta penjelasan detail untuk setiap langkah pengerjaannya.

### **BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menjelaskan tentang pengolahan data yang diperoleh, kemudian pemodelan SPCB. Selanjutnya, dalam bab ini juga dilakukan pembahasan dan pengolahan *output* yang diperoleh dari *running software* yang mencakup analisis gerakan struktur saat *free floating* maupun saat melaju, serta menghitung operabilitas akibat perilaku gerakan SPCB di gelombang acak.

### **BAB V PENUTUP**

Bab ini berisi kesimpulan yang merupakan uraian singkat dari keseluruhan hasil analisis. Uraian singkat ini diharapkan bisa menjawab rumusan masalah yang ada pada Bab I. Pada bab ini juga berisikan saran yang bermanfaat guna keberlanjutan penelitian terkait kedepannya.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Pada saat ini kebutuhan akan kapal dengan mempunyai kemampuan angkut besar sangat dibutuhkan. Hal yang perlu diperhatikan pada gerakan kapal ketika berlayar di laut akan timbul karena adanya gelombang, gelombang tersebut juga dapat menimbulkan tahanan maupun gaya-gaya yang bekerja pada kapal. Penelitian yang dikaji ini akan dilaksanakan dengan memanfaatkan berbagai hasil penelitian yang berhubungan mengenai gerakan bangunan apung, yakni karakteristik gerakan KPC-35 (Djarmiko, 2004), pengkajian yang dilakukan dengan karakteristik gerakan KPC-35 digelombang reguler maupun acak. Selain itu pemanfaatan model matematis untuk memprediksi gerakan kapal SWATH didasarkan pada teknik 2 Dimensi Frank Close-Fit (Murtedjo Mas, Djarmiko E.B, 2004). Sebelumnya dilakukan juga dilakukan penelitian mengenai gerakan kapal SWATH (*Small Waterplane Area Twin Hull*) karena SWATH merupakan kapal berlambung ganda, namun juga dapat dijadikan tinjauan pembandingan mengenai karakteristik gerakan dari sebuah bangunan apung. Pada era pertengahan 1980an dan seterusnya, di mana peralatan komputasi sudah semakin canggih, maka mulailah intensif diterapkan metoda yang lebih baru untuk menyelesaikan prediksi faktor-faktor hidrodinamik, yang dikenal dengan teori panel 3 dimensi (Djarmiko, 2012). Teori panel tersebut diperkenalkan pertama kali dalam studi aerodinamika oleh Hess dan Smith (1967), kemudian diadopsi dalam pemecahan permasalahan hidrodinamika, dengan mengadaptasi permasalahan interseksi dua fluida dan efek permukaan bebasnya. Dengan metode ini permukaan lambung bangunan apung dibagi menjadi panel-panel, dengan distribusi singularitas pada masing-masing panel. Singularitas yang lazim digunakan adalah *sink* dan/atau *source*, baik yang hanya berosilasi mengikuti eksitasi gelombang atau dikenal dengan *pulsating-source* (Zheng, 1998, Djarmiko 2012) maupun yang sekaligus juga memasukkan efek laju gerakan bangunan apung,



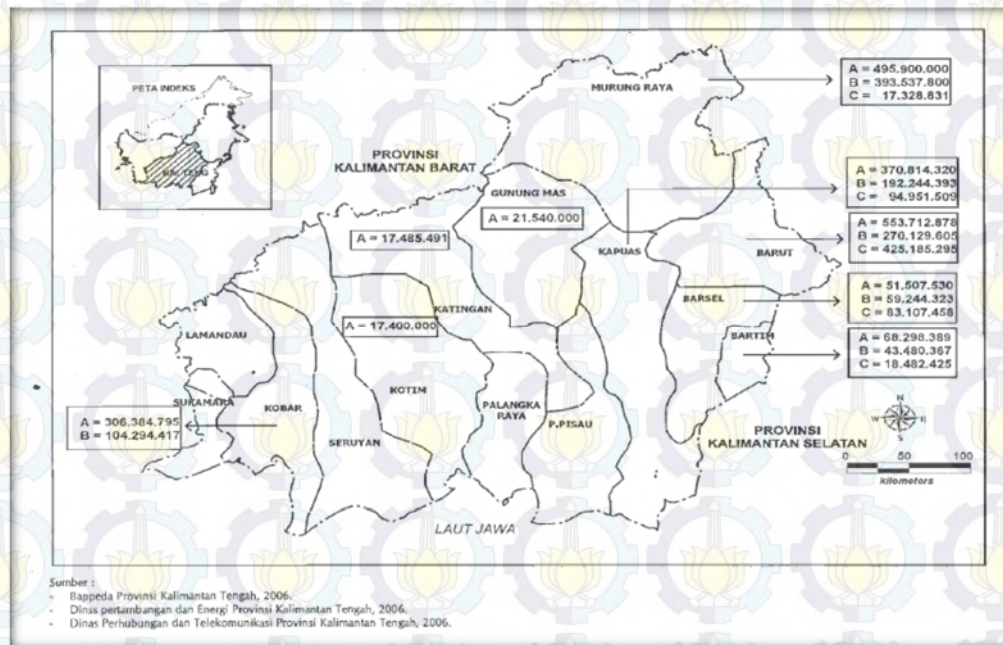
atau *translating-pulsating source distribution* (Chan, 1990, Djatmiko, 2012). Dalam metoda panel ukuran struktur tidak harus langsing, karena permasalahan difraksi 3-dimensi maupun non linier akibat bentuk lambung besar akan dapat diselesaikan dengan seksama dan akurat (Chakrabarti, 1983, Kormesyer & Bingham, 1998, Djatmiko, 2012). Perlu di ingat pada dunia nyata gelombang acak juga harus diperhatikan untuk mengkorelasikan antara gerakan suatu benda pada kondisi nyata. Gelombang acak merupakan superposisi dari komponen-komponen pembentuknya yang berupa gelombang sinusoidal, dalam jumlah tidak terhingga (Djatmiko, 2012). Untuk mengetahui karakteristik respons bangunan laut di gelombang acak di dukung dengan pengembangan teori spektra gelombang, antara lain Philips (1958) serta Pierson & Moskowitz (1964), kemudian Bhattacharyya (1978) menjelaskan mengenai *international ship structure congress* (ISSC) pada tahun 1964 yang merupakan modifikasi kecil dari spektra Bretchenider (1959). Dan pada tahun 1973, 1978 menurut laporan Hasselman dkk, formulasi spektra JONSWAP yang merupakan modifikasi dari spektra P-M, dengan memasukkan parameter yang akan mengakomodasi karakteristik gelombang perairan tertutup atau kepulauan. Lingkungan perairan laut yang cenderung akan direncanakan sebagai jalur distribusi batu bara dari Kalimantan melalui Laut Jawa lebih cocok untuk menggunakan spektra JONSWAP sebagai analisis gerakan di gelombang acak. Untuk karakteristik gerakan kapal hal ini digunakan karena kapal ini dituntut untuk dapat beroperasi di kondisi perairan yang dapat berubah kondisi lingkungannya, terjadi pada daerah operasi perairan yang memiliki kondisi lingkungan yang mempunyai gelombang ganas, mungkin terjadi perubahan pada musim-musim tertentu dimana gelombang cukup besar sehingga kemampuan operasi kapal perlu juga ditinjau dari intensitas karakteristik gerakannya.

### **2.1.1 Potensi Batubara Provinsi Kalimantan Tengah**

Penelitian pada tugas akhir ini mengacu pada *Self Propelled Coal Barge* yang mengangkut batubara pada jalur pelayaran di Provinsi Kalimantan Tengah, dengan potensi cadangan batu bara mencapai 3,71 miliar ton yang tersebar pada kabupaten Murung Raya, Barrito Utara, Barrito Timur, Barrito Selatan, Kapuas,



Gunung Mas, Katingan, Kotawaringin Timur dan Kotawaringin Barat (Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Kalimantan Tengah, 2006a).



**Gambar 2.1** Peta Potensi Penyebaran Batu Bara di Provinsi Kalimantan Tengah (Murtedjo, 2013)

Pada tahun 2009, Dinas Perambangan dan Energi Provinsi Kalimantan Tengah mencatat lebih dari 30 perusahaan tambang batubara yang telah melakukan aktifitas pertambangan di daerah Kalimantan Tengah.

### 2.1.2 Sistem Distribusi Batubara

Di Kalimantan Tengah, Umumnya digunakan tongkang melalui beberapa sungai Mahakam, Barito, Satui, yaitu dengan tongkang 6.000 – 7.000 dwt dengan tujuan pelabuhan – pelabuhan khusus di Indonesia, diantaranya mendistribusikan batubara ke PLTU Paiton. Adanya pembatasan daya tongkang disebabkan karena hambatan kedalaman sungai di beberapa tempat. Sebagian besar tambang batubara di Kalimantan menggunakan selain transportasi darat (truk), juga menggunakan transportasi sungai dan laut. Untuk meningkatkan produksi khususnya batubara keluar pulau, akan dilakukan peningkatkan sistem distribusi batubara beserta fasilitas pelabuhannya. Hal ini berkenaan dengan produksifitas dari pada cadangan batubara yang sangat potensial ke depan. Hal ini juga terkait dengan *Self Propelled*



*Coal Barge* sehingga menunjang pasokan distribusi batubara keluar Pulau Kalimantan yang lebih ekonomis dan efisien.

### 2.1.3 *Self Propelled Coal Barge (SPCB)*

*Self Propelled Coal Barge* merupakan tongkang yang memiliki sistem penggerak sendiri. Jenis moda transportasi ini umumnya berbentuk nyaris kotak dan dilengkapi sistem penggerak sendiri mulai mesin induk, poros, propeller serta kemudi. *Self Propelled Coal Barge* salah satu jenis *Self Propelled Barge* yang merupakan pengembangan dari *Barge* tanpa sistem penggerak.



**Gambar 2.2** *Self Propelled Coal Barge 8000 dwt model* – SPCB ([www.ldpl.com](http://www.ldpl.com))

Pada mulanya *barge* memang tidak memiliki sistem penggerak sendiri dan hanya berfungsi sebagai bangunan apung penampung material yang akan didistribusikan melalui jalur sungai. Untuk melakukan mobilisasi/pergerakan, moda transportasi jenis ini harus menggunakan bantuan kapal tunda (*tugboat*) baik ditarik maupun didorong. Metode transportasi tersebut dirasa kurang efisien dikarenakan selain harus mengeluarkan biaya operasional untuk dua item transportasi juga cenderung lamban serta lebih kompleks dalam pelaksanaannya.

*Self Propelled Coal Barge (SPCB)* dikembangkan dari desain tongkang batu bara yang dilengkapi dengan sistem penggerak sendiri. Sistem penggerak didesain berdasarkan *design requirement* SPCB serta dipertimbangkan sedemikian rupa agar dapat digunakan secara optimal sesuai dengan kebutuhannya.



#### 2.1.4 Kriteria Operabilitas

Operabilitas merupakan kemampuan untuk bekerja disuatu lingkungan laut tertentu, dengan membandingkan waktu mampu bekerja dengan total waktu berada dilokasi, atau dengan kata lain merupakan peluang diselesaikannya suatu pekerjaan dengan mempertimbangkan kriteria atau kondisi batas operasinya pada keganasan laut tertentu. Batasan-batasan operasi selalu dipunyai oleh semua sistem rekayasa.

Keterbatasan ini menyangkut 3 katagori :

1. Batasan yang akan berpengaruh pada operasinya;
2. Batasan terhadap komponen atau sistem lain yang terkait dengan operasi tersebut;
3. Batasan yang langsung berpengaruh kepada sistem itu sendiri.

Manusia yang melakukan suatu operasi pekerjaan tertentu disebut dengan operator bangunan laut. Dalam bekerja tentunya operator memiliki keterbatasan fisik. Sehubungan dengan gerakan bangunan laut, kemampuan kerja operator akan mengalami penurunan bilamana gerakan akibat gelombang yang terjadi mempunyai intensitas yang relatif besar (Yuda, 2013).

Komponen pada sistem yang terkait mempunyai batasan-batasan tertentu. Permesinan dan gerakan propeller yang bergantung pada kinerja dengan mengambil suplai bahan bakar atau fluida pelumas, hal ini akan dipengaruhi oleh gerak *Self Propelled Coal Barge (SPCB)*. Hal ini tentunya akan membatasi sampai seberapa besar intensitas gerakan *Self Propelled Coal Barge (SPCB)* yang terjadi pada saat mesin masih dapat bekerja dengan lancar.

Dalam kriteria gerakan *Self Propelled Coal Barge (SPCB)* ada beberapa aspek yang ditentukan dari perancangan *Self Propelled Barge* sebelumnya. Beberapa hal yang dapat diambil adalah kriteria gerakan kapal dimana gerakan rotasi menjadi sangat penting untuk dibatasi gerakannya berkaitan dengan muatan batubara diatas *self propelled coal barge (SPCB)*.



## 2.1 DASAR TEORI

### 2.2.1 Beban Gelombang

Perlu diketahui bahwa apabila struktur memiliki ukuran yang hampir sama dengan panjang gelombang, maka keberadaan struktur tersebut dapat merusak formasi gelombang dan mempengaruhi timbulnya perubahan arah pada medan gelombang disekitarnya, hal ini difraksi gelombang dari permukaan struktur harus diperhitungkan dalam evaluasi gaya gelombang. Jika pada struktur berukuran kecil, difraksi gelombang tetap terjadi namun tidak sebesar difraksi gelombang pada struktur besar.

### 2.2.2 Teori Gerakan Bangunan Apung di Atas Gelombang Reguler

Teori gerakan bangunan apung kapal telah dimulai oleh seorang yang dianggap pionir bernama Froude pada tahun 1861 dengan menunjukkan metoda analisa gerakan *rolling* untuk kapal terapung diatas gelombang sisi atau *beam sea*. Beberapa tahun kemudian, teori tersebut diikuti oleh Krylov pada tahun 1896 dengan analisisnya untuk gerakan *pitching* dan *heaving* dari kapal akibat gelombang. Kemudian peneliti memberikan teori dasar gerak kapal dalam mode 6-derajat kebebasan (Krylov,1898). Dalam analisa teori gerakan bangunan apung tersebut dinyatakan bahwa keberadaan kapal tidak mempengaruhi perubahan medan tekanan dari gelombang induksi. Oleh karena itu, gaya-gaya gelombang yang bekerja pada kapal akan diperoleh dengan mengintegrasikan distribusi tekanan gelombang pada benda yang diam.

Teori gerak kapal telah banyak dikembangkan pada awal abad ke-20. Pencapaian tersebut ditunjukkan dengan adanya metoda penghitungan koefisien-koefisien massa tambah dan redaman hidrodinamis atau *damping* untuk benda 2-dimensi ataupun 3-dimensi yang terapung. Kemajuan teori ini telah disumbangkan oleh sejumlah peneliti, antara lain Lewis (1929) dan Haskind (1946a, 1946b). Lewis (1929) telah meningkatkan ketelitian hipotesis Froude-Krylov dengan mempertimbangkan gangguan benda terapung pada medan tekanan gelombang insiden, atau fenomena radiasi. Perkembangan teori gerak kapal selanjutnya telah

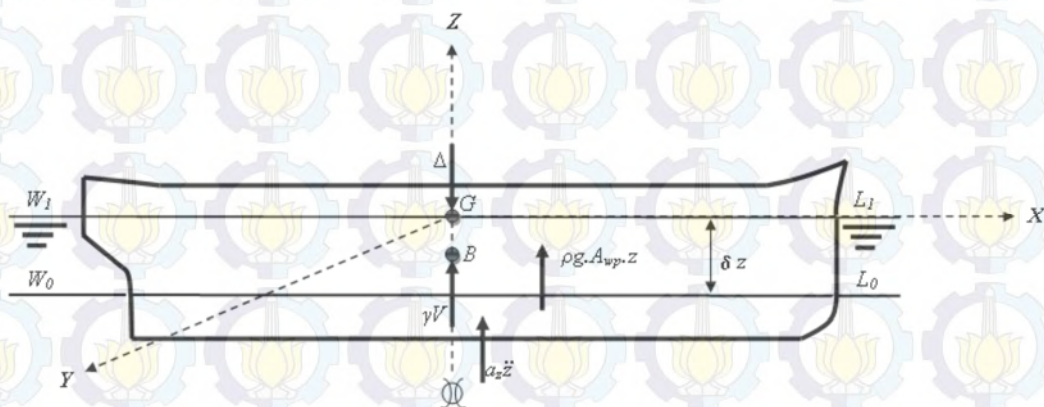


diberikan oleh Korvin-Kroukovsky (1955) serta Korvin-Kroukovsky & Jacobs (1957), pada tahun 50an. Kedua peneliti ini telah menerapkan konsep gerakan relatif dalam memecahkan masalah difraksi atau refleksi gelombang insiden akibat keberadaan benda. Dalam hal ini gerakan osilasi dari tiap-tiap strip 2- dimensi dalam kasus radiasi secara sederhana digantikan dengan gerakan relatif antara benda yang tidak bergerak dan keadaan permukaan gelombang pada setiap waktu, untuk kemudian diperoleh gaya difraksi.

Gerakan osilasi bangunan apung akibat eksistensi gelombang terdiri dari 6-derajat kebebasan. Seperti ditunjukkan dalam gambar 3.1 terdiri dari *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* dan *yaw*.

### 2.2.2.1 Heaving

*Heaving* adalah gerakan osilasi translasional suatu struktur terapung pada arah sumbu vertikal (sumbu Z), seperti diilustrasikan pada gambar 2.3. gerakan tersebut disebabkan oleh adanya gaya luar yang bekerja pada badan struktur terapung, dan gaya luar tersebut tidak lain adalah gaya gelombang



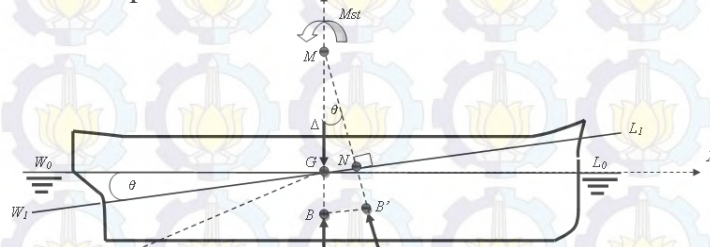
**Gambar 2.3** Ilustrasi gerakan *heaving* (Wicaksono, 2013)

Pada gerakan *heaving*, gaya ke bawah akibat berat struktur tersebut membuat struktur tercelup ke air lebih dalam dan kembali terangkat, dan begitu seterusnya hingga diperoleh kesetimbangan. Ketika gaya angkat (*bouyancy*) lebih besar akibat kapal tercelup, kapal akan bergerak secara vertikal ke atas, dan ketika posisi kapal telah setimbang, gerakan tidak lantas berhenti akan tetapi tetap naik dikarenakan ada pengaruh momentum.



### 2.2.2.2 Pitching

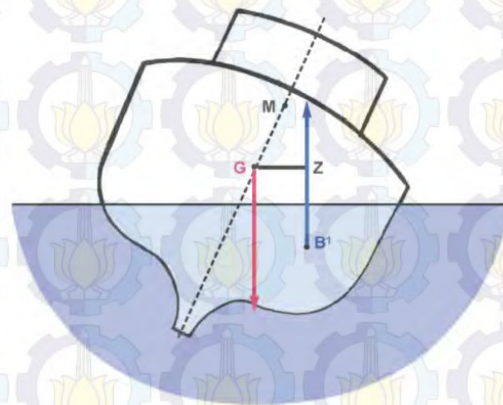
*Pitching* adalah gerakan osilasi rotasional terhadap sumbu transversal (sumbu y), seperti digambarkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Ilustrasi gerakan *pitching* (Nurfadiyah, 2011)

### 2.2.2.3 Rolling

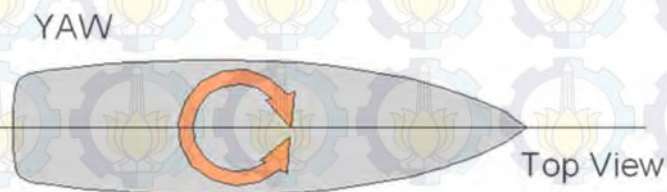
Gerakan *rolling* merupakan salah satu gerakan osilasi rotasional struktur terapung terhadap sumbu x, seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Ilustrasi gerakan *rolling* (Wicaksono, 2013)

### 2.2.2.4 Yawing

*Yawing*, yang diilustrasikan pada Gambar 2.6, adalah gerakan rotasional terhadap sumbu vertikal (sumbu z).

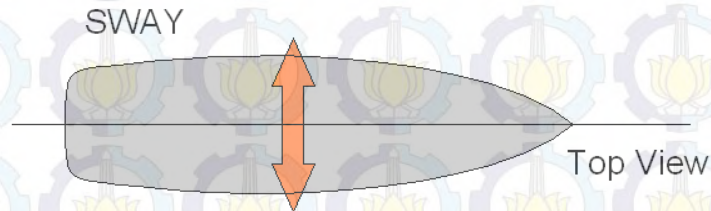


Gambar 2.6 Ilustrasi gerakan *yawing* (Wicaksono, 2013)



### 2.2.2.5 Swaying

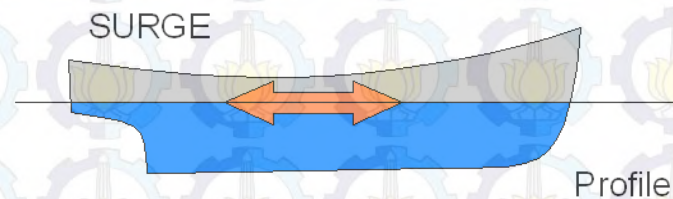
*Swaying* adalah gerakan translasi pada arah sumbu y (melintang), yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Ilustrasi gerakan *swaying* (Wicaksono, 2013)

### 2.2.2.6 Surging

*Surging* adalah gerakan translasi pada arah sumbu x (maju-mundur), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Ilustrasi gerakan *surging* (Wicaksono, 2013)

Keenam gerakan tersebut merupakan osilasi linier dan harmonik yang dapat dinyatakan dalam persamaan diferensial gerakan kopel, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk}) \ddot{\zeta}_k + B_{jk} \dot{\zeta}_k + K_{jk} \zeta_k] = F_j e^{i\omega t} ; \quad j, k = 1, \dots, 6 \quad (2.1)$$

Dengan,

$M_{jk}$  = matriks massa dan momen inersia massa bangunan laut,

$A_{jk}$  = matriks koefisien-koefisien massa tambah hidrodinamik,

$B_{jk}$  = matriks koefisien-koefisien redaman hidrodinamik,

$K_{jk}$  = matriks koefisien-koefisien kekakuan atau gaya dan momen hidrostatik,



$F_j$  = matriks gaya eksitasi ( $F_1, F_2, F_3$ ) dan momen eksitasi ( $F_4, F_5, F_6$ ) dalam fungsi kompleks (dinyatakan oleh  $e^{i\omega t}$ ),

$F_1$  = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *surge*,

$F_2$  = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *sway*,

$F_3$  = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *heave*,

$F_4$  = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *roll*,

$F_5$  = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *pitch*,

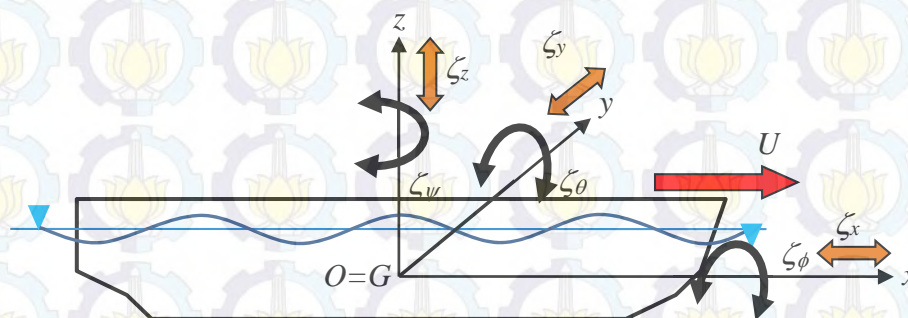
$F_6$  = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *yaw*,

$\zeta_k$  = elevasi gerakan pada mode ke  $k$ ,

$\dot{\zeta}_k$  = elevasi kecepatan gerak pada mode ke  $k$ ,

$\ddot{\zeta}_k$  = elevasi percepatan gerak pada mode ke  $k$ .

Persamaan 2.1 menunjukkan hubungan antara gaya aksi di ruas kanan dan gaya reaksi di ruas kiri. Gaya aksi adalah merupakan eksitasi gelombang, sedangkan gaya reaksinya terdiri dari gaya inersia, gaya redaman dan gaya pengembali, yang masing-masing berkorelasi dengan percepatan gerak, kecepatan gerak dan simpangan atau displasemen gerakan. Gambar 2.9. berikut menunjukkan gerakan dalam beberapa derajat kebebasan yang sesuai dengan persamaan 2.1.



**Gambar 2.9** Gerakan bangunan apung dalam 6-derajat kebebasan (Djarmiko,2012)

Penyelesaian persamaan 2.1. dapat dilakukan dengan menentukan potensial kecepatan, yang terdiri dari komponen tunak independen terhadap waktu yang



ditimbulkan oleh laju gerak maju, dan komponen yang dependen terhadap waktu akibat sistem gelombang insiden dan gerakan tak-tunak dari bangunan laut sebagai berikut:

$$\Phi(x, y, z, t) = [-U_x + \Phi_s(x, y, z)] + \Phi_T(x, y, z) e^{i\omega t} \quad (2.2)$$

Dalam persamaan 2.2, variabel pertama di ruas kanan adalah merupakan kontribusi dari potensial kecepatan tunak atau *steady*,  $\Phi_s$ , dan laju atau kecepatan maju bangunan laut  $U_x$ . Sedangkan variabel kedua adalah kontribusi dari potensial kecepatan tak tunak atau *unsteady*:

$$\Phi_T = \zeta(\Phi_I + \Phi_D) + \sum_{j=1}^6 \zeta_j \Phi_j \quad (2.3)$$

Dimana  $\Phi_I$  dan  $\Phi_D$  adalah potensial kecepatan gelombang insiden dan difraksi yang intensitasnya dipengaruhi oleh elevasi gelombang  $\zeta$ . Besaran  $\Phi_j$  adalah potensial kecepatan radiasi yang ditimbulkan oleh mode gerakan ke  $j$ , atau  $\zeta_j$ . Penyelesaian potensial kecepatan insiden dan difraksi akan memberikan harga-harga koefisien hidrodinamis, yakni massa tambah dan redaman.

Penyelesaian persamaan gerak akan terdiri dari beberapa bentuk. Yang pertama yaitu komponen persamaan mode gerakan *surge* yang mempunyai bentuk seperti persamaan (2.4) berikut:

$$m_{11} \ddot{\zeta}_x = F_1 \quad (2.4)$$

Kedua adalah komponen gerakan kopel *heave* dan *pitch*, yang mempunyai bentuk seperti persamaan (2.5) berikut:

$$\begin{aligned} (m_{33} + a_{33}) \ddot{\zeta}_z + b_{33} \dot{\zeta}_z + k_{33} \zeta_z + a_{35} \ddot{\zeta}_\theta + b_{35} \dot{\zeta}_\theta + k_{35} \zeta_\theta &= F_3 \\ (I_{55} + a_{55}) \ddot{\zeta}_\theta + b_{55} \dot{\zeta}_\theta + k_{55} \zeta_\theta + a_{53} \ddot{\zeta}_z + b_{53} \dot{\zeta}_z + k_{53} \zeta_z &= F_5 \end{aligned} \quad (2.5)$$



Ketiga adalah komponen gerakan kopel *sway*, *roll* dan *yaw*, yang diekspresikan dalam persamaan (2.6) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 (m_{22} + a_{22})\ddot{\zeta}_y + b_{22}\dot{\zeta}_y + a_{24}\ddot{\zeta}_\phi + b_{24}\dot{\zeta}_\phi + a_{26}\ddot{\zeta}_\psi + b_{26}\dot{\zeta}_\psi &= F_2 \\
 (I_{44} + a_{44})\ddot{\zeta}_\phi + b_{44}\dot{\zeta}_\phi + k_{44}\zeta_\phi + a_{42}\ddot{\zeta}_y + b_{42}\dot{\zeta}_y + a_{46}\ddot{\zeta}_\psi + b_{46}\dot{\zeta}_\psi &= F_4 \\
 (I_{66} + a_{66})\ddot{\zeta}_\psi + b_{66}\dot{\zeta}_\psi + a_{62}\ddot{\zeta}_y + b_{62}\dot{\zeta}_y + a_{64}\ddot{\zeta}_\phi + b_{64}\dot{\zeta}_\phi &= F_6
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

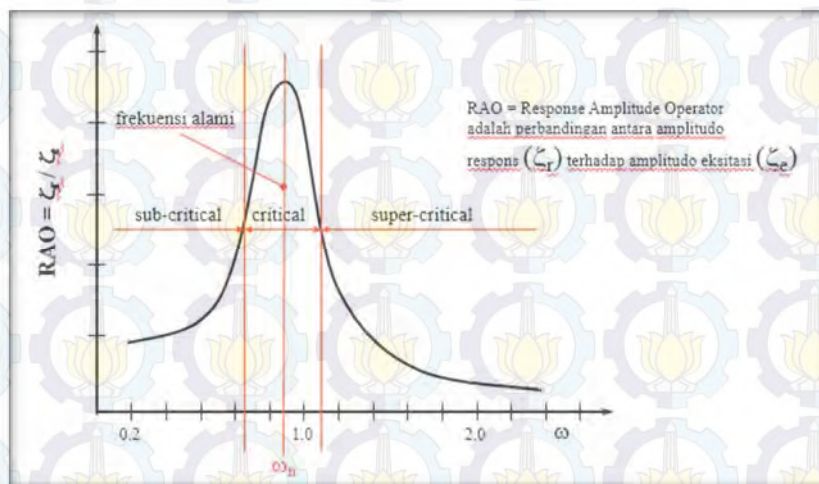
Prediksi gerakan dengan menggunakan formulasi di atas dapat diselesaikan secara numerik, antara lain dengan metoda panel, yang mengakomodasi teori difraksi 3-dimensi. Dengan teknik *translating-pulsating source distribution*, sebagaimana dijelaskan oleh Chan (1990). Hasil prediksi gerakan bangunan apung umum diberikan dalam bentuk perbandingan antara amplitudo mode gerakan tertentu dengan amplitudo gelombang insiden, yang berfungsi sebagai fungsi perubahan frekuensi gelombangnya. Perbandingan amplitudo tersebut,  $\zeta_i / \zeta_0$ , adalah disebut sebagai *Response Amplitude Operator (RAO)*.

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)}
 \tag{2.7}$$

dengan,

$X_p(\omega)$  = amplitudo struktur

$\eta(\omega)$  = amplitudo gelombang



**Gambar 2.10** Bentuk umum grafik respons gerakan bangunan apung (Djatkiko, 2012)



Bentuk umum grafik respons gerakan bangunan apung yang mempunyai faktor kekakuan, dalam konteks ini adalah *heave*, *roll*, dan *pitch*. Mengacu pada gambar 2.10, kurva respons gerakan bangunan apung pada dasarnya dibagi tiga bagian :

- Pertama adalah bagian frekuensi rendah, atau gelombang (dengan periode) panjang, yang disebut daerah sub-kritis. Pada daerah ini bangunan laut akan bergerak mengikuti pola atau kontur elevasi gelombang yang panjang, sehingga amplitudo gerakan kurang lebih akan ekuivalen dengan amplitudo gelombang, atau disebut *contouring*. Dalam korelasi persamaan hidrodinamis, di daerah frekuensi rendah, atau  $\omega^2 < k/(m+a)$ , gerakan akan didominasi oleh faktor kekakuan.
- Kedua adalah daerah kritis, meliputi pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi rendah sampai dengan puncak kurva dan diteruskan ke pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi tinggi. Puncak kurva berada pada frekuensi alami, yang merupakan daerah resonansi, sehingga respons gerakan mengalami magnifikasi, atau amplitudo gerakan akan beberapa kali lebih besar dari pada amplitudo gelombang. Secara hidrodinamis di daerah frekuensi alami, yakni  $k/(m+a) < \omega^2 < k/a$ , gerakan akan di dominasi oleh faktor redaman.
- Ketiga adalah daerah super-kritis, yaitu daerah frekuensi tinggi, atau gelombang-gelombang (dengan periode) pendek. Pada daerah ini respons gerakan akan mengecil. Semakin tinggi frekuensi, atau semakin rapat antara puncak-puncak gelombang yang berurutan, maka akan memberikan efek seperti bangunan laut bergerak diatas air yang relatif datar, oleh karena itu gerakan bangunan laut di istilahkan sebagai *platforming*. Dalam hal korelasi hidrodinamis, gerakan di daerah frekuensi tinggi ini, dimana  $\omega^2 < k/a$ , gerakan akan didominasi faktor massa.



### 2.2.3 Spektra Gelombang

Formulasi persamaan umum spektra gelombang pada dasarnya dilakukan dengan menurunkan persamaan spektra rata-rata untuk perairan tertentu melalui manipulasi matematis yang sesuai. Dewasa ini dari berbagai publikasi kita cukup mudah memperoleh bentuk-bentuk persamaan spektra gelombang (Battacharya, 1980; Lyod, 1989). Untuk keperluan perancangan bangunan laut atau analisis operabilitas misalnya, harus dilakukan dengan hati-hati. Perancang harus benar-benar memahami dari mana dan dengan asumsi kondisi perairan yang bagaimana persamaan tersebut diturunkan. Dalam hal spektra atau data gelombang setempat tidak tersedia, dipilih formulasi spektra gelombang yang sesuai menurut berbagai macam aspek (perairan terbuka, perairan tertutup, efek angin, geografis, kedalaman perairan, panjang *fetch*, dan lain-lain). Sehingga kesesuaian dengan analisis yang dilakukan untuk perairan tertentu dapat dicapai. Dari spektrum gelombang dapat diketahui parameter-parameter gelombang, seperti pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Harga statistik amplitudo dan tinggi gelombang pada spektrum

| 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 1/100 gelombang tertinggi | $3,44\sqrt{m_0}$ | $6,67\sqrt{m_0}$ |

dengan,

$m_0 =$  Luasan dibawah kurva spektrum (*zero moment*)

$$m_0 = \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega \quad (2.8)$$



Berikut adalah formulasi spektrum gelombang yang digunakan dalam penelitian ini:

- *Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)* – untuk perairan tertutup/kepulauan, yang merupakan modifikasi dari Spektrum Pierson Moskowitz (DNV, 2011)

$$S_j(\omega) = A_\gamma S_{PM}(\omega) \gamma \left( \exp\left(-0.5 \left(\frac{\omega - \omega_p}{\sigma \omega_p}\right)^2\right) \right) \quad (2.9)$$

dengan,

$$\begin{aligned} S_{PM} &= \text{Spektrum Pierson-Moskowitz} \\ &= \frac{5}{16} H_s^2 \cdot \omega_p^4 \cdot \omega^{-5} \cdot \exp\left(-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right) \end{aligned} \quad (2.10)$$

dengan,

$\omega_p$  = frekuensi puncak spektra (*spectral peak frequency*)

$\gamma$  = parameter puncak (*peakedness parameter*)

$A_\gamma = 1 - 0.287 \ln(\gamma)$  (*normalizing factor*)

$\sigma$  = parameter bentuk (*shape parameter*)

untuk  $\omega \leq \omega_p = 0,07$  dan  $\omega \geq \omega_p = 0,09$

Sedangkan, nilai dari parameter puncak ( $\gamma$ ) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\gamma = \text{EXP} \left[ 3,4843 \left( 1 - 0,1975 \left( 0,036 - 0,0056 \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \right) \frac{T_p^4}{H_s^2} \right) \right] \quad (2.11)$$

dengan:

$T_p$  = periode puncak spektra

$H_s$  = tinggi gelombang signifikan

Namun untuk perairan Indonesia disarankan menggunakan harga parameter puncak  $\gamma = 2,5$ , hal ini pada intinya adalah untuk mengurangi dominasi energi yang dikontribusikan oleh frekuensi gelombang tertentu saja.



#### 2.2.4 Gerakan Bangunan Apung di Atas Gelombang Acak

Respons bangunan laut akibat eksitasi gelombang acak telah dipelajari secara intensif pertama kali oleh St Denis dan Pierson (1953). Kedua peneliti tersebut mengajukan hipotesis superposisi linier dari eksitasi komponen-komponen gelombang reguler yang membentuk suatu gelombang acak. Hipotesis tersebut dikembangkan dengan mengadopsi fenomena sinyal acak dari bidang elektronika dan komunikasi, yang pada masa itu telah lebih dulu dikembangkan, antara lain oleh Rice (1945). Kontribusi utama St Denis dan Pierson (1953) adalah dalam memodifikasi karakteristik sinyal elektronika atau komunikasi yang kebanyakan masih dikaji sebagai fungsi perubahan terhadap waktu saja, dengan menambahkan faktor spasial. Dengan penambahan faktor spasial ini, variabel kecepatan laju kapal memungkinkan untuk diperhitungkan dalam elevasi acak gelombang, yakni dalam bentuk frekuensi relatif atau frekuensi papasan. Penelitian tersebut terus berlanjut dengan bersamaan dengan pengembangan teori spektra gelombang, antara lain oleh Phillips (1958) serta Pierson dan Moskowitz (1964). Perkembangan teori gerakan kapal di atas gelombang acak kemudian berkembang menjadi lebih pesat lagi setelah metoda probabilistik diterapkan untuk menyelesaikan persamaan-persamaan variabel yang belum terpecahkan sebelumnya. Hal tersebut utamanya telah dikontribusikan oleh Price dan Bishop (1974). Konsep dasar dari keseluruhan mengenai gerakan bangunan laut kemudian dapat dijelaskan sebagai berikut ini.

Gelombang laut riil bersifat acak, dapat dianalisis dengan menerapkan FFT (*Fast Fourier Transform*) seperti halnya pada kasus sinyal elektronik. Analisis dengan FFT ini akan memberikan hasil berupa spektra energi gelombang. Djamniko (2012) menjelaskan bahwa energi gelombang adalah merupakan fungsi pangkat dua dari amplitudo gelombang. Dengan demikian, gerakan bangunan apung di atas gelombang acak akan dapat diperoleh dengan mentransformasikan spektra gelombang menjadi spektra respons gerakan, dengan cara mengalikan pangkat dua dari *RAO* dengan spektra gelombang  $S_{\zeta}(\omega)$ . Proses ini secara matematis dapat dituliskan sebagai:

$$S_{\zeta_r} = RAO^2 \times S_{\zeta}(\omega) \quad (2.12)$$



Jika spektra respons telah didapat, maka nilai-nilai statistik gerakan dapat dihitung dengan menerapkan formulasi matematis berikut.

$$m_0 = \int_0^{\infty} S_j(\omega) d\omega \quad (2.13)$$

Bila variabel  $m_0$  didefinisikan sebagai luasan di bawah kurva spektra, maka tinggi signifikan dapat dihitung sebagai

$$H_s = 4.0\sqrt{m_0} \quad (2.14)$$

dan amplitudo signifikan adalah setengah dari tinggi signifikannya, atau

$$\zeta_s = 2.0\sqrt{m_0} \quad (2.15)$$

Sedangkan tinggi rata-rata adalah

$$\bar{H} = 2.5\sqrt{m_0} \quad (2.16)$$

dan amplitudo rata-rata adalah

$$\bar{\zeta} = 1.25\sqrt{m_0} \quad (2.17)$$

Di samping luasan di bawah spektra, dalam hal ini dapat juga didefinisikan momen spektra ke 2 dan ke 4, sebagai berikut:

$$m_2 = \int_0^{\infty} \omega^2 S(\omega) d\omega \quad (2.18)$$

$$m_4 = \int_0^{\infty} \omega^4 S(\omega) d\omega \quad (2.19)$$

Berdasar definisi ini, maka variabel stokastik kecepatan dan percepatan gelombang atau gerakan dapat dihitung, seperti dengan pemakaian untuk displasemen. Misalnya, amplitudo kecepatan rata-rata adalah

$$\bar{\zeta} = 1.26\sqrt{m_2} \quad (2.20)$$



dan amplitudo percepatan signifikan adalah

$$\ddot{\zeta}_s = 2.0\sqrt{m_4} \quad (2.21)$$

### 2.2.5 Prediksi Operabilitas Bangunan Apung

Operabilitas merupakan kemampuan untuk bekerja disuatu lingkungan laut tertentu, dengan membandingkan waktu mampu bekerja dengan total waktu berada dilokasi, atau dengan kata lain merupakan peluang diselesaikannya suatu pekerjaan dengan mempertimbangkan kriteria atau kondisi batas operasinya pada keganasan laut tertentu. Batasan-batasan operasi selalu dipunyai oleh semua sistem rekayasa.

Keterbatasan ini menyangkut 3 katagori :

- a. Batasan yang akan berpengaruh pada operasinya;
- b. Batasan terhadap komponen atau sistem lain yang terkait dengan operasi tersebut;
- c. Batasan yang langsung berpengaruh kepada sistem itu sendiri.

Komponen pada sistem yang terkait mempunyai batasan batasan tertentu. Permesinan dan gerakan propeller yang bergantung pada kinerja dengan mengambil suplai bahan bakar atau fluida pelumas, hal ini akan dipengaruhi oleh gerak *Self Propelled Coal Barge (SPCB)*. Hal ini tentunya akan membatasi sampai seberapa besar intensitas gerakan *Self Propelled Coal Barge (SPCB)* yang terjadi pada saat mesin masih dapat bekerja dengan lancar.

Dalam kriteria gerakan *Self Propelled Coal Barge (SPCB)* ada beberapa aspek yang ditentukan dari kriteria umum operasi SPCB. Terkait harga statistik gerakan pada saat SPCB terkena beban gelombang acak, seperti yang terlihat pada tabel 2.2 merupakan kriteria *seakeeping* untuk operasi umum SPCB.

**Tabel 2.2** Kriteria *Seakeeping* Operasi umum SPCB (Lloyd A.R.J.M, 1989)

- |   |
|---|
| 1. Amplitudo Roll rata-rata sebesar 3,75° |
| 2. Amplitudo Pitch rata-rata sebesar 2,5° |
| 3. Percepatan Heave signifikan < 0.2g     |



Sejumlah latar belakang dan pertimbangan utama menyangkur penetapan kriteria, dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Amplitudo *Roll* rata-rata sebesar  $3,75^\circ$ , kriteria ini mengindikasikan mengenai resiko SPCB sehubungan dengan stabilitas, misalnya naiknya air ke geladak terhadap degradasi stabilitas, dan berpengaruh terhadap muatan dan kinerja ABK.
2. Amplitudo *pitch* rata-rata sebesar  $2,5^\circ$ , kriteria ini mengindikasikan mengenai resiko terjadinya *slamming* pada bagian haluan SPCB, yang dalam banyak hal mempengaruhi aktifitas operasi SPCB.
3. Percepatan *heave* Signifikan  $< 0,2$  g, kriteria ini menyatakan kemampuan ABK untuk melakukan operasi peralatan di atas SPCB, pada percepatan gerak sebesar ini kestabilan tubuh manusia akan mudah menurun.

Dimana gerakan dari *Self Propelled Coal Barge* (SPCB) tidak boleh melebihi nilai kriteria operasi, jika nilai gerakan melebihi maka akan membahayakan SPCB pada saat beroperasi.

Dengan mempertimbangkan hal di atas seorang perancang dan selanjutnya operator haruslah menyadari pentingnya untuk menentukan batasan-batasan operasi atau yang biasa disebut sebagai kriteria operasi. Kriteria operasi bisa diperoleh dari pengalaman-pengalaman maupun penelitian khusus. Kriteria yang dibahas akan terkait langsung dengan skenario operasi *self propelled coal barge* (SPCB). Skenario tersebut antara lain adalah kombinasi tinggi dan periode gelombang, arah gelombang, kondisi pembebanan SPCB sendiri, misalnya kondisi *ballast*, kondisi *half load*, kondisi *full load* dan sebagainya.

Dengan mempertimbangkan semua peluang kejadian faktor skenario operasi, maka fungsi kepadatan peluang dari respon gerakan mode tertentu dalam kurun waktu pendek atau satu periode operasi, misalnya satu tahun, dapat dituliskan sebagai:



$$p_L(\zeta_r) = \frac{\sum_a \sum_b \sum_c n \times p_a p_b p_c \times p_s(\zeta_r)}{\sum_a \sum_b \sum_c n \times p_a p_b p_c} \quad (2.22)$$

Dengan,

$n$  = jumlah siklus per satuan waktu,

$p_a$  = peluang kejadian gabungan tinggi dan periode gelombang,

$p_b$  = peluang kejadian arah gelombang,

$p_c$  = peluang kejadian atau pembobotan faktor kondisi pembebanan operasional,

$p_s(\zeta_r)$  = fungsi kepadatan peluang kejadian respons gerakan mode tertentu,  $\zeta_r$  dalam kurun waktu pendek.

Jumlah keseluruhan respons yang diharapkan akan terjadi selama periode operasi dalam kurun waktu tertentu kemudian dapat diperoleh dari:

$$n_L = \left( \sum_a \sum_b \sum_c n \times p_a p_b p_c \right) \times T \quad (2.23)$$

$T$  adalah waktu keseluruhan operasi dalam satuan detik. Apabila diasumsikan bahwa satu periode waktu operasi adalah selama satu tahun, maka  $T = 365 \text{ hari} \times 24 \text{ jam} \times 60 \text{ menit} \times 60 \text{ detik} = 31,536,000.0 \text{ detik}$ .

Nilai  $n_L$  akan terdistribusi mulai dari harga  $\zeta_r$  yang terkecil sampai dengan terbesar yang mungkin terjadi, mengikuti bentuk distribusi Weibull. Operabilitas akhirnya dapat ditentukan seberapa besar porsi atau persentase suatu kriteria tidak akan terlampaui dari keseluruhan kejadian.



### 2.2.6 Perangkat Lunak MOSES

Pemodelan struktur dan analisis dilakukan dengan program MOSES. Struktur *Self propelled coal barge* dimodelkan dengan memasukkan offset data yang didapatkan dari model MAXSURF yang sesuai dengan *lines plan*. Setelah itu, model tersebut dikenakan beban lingkungan. Setelah dilakukan pembebanan lingkungan pada model, dilakukan analisis karakteristik gerakan model *self propelled coal barge* tersebut.

MOSES (*Multi-Operational Structural Engineering Simulator*) adalah program simulasi yang memiliki kegunaan utama untuk menganalisis hampir semua struktur yang berada pada lingkungan laut. Pengguna dapat memilih teori hidrodinamika yang sesuai dengan analisis yang sedang dilakukan. MOSES dapat menganalisis gerakan, tegangan, gaya, stabilitas, kelelahan dan lain sebagainya.

Pada dasarnya, MOSES memiliki tiga kegunaan utama, yaitu: mensimulasikan proses fisik, memprediksikan konfigurasi dan menaksir integritas bagian-bagian dari sistem. Secara garis besar, program MOSES terdiri dari seperangkat *body* dan *environment*. *Body* adalah kumpulan titik-titik dengan koordinat tertentu yang saling terhubung. Untuk mendapatkan properti dari suatu *body*, MOSES melakukan pemetaan dari koordinat setiap titik sehingga didapatkan sebuah area dan volume dari kumpulan titik-titik pembentuk *body*. Pemetaan dilakukan dengan mencari persamaan kontinu garis dari kumpulan titik-titik. Dari persamaan kontinu yang telah didapatkan maka akan dapat dicari luasan serta volume suatu *body*. *Environment* adalah sesuatu yang menimbulkan aksi pada sistem. *Environment* pada MOSES terdiri angin (*wind*), lautan (*sea*), arus (*current*) dan suhu (*temperature*).

Analisis menggunakan MOSES dimulai dengan membuat model struktur. Pemodelan ini dilakukan dengan menentukan titik-titik yang akan membentuk struktur yang dilanjutkan dengan panel diantara titik-titik ini. Setelah model terbentuk, maka proses pengerjaan dilanjutkan dengan memberikan sifat-sifat fisik model seperti *buoyancy*, distribusi massa (*center of gravity*, beban parsial, dan lain-lain) dan beberapa property lainnya. Selanjutnya, model akan diletakkan pada



posisi keseimbangan sesuai dengan sarat (*draft*), sehingga semua properti hidrostatis dapat dihitung. Dengan menggunakan model geometri dibawah permukaan air, distribusi tekanan potensial pada setiap panel diberikan dengan linearisasi persamaan Bernoulli.

Dengan mengintegrasikan tekanan pada seluruh *body*, MOSES telah mendapatkan gaya hidrodinamis pada *body*. Pada tahap ini, program juga menghitung massa tambah (*added mass*), matriks redaman (*damping matrices*) yang akan melengkapi properti hidrodinamis. Properti hidrodinamis dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Morison, teori difraksi dua dimensi atau teori difraksi tiga dimensi. Teori Morison digunakan untuk menghitung properti hidrodinamis pada struktur ramping, sedangkan teori difraksi digunakan pada struktur besar. Berdasarkan gaya hidrodinamis, gerakan linier pada enam derajat kebebasan diperkirakan dalam bentuk RAO (*Response Amplitude Operator*). RAO akan disajikan dalam bentuk diagram fungsi transfer dan merupakan respon linier. RAO hasil simulasi MOSES biasanya memiliki beberapa nilai maksimum relatif. Hal ini dikarenakan nilai massa (termasuk *added mass*) yang digunakan untuk menghitung frekuensi natural tergantung pada frekuensi. Sehingga pada MOSES akan didapatkan beberapa nilai frekuensi natural. Hal ini disebabkan pula oleh nilai gaya eksitasi yang juga akan bervariasi dikarenakan nilai massa yang bervariasi terhadap frekuensi. Nilai frekuensi yang memiliki nilai maksimum relatif tergantung pada bentuk lambung (*hull*) dan distribusi massa struktur tersebut. Bentuk lambung juga menentukan besarnya gaya eksitasi, massa tambah dan kekakuan struktur. Respon yang didapatkan dalam bentuk RAO merupakan respon linier, selanjutnya RAO yang telah diperoleh dapat dikalikan dengan spektrum gelombang sehingga akan didapatkan spektrum respon (Arda *et. al.*, 2012).



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 METODOLOGI PENELITIAN

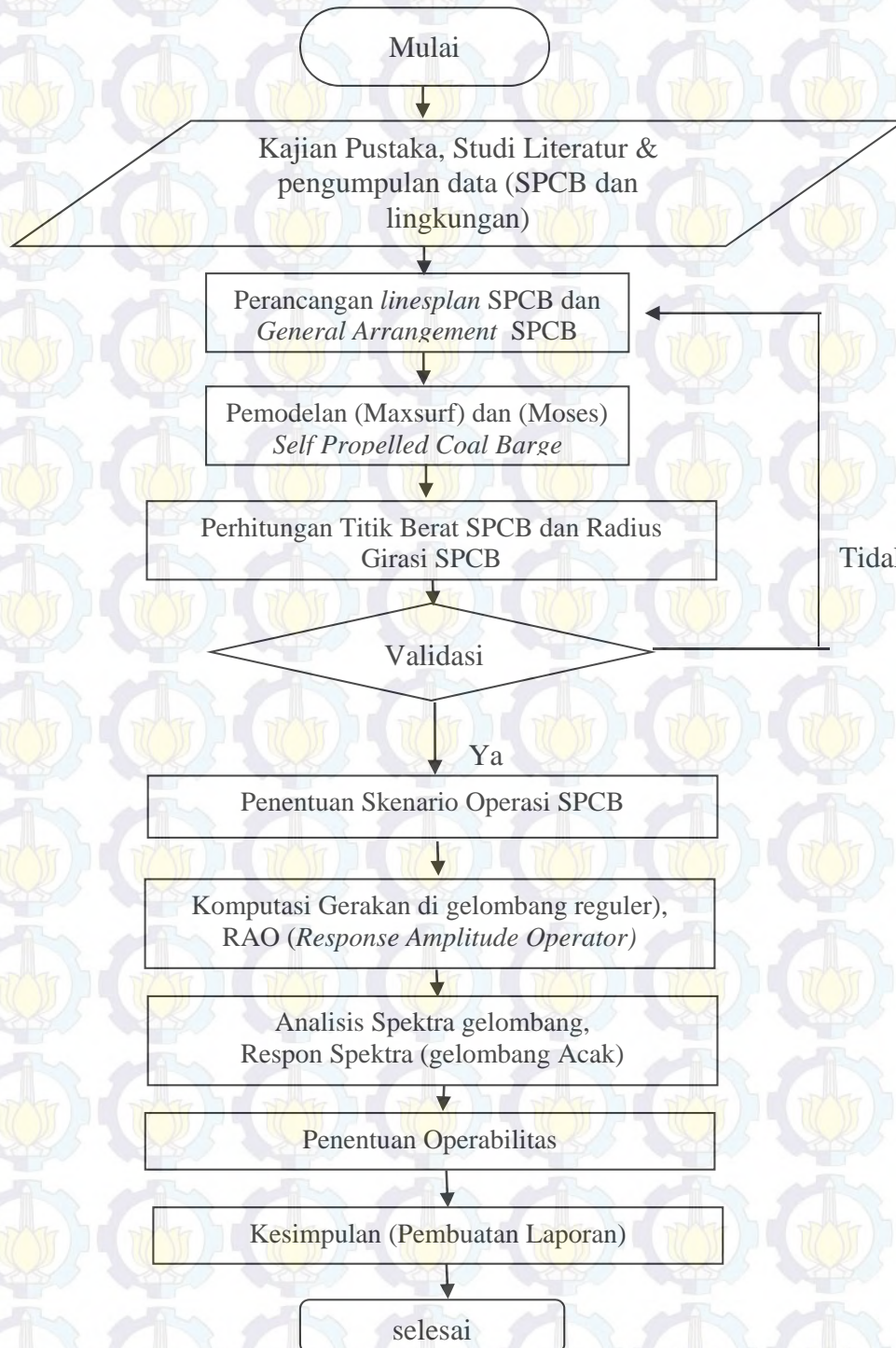
Metode penelitian didalam tugas akhir ini diuraikan sebagai berikut :

- Penelitian ini sepenuhnya dilakukan secara numerikal atau teoritikal berdasarkan acuan dan data umum baik dari publikasi cetak maupun internet. Dalam penelitian ini tidak dilakukan percobaan model di laboratorium.
- Obyek kajian ini adalah Karakteristik Gerakan dan Operabilitas *Self Propelled Coal Barge (SPCB)*.
- Kajian dilakukan dengan pendekatan program software MAXSURF dan MOSES.



### 3.2 PROSEDUR PENELITIAN

Prosedur penelitian dilakukan dengan tahap sebagaimana ditunjukkan dalam diagram alir dibawah ini :



Gambar 3.1 Diagram alir metodologi yang dilakukan



### 3.2.1 Studi Literatur & Pengumpulan Data

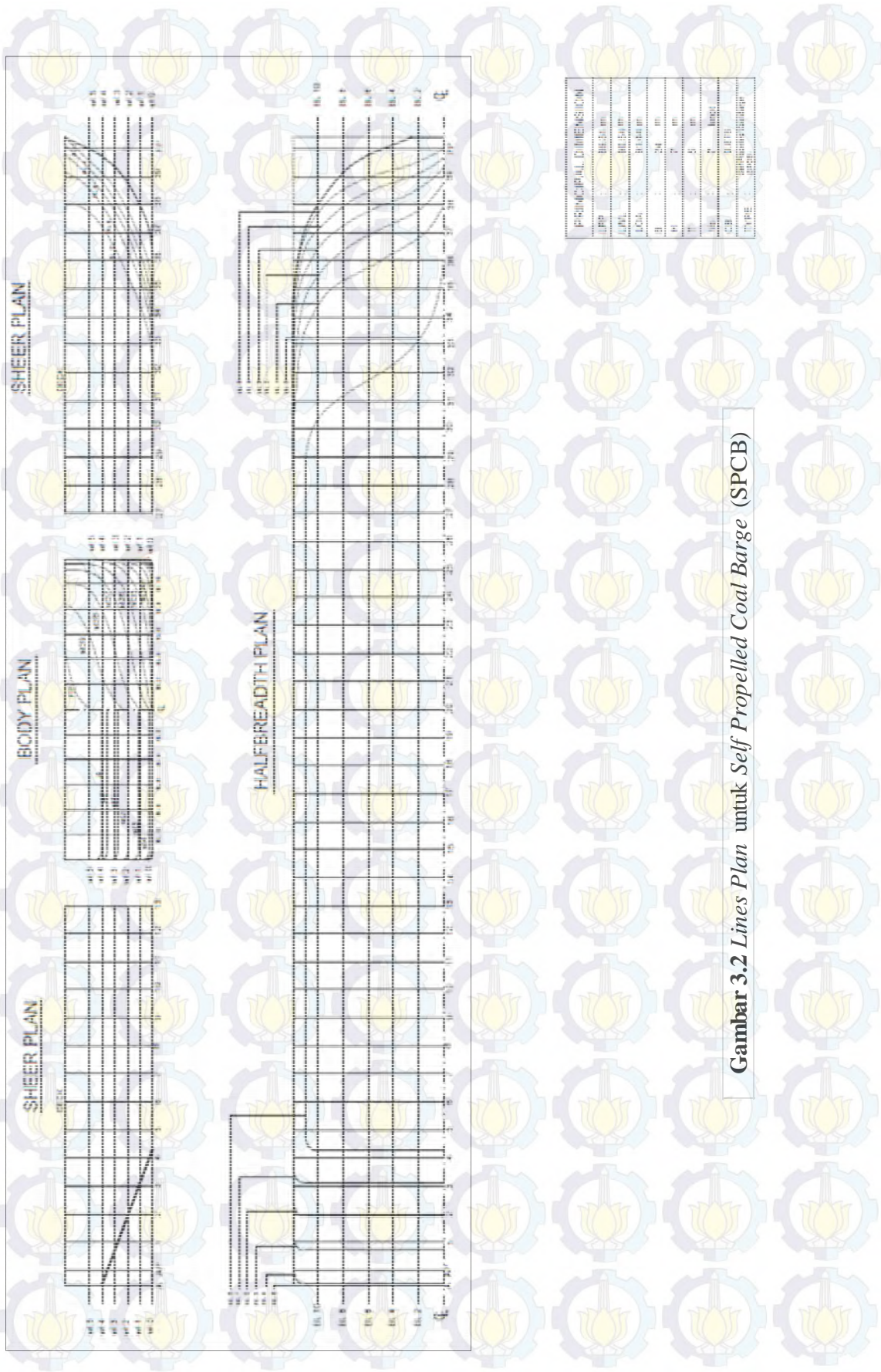
Pada tahapan ini akan dilakukan pengumpulan publikasi ilmiah dari literatur terbuka, yang relevan untuk dijadikan acuan dalam penelitian ini. Selanjutnya juga akan dilakukan pengumpulan data, yang terdiri beberapa macam. Pertama adalah data *Self Propelled Coal Barge (SPCB) 8000 dwt* yang akan dijadikan sebagai acuan rancangan parameter utama kapal untuk dianalisis operabilitasnya.

**Tabel 3.1** Data Kapal Acuan (www.worldoils.com)

| DATA UTAMA SELF PEROPPELLED COAL BARGE 8000 DWT |   |   |
|---|---|---|
| Nama  | = | Self Propelled Coal Barge 8000 DWT                              |
| Type  | = | <i>Self Propelled Barge (SPB)</i>                               |
| LOA (m)   | = | 91,44   |
| LPP (m)   | = | 89,31   |
| LWL (m)   | = | 90,54   |
| Lebar B (m)                                     | = | 24  |
| Tinggi H (m)                                    | = | 7   |
| Draft (m)                                       | = | 5   |
| Displacement (ton)                              | = | 9750,7  |
| Ligth weight (ton)                              | = | 1703,7  |
| Dead Weigth (ton)                               | = | 8047  |
| Coal Capacity (ton)                             | = | 7700  |
| Main engine                                     | = | 2 unit CAT 3512B DI-TA MAR diesel : 2 X 1,280 HP<br>(RPM 1,600) |
| Aux. engine                                     | = | (2 unit cummins 6 CTA-8.3D9M) : 2 X 954 KW                      |

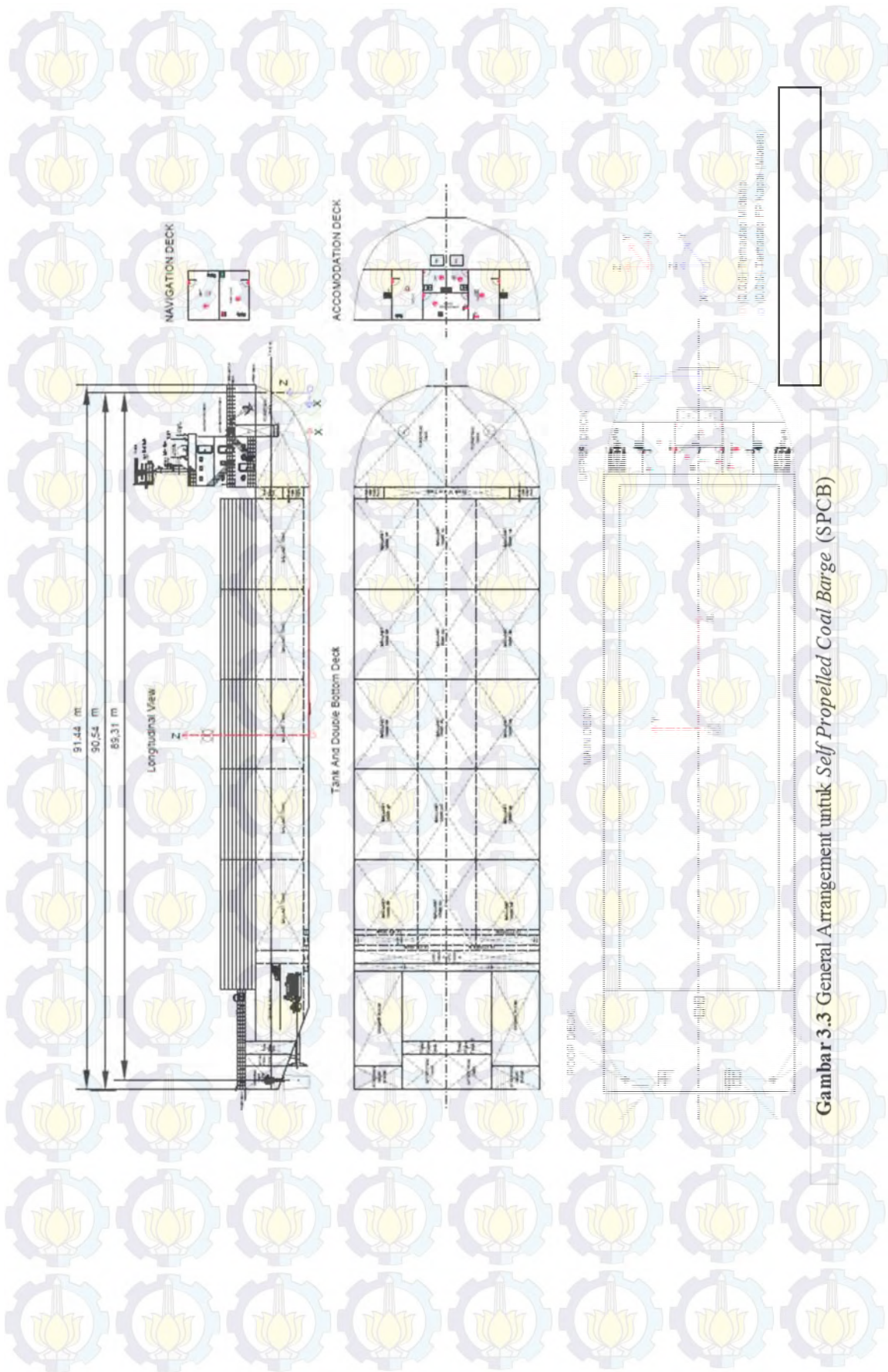
Parameter Utama tersebut yang dijadikan sebagai parameter perancangan *Self Propelled Coal Barge (SPCB)* untuk dianalisis karakteristik gerakan dan operabilitas. Dalam perancangan kapal yang utama yakni membuat *general arrangement* dari *Self Propelled Coal Barge (SPCB)*, kemudian membuat *lines Plan* agar mendapatkan bentuk lambung kapal yang disesuaikan dengan *general arrangement*, yang selanjutnya untuk mendapatkan hidrostatis dari kapal SPCB yang akan digunakan sebagai data validasi model.





Gambar 3.2 Lines Plan untuk Self Propelled Coal Barge (SPCB)





**Gambar 3.3** General Arrangement untuk *Self Propelled Coal Barge (SPCB)*



Kedua adalah pengumpulan data gelombang untuk perairan di mana *Propelled Coal Barge (SPCB)* secara hipotesis akan dioperasikan yaitu pada perairan laut Jawa.

**Tabel 3.2** Data Gelombang ( PT. Kalvindo Utama -Fugro Indonesia)

| parameter                      | Nilai    |
|--------------------------------|----------|
| 1-hour $W_s@10\text{ m}$ (m/s) | 23,5     |
| Hs (m)                         | 5,4      |
| $T_p$ (s)                      | 10,6     |
| $T_p$ Range (s)                | 8,9-11,8 |
| Hmax (m)                       | 10,2     |
| T-Hmax (s)                     | 9,5      |
| T-Hmax Range (s)               | 8,0-10,6 |
| JONSWAP $\gamma$               | 2,5      |

Untuk analisis operabilitas SPCB diperlukan peluang kejadian gelombang, dikarenakan jumlah kejadian gelombang untuk di laut jawa tidak diketahui dan belum pernah dilakukan pengukuran, maka untuk data sebaran gelombang memakai data perairan Dunia dan perairan Natuna, dimana data sebaran gelombang Dunia ini cocok untuk perairan seluruh dunia dengan mengambil tinggi gelombang di laut jawa 5,4 m dan  $T_p = 8,9$  detik – 11,8 detik sehingga pada data sebaran gelombang perairan Dunia diambil Hs = 3,5 m - Hs 5 meter, dan untuk  $T_p = 3,5$  s –  $T_p = 11,5$  s.

**Tabel 3.3** Data Sebaran Gelombang di Perairan Dunia (ABS, 2011).

| $T_p$ (s)              | Hs (m) |       |       |       |       |      | sum Over   |
|------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|------|------------|
|                        | 0,5    | 1,5   | 2,5   | 3,5   | 4,5   | 5,5  | All Period |
| 3,5                    | 8      |       |       |       |       |      | 8          |
| 4,5                    | 260    | 55    | 9     | 2     |       |      | 326        |
| 5,5                    | 1344   | 1223  | 406   | 113   | 30    | 8    | 3124       |
| 6,5                    | 2149   | 5349  | 3245  | 1332  | 469   | 156  | 12700      |
| 7,5                    | 1349   | 7569  | 7844  | 4599  | 2101  | 858  | 24320      |
| 8,5                    | 413    | 4788  | 7977  | 6488  | 3779  | 1867 | 25312      |
| 9,5                    | 76     | 1698  | 4305  | 4716  | 3439  | 2030 | 16264      |
| 10,5                   | 10     | 397   | 1458  | 2092  | 1876  | 1307 | 7140       |
| 11,5                   | 1      | 69    | 351   | 642   | 696   | 564  | 2323       |
| Sum Over<br>All Height | 5610   | 21148 | 25595 | 19984 | 12390 | 6790 | 91517      |



Untuk membandingkan hasil operabilitas, perancangan SPCB juga dikorelasikan dengan data sebaran gelombang di Indonesia yakni di Perairan Natuna, dengan kondisi perairan yang berada di Natuna yang memiliki tinggi gelombang signifikan hampir sama dengan tinggi gelombang di laut Jawa. Dengan melakukan perhitungan pada keseluruhan periode puncak dan tinggi gelombang signifikan pada perairan Natuna.

**Tabel 3.4** Data Sebaran Gelombang di Perairan Natuna (*Metocean Belanak*)

| T <sub>p</sub> |       | H <sub>s</sub> |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |      |  |
|----------------|-------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|--|
| Lower          | Upper | 0.00           | 0.50   | 1.00   | 1.50   | 2.00   | 2.50   | 3.00   | 3.50   | 4.00   | 4.50   | 5.00   | 5.50   | 6.00 |  |
|                |       | 0.49           | 0.99   | 1.49   | 1.99   | 2.49   | 2.99   | 3.49   | 3.99   | 4.49   | 4.99   | 5.49   | 5.99   | 6.49 |  |
| 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 | 0.058  | 0.0324 | 0.0169 | 0.0055 | 0.0033 | 0.0009 | 0.0004 | -    |  |

Ketiga adalah data-data ataupun informasi menyangkut kriteria pengoperasian bangunan laut, khususnya yang lazim diterapkan dalam operasi saat *Self Propelled Coal Barge (SPCB)* beroperasi.

**Tabel 3.5** Kriteria Umum Operasi SPCB (Lloyd A.R.J.M, 1989)

- |  |
|--|
| 1. Amplitudo <i>Roll</i> rata-rata sebesar 3.75° |
| 2. Amplitudo <i>Pitch</i> rata-rata sebesar 2.5° |
| 3. Percepatan <i>Heave</i> signifikan < 0.2g     |

rms *roll* limit = 3.0 degrees

rms *pitch* limit = 2.0 degrees



Sejumlah latar belakang dan pertimbangan utama menyangkut penetapan kriteria, dapat dijabarkan sebagai berikut.

1. Amplitudo *Roll* rata-rata sebesar  $3.75^\circ$  : kriteria ini mengindikasikan mengenai resiko SPCB sehubungan dengan stabilitas, misalnya naiknya air ke geladak terhadap degradasi stabilitas, dan berpengaruh terhadap kinerja ABK.
2. Amplitudo *pitch* rata-rata sebesar  $2.5^\circ$  : kriteria ini mengindikasikan mengenai resiko terjadinya *slamming* pada bagian haluan SPCB, yang dalam banyak hal mempengaruhi aktifitas operasi SPCB.
3. Percepatan *heave* Signifikan  $< 0,2 \text{ g}$  : kriteria ini menyatakan kemampuan ABK untuk melakukan operasi peralatan di atas kapal, pada percepatan gerak sebesar ini kestabilan tubuh manusia akan mudah menurun.

Dimana gerakan dari *Self Propelled Coal Barge* (SPCB) tidak boleh melebihi nilai kriteria diatas, jika nilai gerakan melebihi maka akan membahayakan pada saat beroperasi.

### **3.2.2 Pemodelan *Self Propelled Coal Barge* (SPCB)**

Dengan mengacu pada data ukuran utama *Self Propelled Coal Barge* (SPCB). Jenis *Self Propelled barge* ini telah dirancang menyesuaikan data parameter ukuran utama kapal yang mampu mengangkut muatan batubara sebesar 7700 ton. Parameter utama yang akan ditentukan paling tidak akan meliputi: panjang keseluruhan, lebar, displasemen, geladak, dan sarat air operasi. Dari ukuran utama ini kemudian akan ditentukan besaran-besaran hidrostatis dan massa yang diperlukan sebagai masukan untuk mengeksekusi model numerik untuk memprediksi gerakan. Besaran-besaran ini antara lain adalah luas garis air, tinggi metacenter, letak titik berat vertikal, tinggi metacenter di atas titik berat, dan sebagainya.

Pertama membuat *general arrangement* dari SPCB, yang kemudian dilanjutkan untuk membuat *linesplan* dan output hidrostatis yang dihitung dengan software Maxsurf, data hidrostatis ini yang nantinya akan divalidasi, setelah didapatkan bentuk kapal maka melakukan perhitungan tahanan kapal untuk mendapatkan mesin yang mampu mendorong SPCB dengan kecepatan 7 knot.



**Tabel 3.6** Tabel Hidrostatik Model SPCB

|                                      | 0,1      | 0,2      | 0,3      | 0,4      | 0,5      | 0,6      | 0,7      | 0,8      | 0,9      | 1        |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Draft m</b>                       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Displacement t                       | 150,6    | 312,1    | 479,4    | 649,8    | 823,1    | 998,9    | 1161     | 1336     | 1513     | 1691     |
| Draft at FP m                        | 0,1      | 0,2      | 0,3      | 0,4      | 0,5      | 0,6      | 0,7      | 0,8      | 0,9      | 1        |
| Draft at AP m                        | 0,1      | 0,2      | 0,3      | 0,4      | 0,5      | 0,6      | 0,7      | 0,8      | 0,9      | 1        |
| Draft at LCF m                       | 0,1      | 0,2      | 0,3      | 0,4      | 0,5      | 0,6      | 0,7      | 0,8      | 0,9      | 1        |
| WL Length m                          | 70,417   | 71,419   | 72,421   | 73,235   | 74,048   | 74,833   | 75,454   | 76,074   | 76,695   | 77,257   |
| Beam max extents on WL m             | 23,638   | 23,9     | 23,995   | 23,996   | 23,996   | 23,996   | 23,996   | 23,996   | 23,996   | 23,996   |
| Wetted Area m <sup>2</sup>           | 1536,749 | 1606,144 | 1651,863 | 1688,751 | 1722,481 | 1754,552 | 1766,805 | 1794,752 | 1822,122 | 1849,246 |
| Waterpl. Area m <sup>2</sup>         | 1532,01  | 1594,837 | 1628,949 | 1651,393 | 1670,355 | 1687,412 | 1701,932 | 1717,132 | 1731,711 | 1745,857 |
| Prismatic coeff. (Cp)                | 0,895    | 0,906    | 0,909    | 0,911    | 0,911    | 0,91     | 0,899    | 0,897    | 0,895    | 0,893    |
| Block coeff. (Cb)                    | 0,882    | 0,891    | 0,897    | 0,902    | 0,904    | 0,904    | 0,893    | 0,892    | 0,891    | 0,89     |
| Max Sect. area coeff. (Cm)           | 0,986    | 0,985    | 0,987    | 0,99     | 0,992    | 0,993    | 0,994    | 0,995    | 0,996    | 0,996    |
| Waterpl. area coeff. (Cwp)           | 0,92     | 0,934    | 0,937    | 0,94     | 0,94     | 0,94     | 0,94     | 0,941    | 0,941    | 0,942    |
| LCB from zero pt. (+ve fwd) m        | -3,638   | -3,073   | -2,77    | -2,6     | -2,493   | -2,428   | -1,92    | -1,837   | -1,769   | -1,712   |
| LCF from zero pt. (+ve fwd) m        | -2,76    | -2,074   | -1,763   | -1,573   | -1,455   | -1,374   | -1,308   | -1,279   | -1,255   | -1,236   |
| KB m                                 | 0,051    | 0,102    | 0,153    | 0,204    | 0,255    | 0,306    | 0,357    | 0,409    | 0,46     | 0,512    |
| BMt m                                | 463,469  | 238,25   | 159,637  | 119,657  | 95,743   | 79,812   | 69,264   | 60,781   | 54,178   | 48,886   |
| BML m                                | 3714,112 | 1974,782 | 1359,378 | 1043,386 | 851,499  | 722,747  | 637,951  | 569,027  | 515,251  | 472,197  |
| KMt m                                | 463,52   | 238,352  | 159,79   | 119,862  | 95,999   | 80,118   | 69,621   | 61,19    | 54,639   | 49,398   |
| KML m                                | 3714,163 | 1974,884 | 1359,531 | 1043,591 | 851,755  | 723,053  | 638,308  | 569,436  | 515,711  | 472,709  |
| Immersion (TPc) tonne/cm             | 15,703   | 16,347   | 16,697   | 16,927   | 17,121   | 17,296   | 17,445   | 17,601   | 17,75    | 17,895   |
| MTC tonne.m                          | 62,517   | 68,825   | 72,686   | 75,55    | 78,019   | 80,292   | 82,287   | 84,411   | 86,483   | 88,536   |
| RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m | 1204,914 | 1271,125 | 1295,017 | 1302,689 | 1307,227 | 1309,586 | 1309,077 | 1310,138 | 1310,535 | 1310,328 |



**Tabel 3.7** Tabel Hidrostatik Model SPCB

|                                      | 1,1      | 1,2      | 1,3      | 1,4      | 1,5      | 1,6      | 1,7      | 1,8      | 1,9      | 2        |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Draft m</b>                       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Displacement t                       | 1871     | 2052     | 2234     | 2418     | 2602     | 2789     | 2976     | 3165     | 3354     | 3545     |
| Draft at FP m                        | 1,1      | 1,2      | 1,3      | 1,4      | 1,5      | 1,6      | 1,7      | 1,8      | 1,9      | 2        |
| Draft at AP m                        | 1,1      | 1,2      | 1,3      | 1,4      | 1,5      | 1,6      | 1,7      | 1,8      | 1,9      | 2        |
| Draft at LCF m                       | 1,1      | 1,2      | 1,3      | 1,4      | 1,5      | 1,6      | 1,7      | 1,8      | 1,9      | 2        |
| WL Length m                          | 77,756   | 78,255   | 78,754   | 79,253   | 79,707   | 80,14    | 80,572   | 81,005   | 81,437   | 81,869   |
| Beam max extents on WL m             | 23,996   | 23,996   | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       |
| Wetted Area m <sup>2</sup>           | 1876,036 | 1902,357 | 1928,177 | 1954,898 | 1980,855 | 2007,029 | 2033,301 | 2059,552 | 2085,065 | 2111,205 |
| Waterpl. Area m <sup>2</sup>         | 1759,5   | 1772,639 | 1785,163 | 1796,851 | 1808,975 | 1821,3   | 1833,465 | 1845,505 | 1856,396 | 1868,188 |
| Prismatic coeff. (Cp)                | 0,892    | 0,891    | 0,89     | 0,888    | 0,887    | 0,886    | 0,885    | 0,884    | 0,883    | 0,882    |
| Block coeff. (Cb)                    | 0,889    | 0,888    | 0,887    | 0,886    | 0,885    | 0,884    | 0,883    | 0,882    | 0,881    | 0,88     |
| Max Sect. area coeff. (Cm)           | 0,996    | 0,997    | 0,997    | 0,997    | 0,997    | 0,998    | 0,998    | 0,998    | 0,998    | 0,998    |
| Waterpl. area coeff. (Cwp)           | 0,943    | 0,944    | 0,944    | 0,945    | 0,946    | 0,947    | 0,948    | 0,949    | 0,95     | 0,951    |
| LCB from zero pt. (+ve fwd) m        | -1,664   | -1,624   | -1,591   | -1,562   | -1,538   | -1,519   | -1,503   | -1,49    | -1,48    | -1,473   |
| LCF from zero pt. (+ve fwd) m        | -1,22    | -1,216   | -1,224   | -1,228   | -1,253   | -1,277   | -1,291   | -1,309   | -1,321   | -1,358   |
| KB m                                 | 0,563    | 0,615    | 0,667    | 0,718    | 0,77     | 0,822    | 0,874    | 0,927    | 0,979    | 1,031    |
| BMt m                                | 44,547   | 40,938   | 37,879   | 35,227   | 32,965   | 30,995   | 29,244   | 27,69    | 26,271   | 25,037   |
| BML m                                | 436,829  | 407,141  | 381,778  | 359,691  | 340,877  | 324,606  | 310,254  | 297,495  | 285,589  | 275,3    |
| KMt m                                | 45,111   | 41,553   | 38,546   | 35,945   | 33,735   | 31,817   | 30,118   | 28,617   | 27,25    | 26,068   |
| KML m                                | 437,392  | 407,756  | 382,444  | 360,41   | 341,647  | 325,429  | 311,128  | 298,421  | 286,567  | 276,331  |
| Immersion (TPc) tonne/cm             | 18,035   | 18,17    | 18,298   | 18,418   | 18,542   | 18,668   | 18,793   | 18,916   | 19,028   | 19,149   |
| MTc tonne.m                          | 90,548   | 92,503   | 94,393   | 96,185   | 98,072   | 100,023  | 101,98   | 103,94   | 105,721  | 107,675  |
| RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m | 1309,578 | 1308,895 | 1307,965 | 1305,694 | 1305,156 | 1305,13  | 1304,607 | 1304,322 | 1302,483 | 1303,509 |



**Tabel 3.8** Tabel Hidrostatik Model IPCB

|                                      | 2,1      | 2,2      | 2,3      | 2,4      | 2,5      | 2,6      | 2,7      | 2,8      | 2,9      | 3        |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Draft m                              | 3737     | 3930     | 4125     | 4320     | 4517     | 4715     | 4914     | 5114     | 5315     | 5517     |
| Displacement t                       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Draft at FP m                        | 2,1      | 2,2      | 2,3      | 2,4      | 2,5      | 2,6      | 2,7      | 2,8      | 2,9      | 3        |
| Draft at AP m                        | 2,1      | 2,2      | 2,3      | 2,4      | 2,5      | 2,6      | 2,7      | 2,8      | 2,9      | 3        |
| Draft at LCF m                       | 2,1      | 2,2      | 2,3      | 2,4      | 2,5      | 2,6      | 2,7      | 2,8      | 2,9      | 3        |
| WL Length m                          | 82,298   | 82,693   | 83,089   | 83,484   | 83,88    | 84,275   | 84,67    | 85,066   | 85,46    | 85,834   |
| Beam max extents on WL m             | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       |
| Wetted Area m^2                      | 2137,093 | 2163,031 | 2188,864 | 2214,202 | 2240,64  | 2266,812 | 2293,097 | 2319,421 | 2345,485 | 2371,974 |
| Waterpl. Area m^2                    | 1879,592 | 1891,036 | 1902,075 | 1912,252 | 1923,81  | 1934,999 | 1946,3   | 1957,455 | 1967,959 | 1979,04  |
| Prismatic coeff. (Cp)                | 0,881    | 0,88     | 0,879    | 0,878    | 0,877    | 0,876    | 0,875    | 0,874    | 0,873    | 0,872    |
| Block coeff. (Cb)                    | 0,879    | 0,878    | 0,877    | 0,877    | 0,876    | 0,875    | 0,874    | 0,873    | 0,872    | 0,871    |
| Max Sect. area coeff. (Cm)           | 0,998    | 0,998    | 0,998    | 0,998    | 0,998    | 0,998    | 0,999    | 0,999    | 0,999    | 0,999    |
| Waterpl. area coeff. (Cwp)           | 0,952    | 0,953    | 0,954    | 0,954    | 0,956    | 0,957    | 0,958    | 0,959    | 0,959    | 0,961    |
| LCB from zero pt. (+ve fwd) m        | -1,467   | -1,464   | -1,464   | -1,464   | -1,466   | -1,47    | -1,475   | -1,482   | -1,489   | -1,497   |
| LCF from zero pt. (+ve fwd) m        | -1,396   | -1,438   | -1,477   | -1,498   | -1,544   | -1,586   | -1,63    | -1,669   | -1,697   | -1,743   |
| KB m                                 | 1,083    | 1,136    | 1,188    | 1,241    | 1,293    | 1,346    | 1,399    | 1,452    | 1,505    | 1,558    |
| BMt m                                | 23,912   | 22,897   | 21,958   | 21,071   | 20,297   | 19,573   | 18,907   | 18,283   | 17,687   | 17,148   |
| BML m                                | 265,887  | 257,375  | 249,497  | 241,99   | 235,603  | 229,62   | 224,144  | 219,04   | 214,103  | 209,706  |
| KMlt m                               | 24,996   | 24,032   | 23,146   | 22,311   | 21,59    | 20,919   | 20,306   | 19,735   | 19,192   | 18,705   |
| KML m                                | 266,97   | 258,511  | 250,686  | 243,231  | 236,897  | 230,966  | 225,543  | 220,491  | 215,608  | 211,263  |
| Immersion (TPC) tonne/cm             | 19,266   | 19,383   | 19,496   | 19,601   | 19,719   | 19,834   | 19,95    | 20,064   | 20,172   | 20,285   |
| MTC tonne.m                          | 109,593  | 111,538  | 113,442  | 115,215  | 117,257  | 119,261  | 121,31   | 123,356  | 125,303  | 127,389  |
| RM at 1deg = GMT.Disp.sin(1) tonne.m | 1304,195 | 1305,551 | 1306,312 | 1305,32  | 1307,884 | 1309,938 | 1312,568 | 1315,077 | 1316,41  | 1319,685 |



**Tabel 3.9** Tabel Hidrostatik Model SPCB

|                                      | 3,1      | 3,2      | 3,3      | 3,4      | 3,5      | 3,6      | 3,7      | 3,8      | 3,9      | 4        |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Draft m                              | 5721     | 5925     | 6131     | 6337     | 6545     | 6753     | 6963     | 7173     | 7385     | 7597     |
| Displacement t                       | 3,1      | 3,2      | 3,3      | 3,4      | 3,5      | 3,6      | 3,7      | 3,8      | 3,9      | 4        |
| Draft at FP m                        | 3,1      | 3,2      | 3,3      | 3,4      | 3,5      | 3,6      | 3,7      | 3,8      | 3,9      | 4        |
| Draft at AP m                        | 3,1      | 3,2      | 3,3      | 3,4      | 3,5      | 3,6      | 3,7      | 3,8      | 3,9      | 4        |
| Draft at LCF m                       | 3,1      | 3,2      | 3,3      | 3,4      | 3,5      | 3,6      | 3,7      | 3,8      | 3,9      | 4        |
| WL Length m                          | 86,208   | 86,582   | 86,956   | 87,33    | 87,704   | 88,078   | 88,452   | 88,813   | 89,166   | 89,52    |
| Beam max extents on WL m             | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       |
| Wetted Area m^2                      | 2398,268 | 2423,677 | 2449,948 | 2475,811 | 2501,453 | 2526,786 | 2552,46  | 2578,162 | 2604,057 | 2629,924 |
| Waterpl. Area m^2                    | 1989,855 | 1999,462 | 2009,93  | 2019,953 | 2029,645 | 2038,738 | 2048,141 | 2057,494 | 2066,947 | 2076,246 |
| Prismatic coeff. (Cp)                | 0,871    | 0,871    | 0,87     | 0,869    | 0,868    | 0,867    | 0,866    | 0,865    | 0,864    | 0,863    |
| Block coeff. (Cb)                    | 0,87     | 0,869    | 0,868    | 0,868    | 0,867    | 0,866    | 0,865    | 0,864    | 0,863    | 0,862    |
| Max Sect. area coeff. (Cm)           | 0,999    | 0,999    | 0,999    | 0,999    | 0,999    | 0,999    | 0,999    | 0,999    | 0,999    | 0,999    |
| Waterpl. area coeff. (Cwp)           | 0,962    | 0,962    | 0,963    | 0,964    | 0,964    | 0,964    | 0,965    | 0,965    | 0,966    | 0,966    |
| LCB from zero pt. (+ve fwd) m        | -1,507   | -1,517   | -1,529   | -1,541   | -1,556   | -1,572   | -1,589   | -1,607   | -1,627   | -1,647   |
| LCF from zero pt. (+ve fwd) m        | -1,792   | -1,83    | -1,901   | -1,967   | -2,039   | -2,105   | -2,181   | -2,254   | -2,328   | -2,4     |
| KB m                                 | 1,611    | 1,664    | 1,717    | 1,77     | 1,823    | 1,877    | 1,93     | 1,983    | 2,037    | 2,09     |
| BMt m                                | 16,641   | 16,144   | 15,7     | 15,275   | 14,872   | 14,479   | 14,114   | 13,766   | 13,437   | 13,121   |
| BML m                                | 205,533  | 201,284  | 197,56   | 193,949  | 190,478  | 187,058  | 183,926  | 180,966  | 178,206  | 175,56   |
| KMt m                                | 18,252   | 17,807   | 17,417   | 17,046   | 16,695   | 16,356   | 16,044   | 15,75    | 15,474   | 15,211   |
| KML m                                | 207,143  | 202,948  | 199,277  | 195,719  | 192,301  | 188,935  | 185,856  | 182,95   | 180,243  | 177,651  |
| Immersion (TPc) tonne/cm             | 20,396   | 20,494   | 20,602   | 20,705   | 20,804   | 20,897   | 20,993   | 21,089   | 21,186   | 21,282   |
| MTc tonne.m                          | 129,448  | 131,293  | 133,328  | 135,297  | 137,223  | 139,05   | 140,963  | 142,889  | 144,862  | 146,823  |
| RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m | 1323,049 | 1324,425 | 1328,579 | 1332,273 | 1335,856 | 1338,41  | 1342,047 | 1345,75  | 1349,834 | 1353,909 |



**Tabel 3.10** Tabel Hidrostatik Model SPCB

|                                      | 4,1      | 4,2      | 4,3      | 4,4      | 4,5      | 4,6      | 4,7      | 4,8      | 4,9      | 5        |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Draft m                              |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Displacement t                       | 7810     | 8024     | 8238     | 8452     | 8667     | 8882     | 9097     | 9312     | 9527     | 9755     |
| Draft at FP m                        | 4,1      | 4,2      | 4,3      | 4,4      | 4,5      | 4,6      | 4,7      | 4,8      | 4,9      | 5        |
| Draft at AP m                        | 4,1      | 4,2      | 4,3      | 4,4      | 4,5      | 4,6      | 4,7      | 4,8      | 4,9      | 5        |
| Draft at LCF m                       | 4,1      | 4,2      | 4,3      | 4,4      | 4,5      | 4,6      | 4,7      | 4,8      | 4,9      | 5        |
| WL Length m                          | 89,792   | 89,879   | 89,965   | 90,051   | 90,137   | 90,224   | 90,287   | 90,348   | 90,409   | 90,54    |
| Beam max extents on WL m             | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       |
| Wetted Area m <sup>2</sup>           | 2654,628 | 2673,607 | 2693,071 | 2712,388 | 2731,711 | 2751,009 | 2770,197 | 2789,315 | 2808,389 | 2827,436 |
| Waterpl. Area m <sup>2</sup>         | 2083,58  | 2086,48  | 2089,091 | 2091,495 | 2093,874 | 2096,193 | 2098,323 | 2100,288 | 2102,17  | 2104,014 |
| Prismatic coeff. (Cp)                | 0,863    | 0,865    | 0,867    | 0,868    | 0,869    | 0,871    | 0,872    | 0,874    | 0,875    | 0,876    |
| Block coeff. (Cb)                    | 0,862    | 0,864    | 0,866    | 0,867    | 0,869    | 0,87     | 0,871    | 0,873    | 0,874    | 0,876    |
| Max Sect. area coeff. (Cm)           | 0,999    | 0,999    | 0,999    | 0,999    | 0,999    | 0,999    | 0,999    | 0,999    | 0,999    | 0,999    |
| Waterpl. area coeff. (Cwp)           | 0,967    | 0,967    | 0,968    | 0,968    | 0,968    | 0,968    | 0,968    | 0,969    | 0,969    | 0,969    |
| LCB from zero pt. (+ve fwd) m        | -1,668   | -1,688   | -1,705   | -1,721   | -1,734   | -1,746   | -1,756   | -1,764   | -1,771   | -1,777   |
| LCF from zero pt. (+ve fwd) m        | -2,437   | -2,385   | -2,335   | -2,287   | -2,239   | -2,191   | -2,147   | -2,106   | -2,067   | -2,029   |
| KB m                                 | 2,144    | 2,197    | 2,251    | 2,304    | 2,357    | 2,41     | 2,463    | 2,516    | 2,569    | 2,621    |
| BMT m                                | 12,811   | 12,49    | 12,183   | 11,89    | 11,611   | 11,344   | 11,088   | 10,843   | 10,607   | 10,382   |
| BML m                                | 172,573  | 168,671  | 164,899  | 161,266  | 157,803  | 154,49   | 151,294  | 148,211  | 145,249  | 142,407  |
| KMT m                                | 14,955   | 14,687   | 14,434   | 14,194   | 13,968   | 13,754   | 13,551   | 13,358   | 13,176   | 13,003   |
| KML m                                | 174,716  | 170,868  | 167,15   | 163,57   | 160,16   | 156,9    | 153,757  | 150,727  | 147,817  | 145,028  |
| Immersion (TPC) tonne/cm             | 21,357   | 21,386   | 21,413   | 21,438   | 21,462   | 21,486   | 21,508   | 21,528   | 21,547   | 21,566   |
| MTC tonne.m                          | 148,38   | 148,985  | 149,53   | 150,031  | 150,531  | 151,02   | 151,474  | 151,899  | 152,31   | 152,714  |
| RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m | 1356,897 | 1356,626 | 1356,334 | 1356,236 | 1356,442 | 1356,94  | 1357,576 | 1358,332 | 1359,386 | 1360,824 |



Selanjutnya menghitung tahanan SPCB untuk menentukan spesifikasi mesin yang mampu mendorong dengan kecepatan 7 knot.

**Tabel 3.11** Perhitungan Tahanan Kapal dan Power Kapal dengan Kecepatan 7 knot

| Speed<br>(knots) | Holtrop Resistance<br>(kN) | Manual Resistance<br>(kN) | Power<br>(Kw) |
|------------------|----------------------------|---------------------------|---------------|
| 0                | 0                          | 0,00                      | 0             |
| 0,175            | 0,1                        | 0,04                      | 0,012         |
| 0,35             | 0,2                        | 0,16                      | 0,083         |
| 0,525            | 0,5                        | 0,35                      | 0,263         |
| 0,7              | 0,8                        | 0,63                      | 0,598         |
| 0,875            | 1,2                        | 0,98                      | 1,133         |
| 1,05             | 1,8                        | 1,41                      | 1,909         |
| 1,225            | 2,3                        | 1,92                      | 2,97          |
| 1,4              | 3                          | 2,51                      | 4,355         |
| 1,575            | 3,7                        | 3,17                      | 6,107         |
| 1,75             | 4,6                        | 3,92                      | 8,263         |
| 1,925            | 5,4                        | 4,74                      | 10,865        |
| 2,1              | 6,4                        | 5,64                      | 13,95         |
| 2,275            | 7,4                        | 6,62                      | 17,558        |
| 2,45             | 8,6                        | 7,68                      | 21,727        |
| 2,625            | 9,7                        | 8,81                      | 26,495        |
| 2,8              | 11                         | 10,03                     | 31,899        |
| 2,975            | 12,3                       | 11,32                     | 37,978        |
| 3,15             | 13,7                       | 12,69                     | 44,767        |
| 3,325            | 15,2                       | 14,14                     | 52,306        |
| 3,5              | 16,7                       | 15,66                     | 60,629        |
| 3,675            | 18,3                       | 17,27                     | 69,774        |
| 3,85             | 20                         | 18,95                     | 79,777        |
| 4,025            | 21,7                       | 20,72                     | 90,675        |
| 4,2              | 23,5                       | 22,56                     | 102,503       |
| 4,375            | 25,4                       | 24,48                     | 115,298       |
| 4,55             | 27,4                       | 26,47                     | 129,094       |
| 4,725            | 29,4                       | 28,55                     | 143,929       |
| 4,9              | 31,5                       | 30,70                     | 159,837       |
| 5,075            | 33,6                       | 32,94                     | 176,854       |
| 5,25             | 35,8                       | 35,25                     | 195,016       |
| 5,425            | 38,1                       | 37,63                     | 214,357       |
| 5,6              | 40,4                       | 40,10                     | 234,914       |
| 5,775            | 42,9                       | 42,65                     | 256,722       |
| 5,95             | 45,3                       | 45,27                     | 279,817       |
| 6,125            | 47,9                       | 47,97                     | 304,235       |
| 6,3              | 50,5                       | 50,75                     | 330,015       |
| 6,475            | 53,2                       | 53,61                     | 357,194       |
| 6,65             | 55,9                       | 56,55                     | 385,813       |
| 6,825            | 58,8                       | 59,57                     | 415,912       |
| 7                | 61,6                       | 62,66                     | 447,537       |



Untuk Selanjutnya melakukan pemodelan pada software MOSES dengan memasukkan data offset yang didapatkan dari maxsurf, yang dilanjutkan menghitung titik berat kapal dan radius girasi untuk tiga kondisi SPCB pada saat *full load*, *half load*, *ballast*, selanjutnya melakukan running hidrostatis pada software Moses untuk divalidasi dengan software Maxsurf dengan koreksi harus < 1%.

### 3.2.3 Penentuan Skenario Operasi

Skenario operasi harus ditetapkan untuk mengkaji berbagai kondisi operasi yang akan mempengaruhi perilaku gerakan. Sebagaimana telah dijelaskan di bab sebelumnya, hal ini antara lain menyangkut kondisi pembebanan operasi, peluang gabungan tinggi dan periode gelombang, serta arah propagasi gelombang. Bila ada faktor lain yang harus dipertimbangkan, maka harus ditetapkan, dan dilakukan pemodelan awalnya untuk komputasi gerakan di gelombang reguler.

### 3.2.4 Komputasi Gerakan

Setelah rancangan ditetapkan, langkah berikutnya adalah melakukan komputasi gerakan *Self Propelled Coal Barge (SPCB)*, dengan menggunakan perangkat lunak pemodelan berbasis teori difraksi 3-dimensi. Hal ini dimulai dengan pembuatan model *Self Propelled Coal Barge (SPCB)*. Setelah model lambung disiapkan, sebagai input utama, maka eksekusi komputasi dilakukan dengan memasukkan data input lanjutan, antara lain berupa frekuensi gelombang mulai dari frekuensi gelombang insiden  $\omega_e = 0,251$  rad/sec sampai 2,095 rad/sec, arah propagasi gelombang dipilih  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $180^\circ$ , untuk tiga kondisi pembebanan dan empat variasi kecepatan yakni 0 knot (*Stasioner*), 3 knot (*Harbouring*), 5 knot (*Surveillance*), 7 knot (Max Speed), serta input besaran hidrostatis yang akan menentukan koefisien inersia dan gaya pengembali, serta besaran massa dan momen inersia massa. Data luaran yang diperoleh adalah koefisien massa tambah dan redaman, serta yang utama adalah amplitudo gerakan. Pada langkah berikutnya data amplitudo gerakan ini dikorelasikan dengan amplitudo gelombang, serta diplot sebagai fungsi frekuensi untuk membentuk grafik RAO untuk vertikal gerakan (*heave*, *roll*, *Pitch*) untuk *Self Propelled Coal Barge (SPCB)*. Grafik RAO untuk berbagai arah



gelombang dapat diplot menjadi satu, untuk dapat dilakukan perbandingan secara langsung pada efeknya untuk tiap arah gelombang dengan variasi beban dan kecepatan.

### 3.2.5 Analisis Spektra

Pada tahap ini akan dilakukan pemilihan formulasi spektra gelombang yang sesuai dengan perairan di mana *Self Propelled Coal Barge (SPCB)* secara hipotesis akan dioperasikan. Formulasi spektra yang ada biasanya diklasifikasikan ke dalam jenis spektra yang sesuai, yakni untuk perai perairan tertutup atau kepulauan, serta perairan pantai. Analisis spektra, seperti telah dijelaskan sebelumnya, akan mengkorelasikan antara *RAO* dengan spektra gelombang  $S_{\zeta}(\omega)$ , yang akan menghasilkan spektra respons  $S_{\zeta r}(\omega)$ . Berdasarkan spektra respons ini akan dapat ditentukan harga-harga statistik gerakan, misalnya harga rata-rata, harga signifikan, ataupun harga-harga ekstrem, sesuai dengan keperluan.

### 3.2.6 Penentuan Operabilitas

Jenis harga-harga statistik yang diperoleh untuk masing-masing mode gerakan adalah disesuaikan dengan kriteria operasi yang dipakai sebagai acuan atau batasan. Dengan membandingkan antara kenaikan intensitas statistik gerakan sebagai fungsi kenaikan tinggi gelombang (signifikan), dengan batasan kriteria, maka akan dapat ditentukan sampai ketinggian gelombang mana *self propelled coal barge* masih mampu dioperasikan untuk memenuhi fungsinya. Jika batasan tinggi gelombang diproyeksikan ke dalam data sebaran gelombang, maka akan dapat dihitung persentase dari keseluruhan kejadian gelombang di mana *self propelled coal barge* masih mampu beroperasi memenuhi fungsinya. Persentase inilah yang dijadikan ukuran tingkat kualitas kinerja kapal. Dapat secara tuntas dan rasional dengan mengacu pada hasil prediksi operabilitas di gelombang laut riil yang bersifat acak.



## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 PEMODELAN *SELF PROPELLED COAL BARGE* (SPCB)

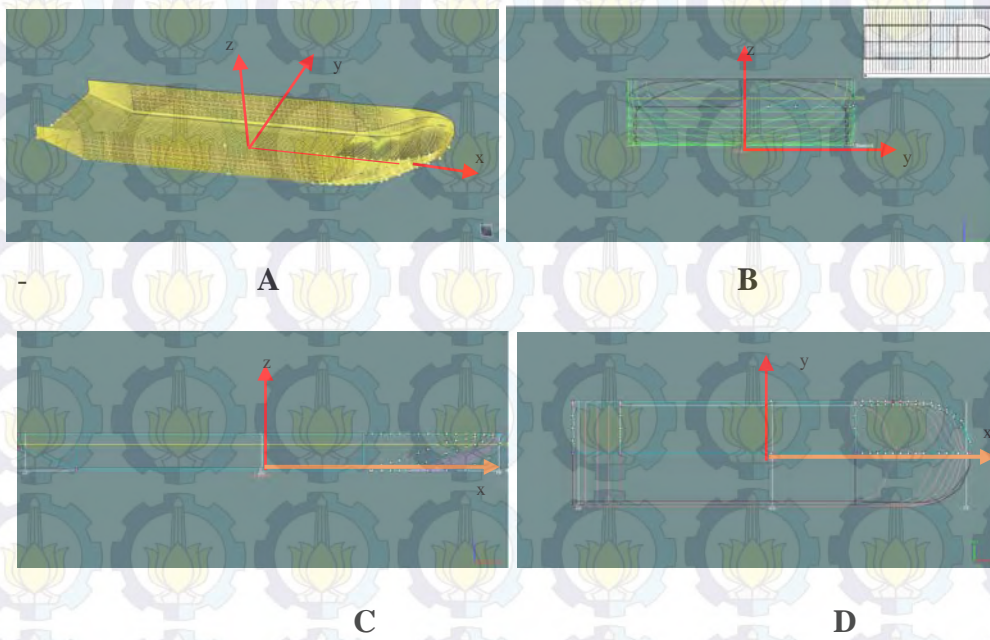
Pemodelan SPCB yang akan dianalisis dalam penelitian ini dilakukan dengan bantuan *software maxsurf* dan Moses. Dalam pemodelan kali ini langkah awal yang dilakukan adalah membuat model yang mengacu pada data *General Arrangement* (GA).

Tabel 4.1 Ukuran Utama SPCB Candiesvega

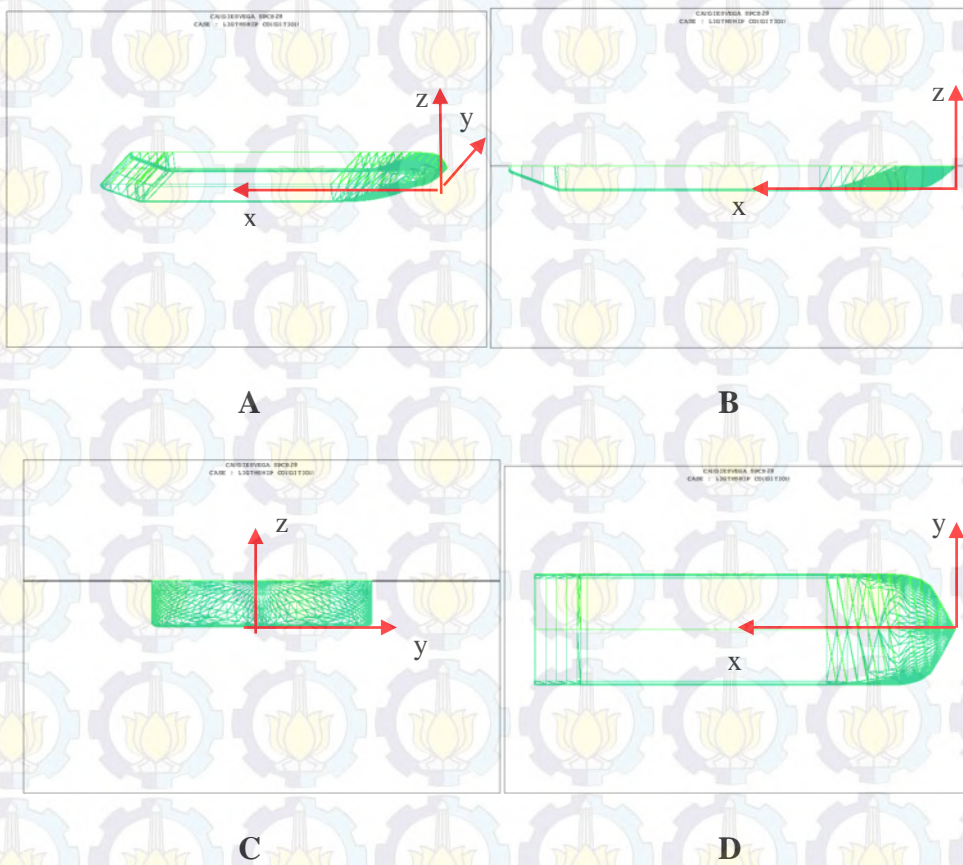
|                    |              | <b>Ballast<br/>condition</b> | <b>Half Load<br/>condition</b> | <b>Full Load<br/>condition</b> |
|--------------------|--------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <b>Designation</b> | <b>Units</b> |                              |                                |                                |
| LOA                | m            | 91.44                        | 91.44                          | 91.44                          |
| LWL                | m            | 87,704                       | 90,137                         | 90,54                          |
| LPP                | m            | 89.31                        | 89.31                          | 89.31                          |
| Breadth, B         | m            | 24                           | 24                             | 24                             |
| Depth, D           | m            | 7                            | 7                              | 7                              |
| Draft, T           | m            | 3.5                          | 4,5                            | 5                              |

Setelah mendapatkan model yang sesuai dengan GA, kemudian melakukan perhitungan hidrostatis yang dibantu oleh *software maxsurf*, kemudian selanjutnya melakukan pemodelan dengan *software Moses* dengan mendeskripsikan titik koordinat *linesplan* yang sudah dirancang, untuk dilakukan analisis lebih lanjut. Berikut ini merupakan pemodelan yang dilakukan pada *software maxsurf* dan *software moses* beserta hasil validasi.





**Gambar 4.1** Model SPCB Maxsurf (A) Tampak isometric (B) Tampak depan/ *body plan*  
 (C) Tampak samping/ *sheer plan* (D) Tampak atas/ *half breath plan*



**Gambar 4.2** Model Panel SPCB Moses



Setelah di dapatkan kedua model maka dilakukan validasi model terhadap hidrostatis dari kapal tersebut dengan membandingkan antara kedua model tidak boleh kurang dari 1%. Berikut ini merupakan hasil dari validasi dengan tiga kondisi *Ballast, half load, full load* :

**Tabel 4.2** Validasi Model SPCB pada Kondisi *Ballast*

|                               | Maxsurf    | Moses   | Koreksi < 1% |
|-------------------------------|------------|---------|--------------|
| <b>Draft m</b>                | <b>3,5</b> | 3,5     | 0,00         |
| Displacement t                | 6545       | 6498,24 | 0,72         |
| Draft at FP m                 | 3,5        | 3,5     | 0,00         |
| Draft at AP m                 | 3,5        | 3,5     | 0,00         |
| Draft at LCF m                | 3,5        | 3,5     | 0,00         |
| WL Length m                   | 87,704     | 87,704  | 0,00         |
| Beam max extents on WL m      | 24         | 24      | 0,00         |
| Wetted Area m <sup>2</sup>    | 2501,453   | 2510,8  | 0,37         |
| Waterpl. Area m <sup>2</sup>  | 2029,645   | 2019    | 0,53         |
| Prismatic coeff. (Cp)         | 0,868      | -       | -            |
| Block coeff. (Cb)             | 0,867      | -       | -            |
| Max Sect. area coeff. (Cm)    | 0,999      | -       | -            |
| Waterpl. area coeff. (Cwp)    | 0,964      | -       | -            |
| LCB from zero pt. (+ve fwd) m | -1,556     | -1,55   | 0,39         |
| LCF from zero pt. (+ve fwd) m | -2,039     | -2,05   | 0,54         |
| KB m                          | 1,823      | 1,82    | 0,16         |
| BMt m                         | 14,872     | 14,88   | 0,05         |
| BML m                         | 190,478    | 188,83  | 0,87         |
| KMt m                         | 16,695     | 16,7    | 0,03         |
| KML m                         | 192,301    | 190,65  | 0,87         |

**Tabel 4.3** Validasi Model SPCB pada Kondisi *half load*

|                               | Maxsurf    | Moses  | Koreksi < 1% |
|-------------------------------|------------|--------|--------------|
| <b>Draft m</b>                | <b>4,5</b> | 4,5    | 0,00         |
| Displacement t                | 8667       | 8612,1 | 0,64         |
| Draft at FP m                 | 4,5        | 4,5    | 0,00         |
| Draft at AP m                 | 4,5        | 4,5    | 0,00         |
| Draft at LCF m                | 4,5        | 4,5    | 0,00         |
| WL Length m                   | 90,137     | 90,137 | 0,00         |
| Beam max extents on WL m      | 24         | 24     | 0,00         |
| Wetted Area m <sup>2</sup>    | 2731,711   | 2764,1 | 1,17         |
| Waterpl. Area m <sup>2</sup>  | 2093,874   | 2087   | 0,33         |
| Prismatic coeff. (Cp)         | 0,869      | -      | -            |
| Block coeff. (Cb)             | 0,869      | -      | -            |
| Max Sect. area coeff. (Cm)    | 0,999      | -      | -            |
| Waterpl. area coeff. (Cwp)    | 0,968      | -      | -            |
| LCB from zero pt. (+ve fwd) m | -1,734     | -1,73  | 0,23         |
| LCF from zero pt. (+ve fwd) m | -2,239     | -2,23  | 0,40         |
| KB m                          | 2,357      | 2,36   | 0,13         |
| BMt m                         | 11,611     | 11,64  | 0,25         |
| BML m                         | 157,803    | 157,16 | 0,41         |
| KMt m                         | 13,968     | 14     | 0,23         |
| KML m                         | 160,16     | 159,52 | 0,40         |



**Tabel 4.4** Validasi Model SPCB Pada Kondisi *full load*

|                               | Maxsurf  | Moses  | Koreksi < 1% |
|-------------------------------|----------|--------|--------------|
| <b>Draft m</b>                | <b>5</b> | 5      | 0,00         |
| Displacement t                | 9755     | 9684,9 | 0,72         |
| Draft at FP m                 | 5        | 5      | 0,00         |
| Draft at AP m                 | 5        | 5      | 0,00         |
| Draft at LCF m                | 5        | 5      | 0,00         |
| WL Length m                   | 90,54    | 90,54  | 0,00         |
| Beam max extents on WL m      | 24       | 24     | 0,00         |
| Wetted Area m <sup>2</sup>    | 2827,436 | 2847   | 0,69         |
| Waterpl. Area m <sup>2</sup>  | 2104,014 | 2099   | 0,24         |
| Prismatic coeff. (Cp)         | 0,876    | -      | -            |
| Block coeff. (Cb)             | 0,876    | -      | -            |
| Max Sect. area coeff. (Cm)    | 0,999    | -      | -            |
| Waterpl. area coeff. (Cwp)    | 0,969    | -      | -            |
| LCB from zero pt. (+ve fwd) m | -1,777   | -1,78  | 0,17         |
| LCF from zero pt. (+ve fwd) m | -2,029   | -2,03  | 0,05         |
| KB m                          | 2,621    | 2,63   | 0,34         |
| BMt m                         | 10,382   | 10,41  | 0,27         |
| BML m                         | 142,407  | 142,21 | 0,14         |
| KMt m                         | 13,003   | 13,04  | 0,28         |
| KML m                         | 145,028  | 144,83 | 0,14         |

#### 4.2 SKENARIO ANALISIS KRAKTERISTIK GERAKAN SPCB

Sebelumnya terlebih dahulu dijelaskan skenario analisis yang terdiri dari skenario muatan dan pembebanan yang akan dikenakan pada SPCB.

Skenario muatan *Self Propelled Coal Barge* (SPCB) :

- a. SPCB kondisi muatan ballast
- b. SPCB kondisi muatan setengah
- c. SPCB kondisi muatan penuh

Variasi tersebut sangat berpengaruh pada titik berat dari kapal pada tiap-tiap kondisi muatan. Harga *center of gravity* ini yang akan berhubungan langsung dengan nilai radius girasi yang digunakan untuk menghitung inersia kapal, mengacu pada persamaan inersia yang merupakan hasil kali antara massa kapal dengan kuadrat dari radius girasi.



#### 4.2.1 Perhitungan *Center of Gravity* SPCB

Meninjau pemodelan SPCB pada maxsurf dan MOSES yang hanya dimodelkan bagian lambung kapal saja, maka *center of gravity* dari lambung SPCB tersebut perlu dikoreksi dengan menambahkan *point mass* dari bangunan atas, tanki muatan dan jumlah muatan yang mengisi tanki tersebut berdasarkan lokasi yang sesuai dengan *General Arrangement*. Berdasarkan perhitungan tersebut akan didapatkan *center of gravity* baru sesuai dengan skenario kondisi muatan yang akan dianalisis. Penambahan *point mass* ini juga akan berdampak pada sarat SPCB yang akan semakin bertambah seiring dengan penambahan massa baru pada SPCB.

**Tabel 4.5** Titik Berat SPCB pada Kondisi *Full Load*

| SPCB kondisi muatan 100% (T = 5 meter) |                       |                 |
|--|-----------------------|-----------------|
| <i>Center of Gravity</i>               |                       |                 |
| COG X (meter)                          | COG Y (meter)         | COG Z (meter)   |
| 45,909 dari Fp                         | 0,00 dari Center line | 8,126 dari keel |

**Tabel 4.6** Titik Berat SPCB pada Kondisi *Half Load*

| SPCB kondisi muatan 50% (T = 4,5 meter) |                       |                 |
|---|-----------------------|-----------------|
| <i>Center of Gravity</i>                |                       |                 |
| COG X (meter)                           | COG Y (meter)         | COG Z (meter)   |
| 45,123 dari Fp                          | 0,00 dari center line | 5,717 dari keel |

**Tabel 4.7** Titik Berat SPCB pada Kondisi *Ballast*

| SPCB kondisi muatan Ballast (T = 3,5 meter) |                       |                 |
|---|-----------------------|-----------------|
| <i>Center of Gravity</i>                    |                       |                 |
| COG X (meter)                               | COG Y (meter)         | COG Z (meter)   |
| 44,013 dari Fp                              | 0,00 dari center line | 3,649 dari keel |



#### 4.2.2 Perhitungan Radius Girasi SPCB

Perhitungan radius girasi SPCB didasarkan pada persamaan yang diajukan oleh Bhattacharyya (1978) dimana radius girasi dari gerak rotasi struktur merupakan hasil akar dari jumlah massa dikalikan masing-masing jarak massa tersebut dari *center of gravity* struktur.

- Radius girasi *Roll*

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

- Radius girasi *Pitch*

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

- Radius girasi *yaw*

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

Menurut Bhattacharyya (1978) perhitungan ini dilakukan dengan membagi kapal dalam bentuk pias-pias kecil kemudian dihitung dengan perkalian simpson. Namun sejak bentuk kapal yang akan dianalisis berbentuk tidak homogen sehingga akan relatif susah menentukan titik *point mass* dari sebuah volume benda tak beraturan, maka dalam penelitian ini perhitungan radius girasi dilakukan dengan pendekatan standard Bureau Veritas, yaitu sebagai berikut :

- Radius girasi *Roll*

$$k_{xx} = 0,289 * B * \left( 1,0 + \left( \frac{2 \overline{KG}}{B} \right)^2 \right)$$

- Radius girasi *Pitch* = radius girasi *yaw*

$$k_{yy} = k_{zz} = \sqrt{\frac{1}{12}} L$$

dengan,

B = lebar kapal (meter)

$\overline{KG}$  = jarak *keel to gravity* (meter)

L = *Length of Water Line* (meter)



Berikut ini hasil dari perhitungan *center of gravity* dan radius girasi kapal dalam beberapa kondisi :

**Tabel 4.8** Radius Girasi SPCB pada *Full Load*

| SPCB kondisi muatan 100% (T = 5 meter) |                         |                         |
|--|-------------------------|-------------------------|
| Radius Girasi                          |                         |                         |
| k <sub>xx</sub> (meter)                | k <sub>yy</sub> (meter) | k <sub>zz</sub> (meter) |
| 10,151                                 | 26,137                  | 26,137                  |

**Tabel 4.9** Radius Girasi SPCB Pada *Half Load*

| SPCB kondisi muatan 50% (T = 4,5 meter) |                         |                         |
|---|-------------------------|-------------------------|
| Radius Girasi                           |                         |                         |
| k <sub>xx</sub> (meter)                 | k <sub>yy</sub> (meter) | k <sub>zz</sub> (meter) |
| 8,540                                   | 26,020                  | 26,020                  |

**Tabel 4.10** Radius Girasi SPCB Pada *Ballast*

| SPCB kondisi muatan Ballast (T = 3,5 meter) |                         |                         |
|---|-------------------------|-------------------------|
| Radius Girasi                               |                         |                         |
| k <sub>xx</sub> (meter)                     | k <sub>yy</sub> (meter) | k <sub>zz</sub> (meter) |
| 7,603                                       | 25,318                  | 25,318                  |

### 4.2.3 Skenario Arah Pembebanan

Skenario pembebanan yang dilakukan dalam penelitian ini, khususnya untuk beban gelombang adalah sebagai berikut :

- a. Beban gelombang arah buritan (0°)
- b. Beban gelombang arah sisi (90°)
- c. Beban gelombang arah perempat haluan (135°)
- d. Beban gelombang arah haluan (180°)



#### 4.2.4 Skenario Kecepatan SPCB

Skenario Kecepatan yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut :

- a. Kecepatan SPCB 0 knot (Stasioner)
- b. Kecepatan SPCB 3 knot (harbouring)
- c. Kecepatan SPCB 5 knot (Surveillance)
- d. Kecepatan SPCB 7 knot (kecepatan maximum)

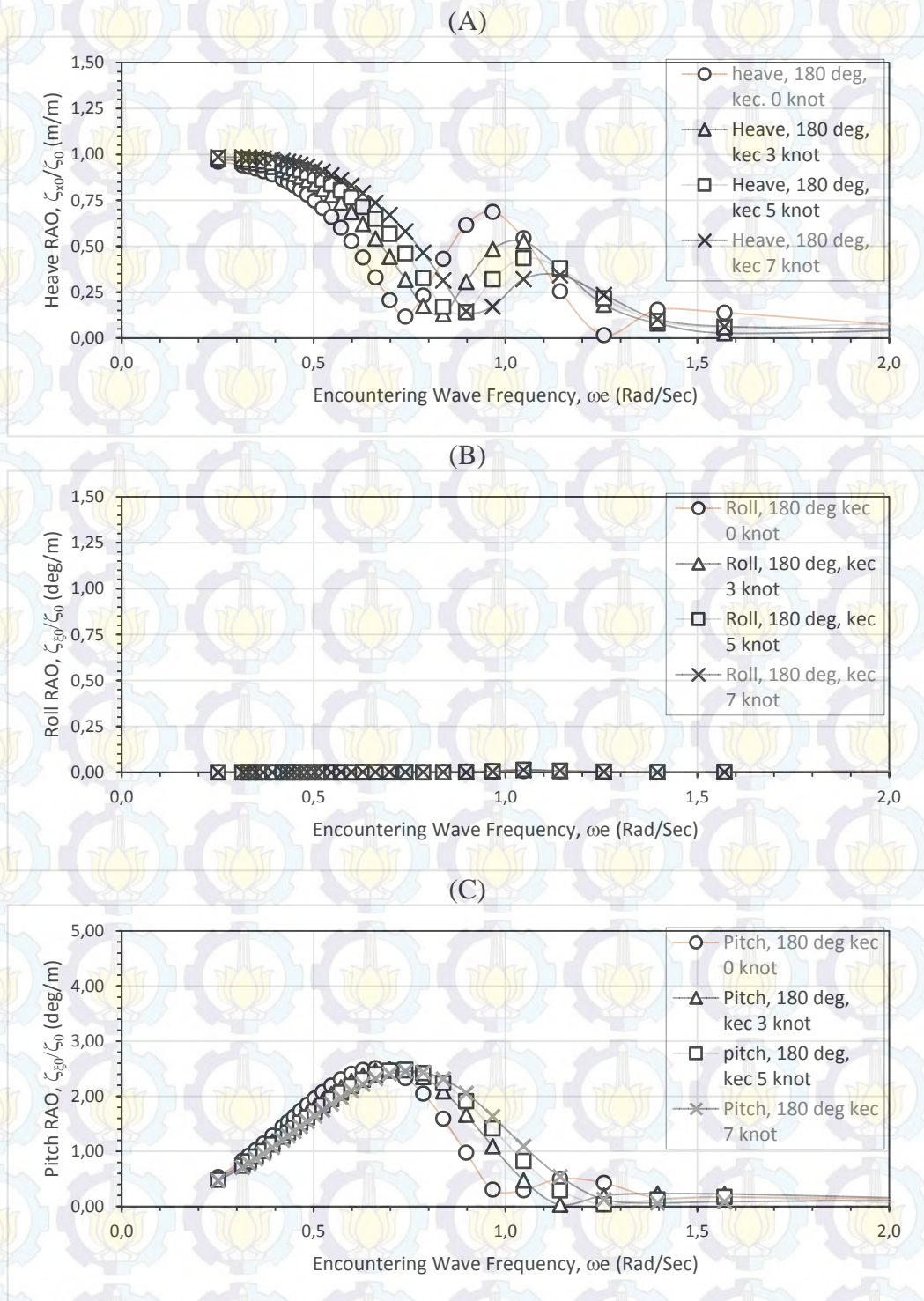
### 4.3 ANALISIS KARAKTERISTIK GERAK SPCB PADA GELOMBANG REGULER

#### 4.3.1 Analisis Karakteristik Gerak SPCB Kondisi Mengapung Bebas dan Melaju

Karakteristik gerakan kapal pada saat kondisi stasioner atau kecepatan nol dan kondisi melaju, dengan penekanan pada perubahan intensitas gerakan akibat perubahan arah propagasi beban eksitasi gelombang reguler. Pada pembahasan kali ini akan diarahkan pada peninjauan pengaruh kecepatan melaju terhadap perubahan intensitas gerakan pada arah propagasi beban eksitasi gelombang  $0^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $135^{\circ}$ ,  $180^{\circ}$ , pada kondisi *ballast*, *half load*, *full load*. Karakteristik gerakan SPCB akan ditampilkan dengan grafik RAO dengan 3 gerakan yakni *Heave*, *Roll*, *Pitch* dengan sumbu x merupakan frekuensi gelombang insiden dan untuk sumbu y merupakan nilai RAO.



**A. Karakteristik gerak SPCB akibat gelombang Haluan (180°) Kondisi Ballast**



**Gambar 4.3** RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang Haluan 180° kondisi ballast



Untuk karakteristik gerakan kapal pada kondisi kecepatan yang divariasikan akibat gelombang haluan terlihat intensitas gerakan *Heave* naik bersamaan dengan bertambahnya kecepatan kapal, sedangkan untuk gerakan *Roll* akibat gelombang haluan relatif kecil sehingga tidak terlihat intensitas gerakan akibat bertambahnya kecepatan kapal. Untuk gerakan *Pitch* akibat gelombang haluan terlihat intensitas gerakannya lebih rendah bersamaan dengan bertambahnya kecepatan kapal yang terjadi sebelum mencapai frekuensi resonansinya.

Untuk gerakan *Heave* terlihat pada gambar 4.3A pada frekuensi gelombang insiden rendah, nilai dari gerakan sekitar satu (unity), artinya gerakan mengalun mengikuti osilasi gelombang sedangkan pada daerah super-kritis bergerak secara *platforming*, hal ini juga berlaku untuk gerakan *Pitch*.

Kurva gerakan *Heave* dengan kondisi kapal stasioner mencapai harga 0,961 m/m pada frekuensi gelombang atau frekuensi resonansi 0,251 rad/sec kemudian grafik gerakan *Heave* menurun tajam hingga pada frekuensi gelombang 0,739 rad/sec kemudian gerakan *Heave* perlahan naik hingga mencapai harga 0,687 m/m pada frekuensi resonansi kedua 0,9666 rad/sec, hal ini terjadi karena gerakan kopel dengan *Pitch*. Kemudian pada frekuensi gelombang tinggi gerakan *Heave* perlahan turun namun juga ada kenaikan sedikit pada frekuensi gelombang 1,396 rad/sec dan kemudian turun hingga pada frekuensi gelombang tertinggi.

Kurva gerakan *Heave* dengan kondisi kapal melaju dengan kecepatan 3 knot mencapai harga 0,973 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansinya 0,251 rad/sec, hal ini sangat penting diperhatikan menandakan pada saat kecepatan kapal bertambah maka intensitas gerakan *Heave* naik, kemudian gerakannya menurun tajam hingga pada frekuensi gelombang insiden 0,8378 rad/sec dan selanjutnya gerakan *Heave* perlahan naik hingga mencapai harga 0,526 m/m pada frekuensi resonansi kedua 1,0472 rad/sec, hal ini terjadi karena gerakan kopel dengan *Pitch*. Kemudian pada frekuensi gelombang insiden tinggi gerakan *Heave* perlahan turun. Terlihat gerakan *Heave* pada frekuensi gelombang insiden tinggi, pada saat kecepatan kapal bertambah semakin menurun intensitas gerakannya.



Untuk gerakan *Heave* dengan kecepatan kapal 5 knot juga akan bertambah intensitas gerakannya yakni 0,98 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansinya 0,251 rad/sec, begitu juga dari kecepatan kapal 5 knot menuju kecepatan kapal 7 knot akan menambah intensitas gerakan hingga mencapai 0,986 m/m pada frekuensi resonansi 0,251 rad/sec, namun untuk daerah frekuensi gelombang insiden tinggi atau periode gelombang insiden rendah dengan bertambahnya kecepatan kapal maka intensitas gerakan menurun, jadi untuk kondisi terapung bebas pada kondisi platforming akan mengalami gerakan lebih tinggi dari pada kondisi kapal melaju.

Melihat pada gerakan *Pitch* pada gambar 4.3C, terlihat pada gerakan *Pitch* dengan kecepatan kapal 7 knot memiliki nilai gerakan *Pitch* sebesar 2,455 deg/m terjadi pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansinya 0,739 rad/sec, kemudian pada daerah super-kritis gerakan *Pitch* akan menurun bersamaan dengan frekuensi gelombang insiden yang semakin besar.

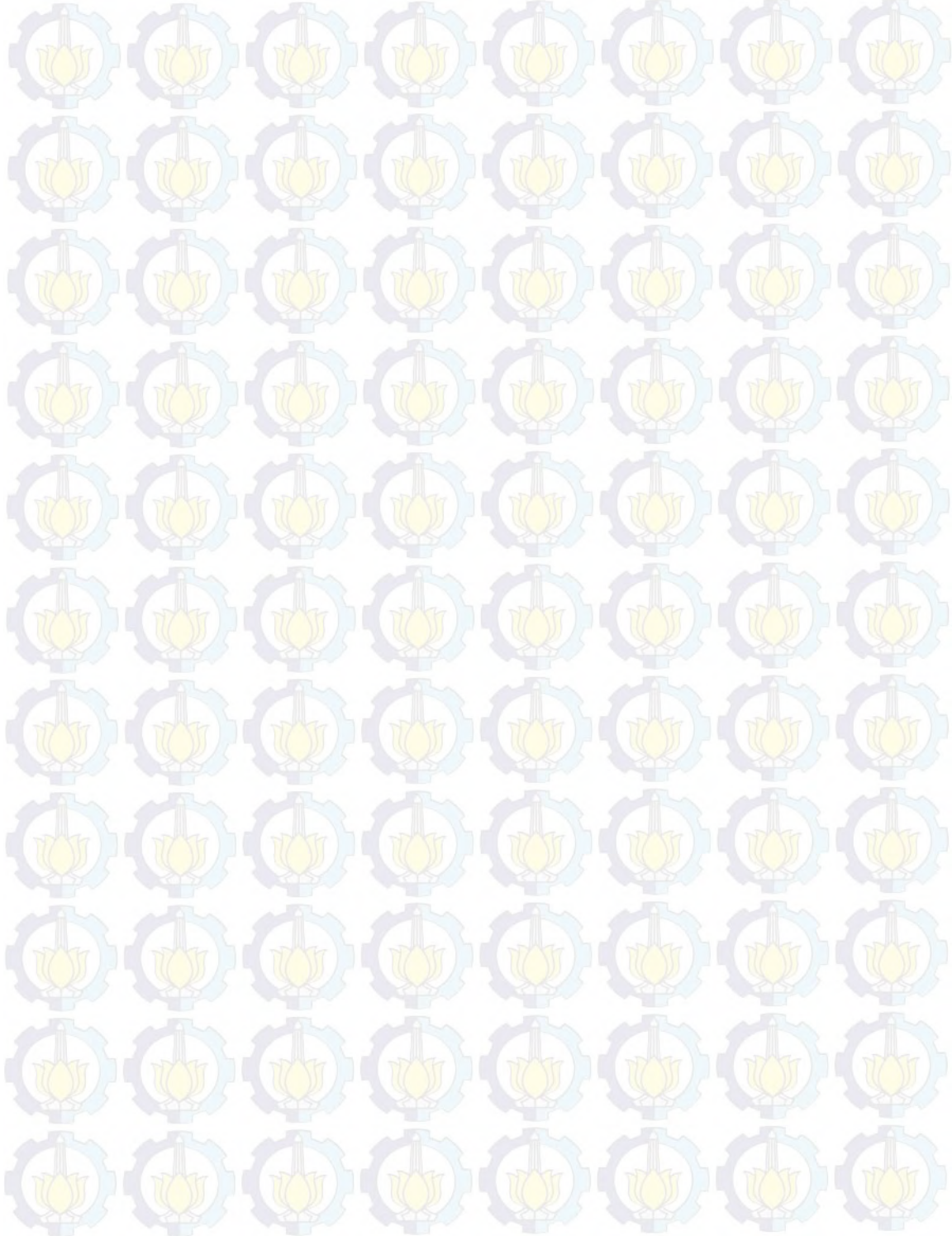
Sedangkan gerakan *Pitch* untuk kecepatan 5 knot akan lebih tinggi 2,48 deg/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansinya 0,785 rad/sec, yang juga akan memiliki gerakan yang sama yakni grafik terlihat menurun hingga pada frekuensi gelombang insiden tertinggi,

Kemudian pada kecepatan 3 knot harga gerakan *Pitch* lebih tinggi 2,5 deg/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansinya 0,698 rad/sec, kemudian dengan bertambahnya frekuensi gelombang insiden maka gerakan akan menurun hingga pada frekuensi gelombang insiden tertinggi.

Untuk gerakan pada kondisi stasioner akan lebih tinggi 2,51 deg/m terjadi pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansinya 0,661 rad/sec. Setelah itu untuk keseluruhan gerakan *Pitch* akan menurun setelah frekuensi resonansinya hingga pada frekuensi gelombang insiden yang tinggi, namun gerakan *Pitch* memiliki intensitas gerakannya yang semakin tinggi dengan bertambahnya kecepatan kapal yang terlihat saat setelah frekuensi resonansinya pada daerah frekuensi gelombang insiden tinggi.

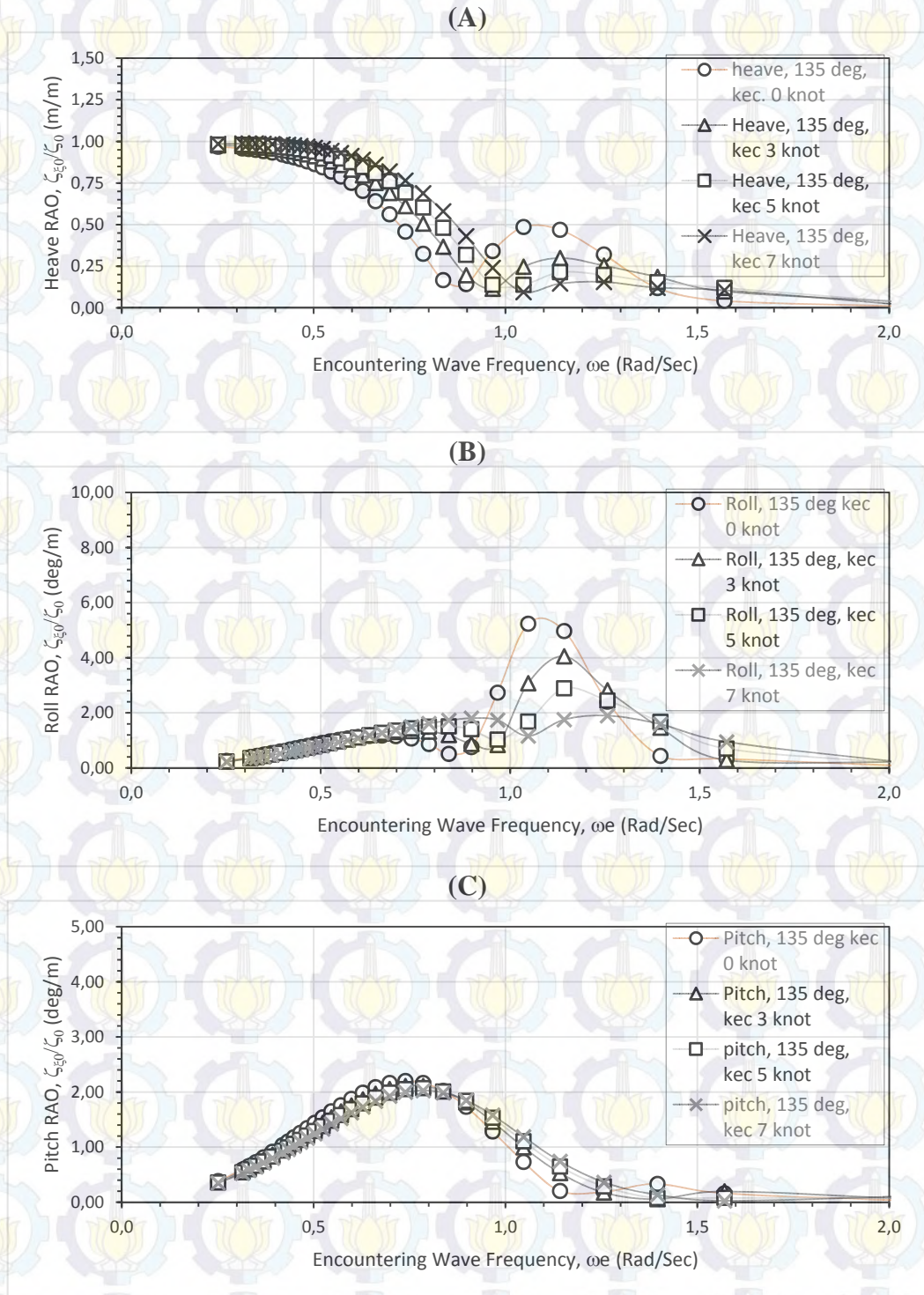


Untuk gerakan *Roll* pada gambar4.3B akibat gelombang haluan relatif sangat rendah sehingga tidak terlihat kenaikan atau menurunnya gerakan *Roll* akibat bertambahnya kecepatan kapal, Karena gerakan *Roll* umumnya dominan terjadi akibat propagasi gelombang sisi ( $90^\circ$ )





**B. Karakteristik gerak SPCB akibat Gelombang Perempat haluan (135°)  
Kondisi Ballast**



**Gambar 4.4** RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang Perempat Haluan 135° kondisi ballast



Untuk karakteristik gerakan kapal pada kondisi kecepatan yang divariasikan akibat gelombang perempat haluan untuk gerakan *Heave* lebih tinggi jika dibandingkan dengan gerakan *Heave* akibat gelombang haluan, namun untuk gerakan *Pitch* lebih rendah jika dibandingkan dengan gerakan *Pitch* akibat gelombang haluan, untuk gerakan *Roll* akan lebih terlihat akibat gelombang perempat haluan. Terlihat intensitas gerakan *Heave* naik bersamaan dengan bertambahnya kecepatan, sedangkan untuk gerakan *Roll* juga semakin meningkat akibat perubahan kecepatan yang semakin bertambah. Untuk gerakan *Pitch* akibat gelombang haluan terlihat intensitas gerakannya lebih rendah bersamaan dengan bertambahnya kecepatan pada daerah frekuensi gelombang insiden rendah.

Untuk gerakan *Heave* terlihat pada gambar 4.4A pada frekuensi gelombang insiden rendah nilai dari gerakan sekitar satu (unity), artinya gerakan mengalun mengikuti osilasi gelombang, sedangkan pada daerah super-kritis bergerak secara *platforming*, hal ini juga berlaku untuk gerakan *Pitch*.

Kurva gerakan *Heave* dengan kondisi stasioner mencapai harga 0,968 m/m pada frekuensi gelombang atau frekuensi resonansi 0,251 rad/sec kemudian grafik menurun tajam hingga pada frekuensi gelombang 0,8976 rad/sec kemudian gerakan perlahan naik hingga mencapai harga 0,486 m/m pada frekuensi resonansi kedua 1,047 rad/sec, hal ini terjadi karena gerakan kopel dengan *Pitch*. Kemudian pada frekuensi gelombang tinggi gerakan perlahan turun.

Kurva gerakan *Heave* dengan kondisi kecepatan kapal 3 knot mencapai harga 0,976 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansinya 0,251 rad/sec, hal ini sangat penting diperhatikan menandakan pada saat kecepatan bertambah maka intensitas gerakan naik, kemudian gerakannya menurun tajam hingga pada frekuensi 0,966 rad/sec kemudian gerakan perlahan naik hingga mencapai harga 0,3 m/m pada frekuensi resonansi kedua 1,142 rad/sec, hal ini terjadi karena gerakan kopel dengan *Pitch*. Kemudian pada frekuensi gelombang insiden tinggi gerakan perlahan turun. Terlihat gerakan pada frekuensi gelombang insiden tinggi pada saat kecepatan kapal bertambah maka semakin menurun intensitas gerakannya.



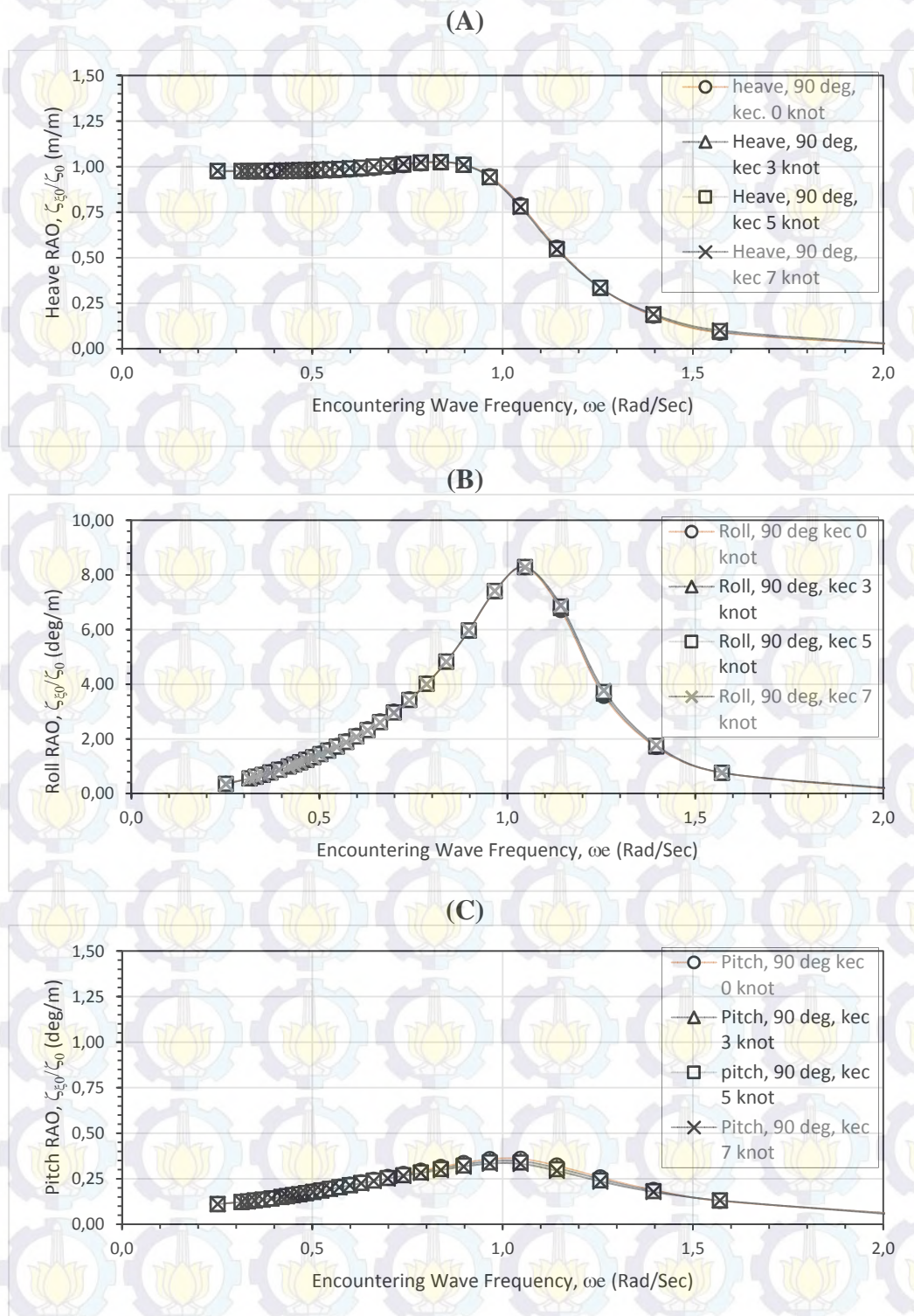
Untuk gerakan *Heave* dengan kecepatan kapal 5 knot juga akan bertambah intensitas gerakannya yakni 0,981 m/m pada frekuensi resonansinya 0,251 rad/sec, begitu juga dari kecepatan kapal 5 knot menuju kecepatan kapal 7 knot akan menambah intensitas gerakan hingga mencapai 0,987 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,251 rad/sec, namun untuk daerah frekuensi tinggi atau periode rendah dengan bertambahnya kecepatan kapal maka intensitas gerakan menurun jadi untuk kondisi terapung bebas pada kondisi platforming akan mengalami gerakan lebih tinggi dari pada kondisi kapal melaju.

Melihat pada gerakan *Pitch* pada gambar 4.4C, terlihat pada gerakan *Pitch* dengan kecepatan kapal 7 knot memiliki nilai gerakan sebesar 2,026 deg/m terjadi pada frekuensi gelombang insiden frekuensi resonansi 0,785 rad/sec, sedangkan gerakan *Pitch* untuk kecepatan 5 knot akan lebih tinggi 2,069 deg/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,785 rad/sec, kemudian pada kecepatan 3 knot harga gerakan *Pitch* lebih tinggi 2,109 deg/m pada frekuensi resonansi 0,7392 rad/sec, untuk gerakan *Pitch* pada kondisi stasioner akan lebih tinggi 2,2 deg/m terjadi pada frekuensi resonansi 0,7392 rad/sec, namun gerakan *Pitch* memiliki intensitas gerakan yang semakin tinggi dengan bertambahnya kecepatan yang terlihat saat setelah frekuensi resonansinya.

Untuk gerakan *Roll* pada gambar 4.4B akibat gelombang perempat haluan pada gerakan *Roll* dengan kecepatan kapal 7 knot memiliki nilai gerakan sebesar 1,899 deg/m terjadi pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 1,256 rad/sec kemudian gerakan akan menurun dengan semakin bertambah tinggi frekuensi gelombang insiden, sedangkan gerakan *Roll* untuk kecepatan 5 knot akan lebih tinggi 2,888 deg/m pada frekuensi resonansi 1,142 rad/sec, kemudian pada kecepatan 3 knot harga gerakan *Roll* lebih tinggi 4,051 deg/m pada frekuensi resonansi 1,1424 rad/sec, untuk gerakan pada kondisi stasioner akan lebih tinggi 5,233 deg/m terjadi pada frekuensi resonansi 1,0472 rad/sec. Terlihat bahwa pada gelombang perempat haluan lebih mengakibatkan gerakan *Roll* jika dibanding dengan akibat gelombang haluan.



### C. Karakteristik gerak SPCB akibat Gelombang sisi (90°) Kondisi Ballast



Gambar 4.5 RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang sisi 90° kondisi ballast



Untuk karakteristik gerakan kapal pada kondisi kecepatan yang divariasikan akibat gelombang sisi untuk gerakan *Heave* lebih tinggi jika dibandingkan dengan gerakan *Heave* akibat gelombang perempat haluan, namun untuk gerakan *Pitch* lebih rendah jika dibandingkan dengan gerakan *Pitch* akibat gelombang perempat haluan, untuk gerakan *Roll* akan lebih terlihat dominan terjadi akibat gelombang sisi. Terlihat intensitas gerakan *Heave*, *Roll*, *Pitch* tetap bersamaan dengan bertambahnya kecepatan,. Untuk gerakan *Pitch* akibat gelombang haluan terlihat intensitas gerakannya lebih rendah bersamaan dengan bertambahnya kecepatan sebelum mencapai frekuensi resonansi atau pada daerah dengan frekuensi gelombang haluan rendah.

Untuk gerakan *Heave* terlihat pada gambar 4.5A pada frekuensi gelombang insiden rendah nilai dari gerakan sekitar satu (unity), artinya gerakan mengalun mengikuti osilasi gelombang sedangkan pada daerah super-kritis bergerak secara *platforming*, hal ini juga berlaku untuk gerakan *Pitch*.

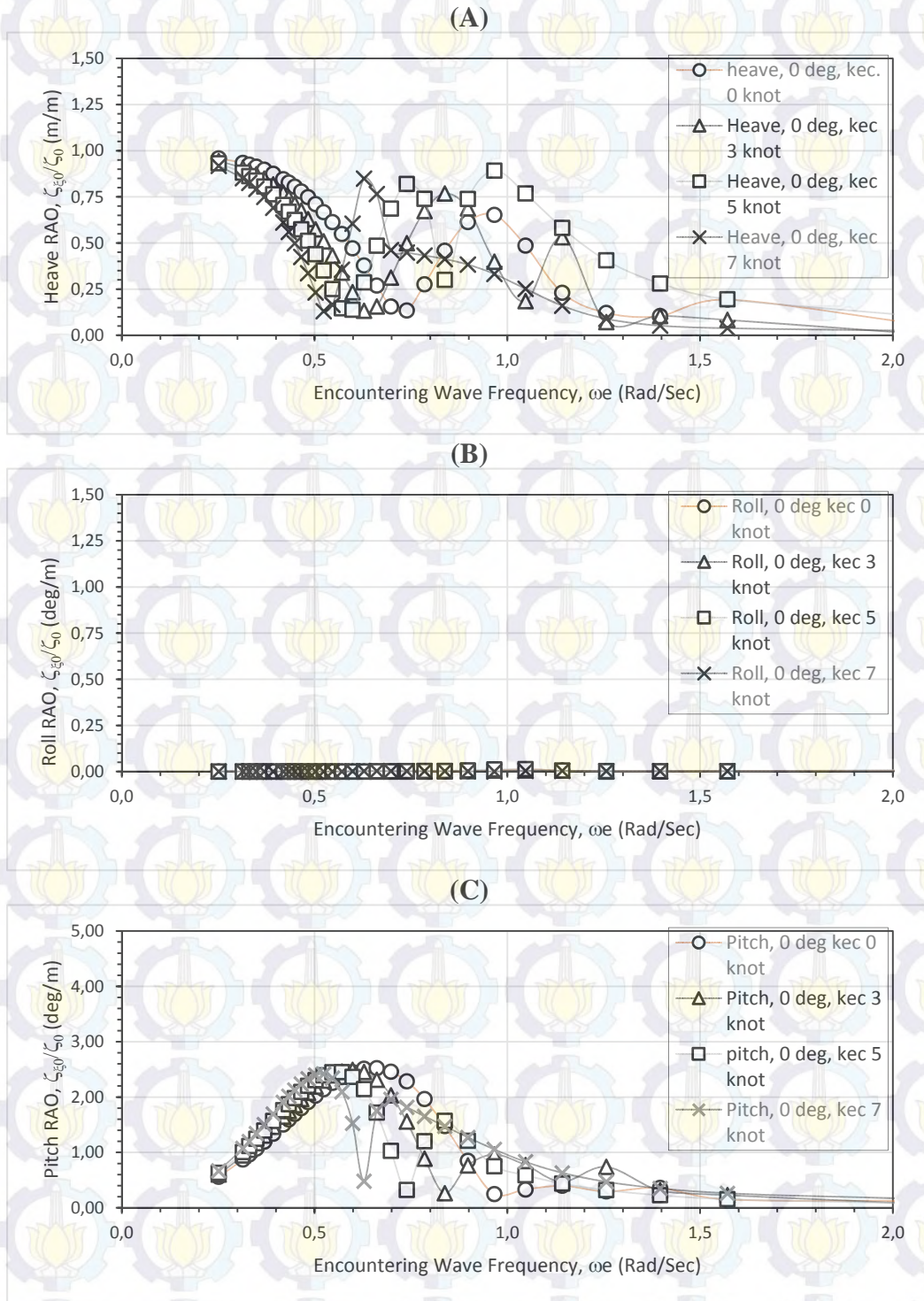
Kurva gerakan *Heave* dengan kondisi stasioner mencapai harga 1,023m/m pada frekuensi gelombang atau frekuensi resonansi 0,8378 rad/sec kemudian menurun tajam hingga pada frekuensi tinggi. Untuk gerakan *Heave* mengalami gerakan semakin tinggi akibat bertambahnya kecepatan mulai dari 0 knot, 3 knot, 5 knot, 7 knot.

Melihat pada gerakan *Pitch* pada gambar 4.5C, terlihat pada gerakan *Pitch* relatif sangat kecil terjadi akibat gelombang sisi, lebih dominan terjadi gerakan *Roll* pada gelombang sisi.

Untuk gerakan *Roll* pada gambar 4.5B akibat gelombang sisi dengan kecepatan 7 knot memiliki nilai gerakan sebesar 8,287 deg/m terjadi pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansinya 1,0472 rad/sec, sedangkan gerakan *Roll* untuk naiknya kecepatan dari stasioner, 0 knot, 3 knot, 5 knot, 7 knot mengalami perubahan penurunan nilai gerakan sama dengan gerakan *Roll*. Dan gerakan *Roll* akibat gelombang sisi lebih tinggi dibandingkan gerakan *Roll* akibat gelombang 180°, 135°.



**D. Karakteristik gerak SPCB akibat Gelombang buritan (0°) Kondisi Ballast**



**Gambar 4.6** RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang buritan 0° kondisi ballast



Untuk karakteristik gerakan kapal pada kondisi kecepatan yang divariasikan akibat gelombang buritan terlihat intensitas gerakan *Heave* menurun bersamaan dengan bertambahnya kecepatan, sedangkan untuk gerakan *Roll* akibat gelombang buritan relatif kecil sehingga tidak terlihat intensitas gerakan akibat bertambahnya kecepatan. Untuk gerakan *Pitch* akibat gelombang haluan terlihat intensitas gerakannya lebih tinggi bersamaan dengan bertambahnya kecepatan yang terjadi sebelum mencapai frekuensi resonansi atau pada frekuensi gelombang insiden rendah.

Untuk gerakan *Heave* terlihat pada gambar 4.6A pada frekuensi gelombang insiden rendah nilai dari gerakan sekitar satu (unity), artinya gerakan mengalun mengikuti osilasi gelombang sedangkan pada daerah super-kritis bergerak secara *platforming*, hal ini juga berlaku untuk gerakan *Pitch*.

Kurva gerakan *Heave* dengan kondisi stasioner mencapai harga 0,959 m/m pada frekuensi gelombang atau frekuensi resonansi 0,251 rad/sec kemudian menurun tajam hingga pada frekuensi 0,739 rad/sec kemudian gerakan perlahan naik hingga mencapai harga 0,652 m/m pada frekuensi resonansi kedua 0,9666 rad/sec, hal ini terjadi karena gerakan kopel dengan *Pitch*. Kemudian pada frekuensi gelombang tinggi gerakan *Pitch* perlahan turun namun juga ada kenaikan sedikit pada frekuensi gelombang 1,5708 rad/sec dan kemudian turun secara perlahan hingga pada frekuensi gelombang tertinggi.

Kurva gerakan *Heave* dengan kondisi kecepatan kapal 3 knot mencapai harga 0,944 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,251 rad/sec, kemudian gerakannya menurun tajam hingga pada frekuensi gelombang insiden 0,6283 rad/sec kemudian gerakan perlahan naik hingga mencapai harga 0,768 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi kedua 0,8378 rad/sec, hal ini terjadi karena gerakan kopel dengan *Pitch*. Kemudian pada frekuensi gelombang insiden tinggi maka gerakan perlahan turun. Terlihat gerakan pada frekuensi gelombang insiden tinggi pada saat kecepatan kapal bertambah semakin menurun intensitas gerakannya atau semakin stabil.



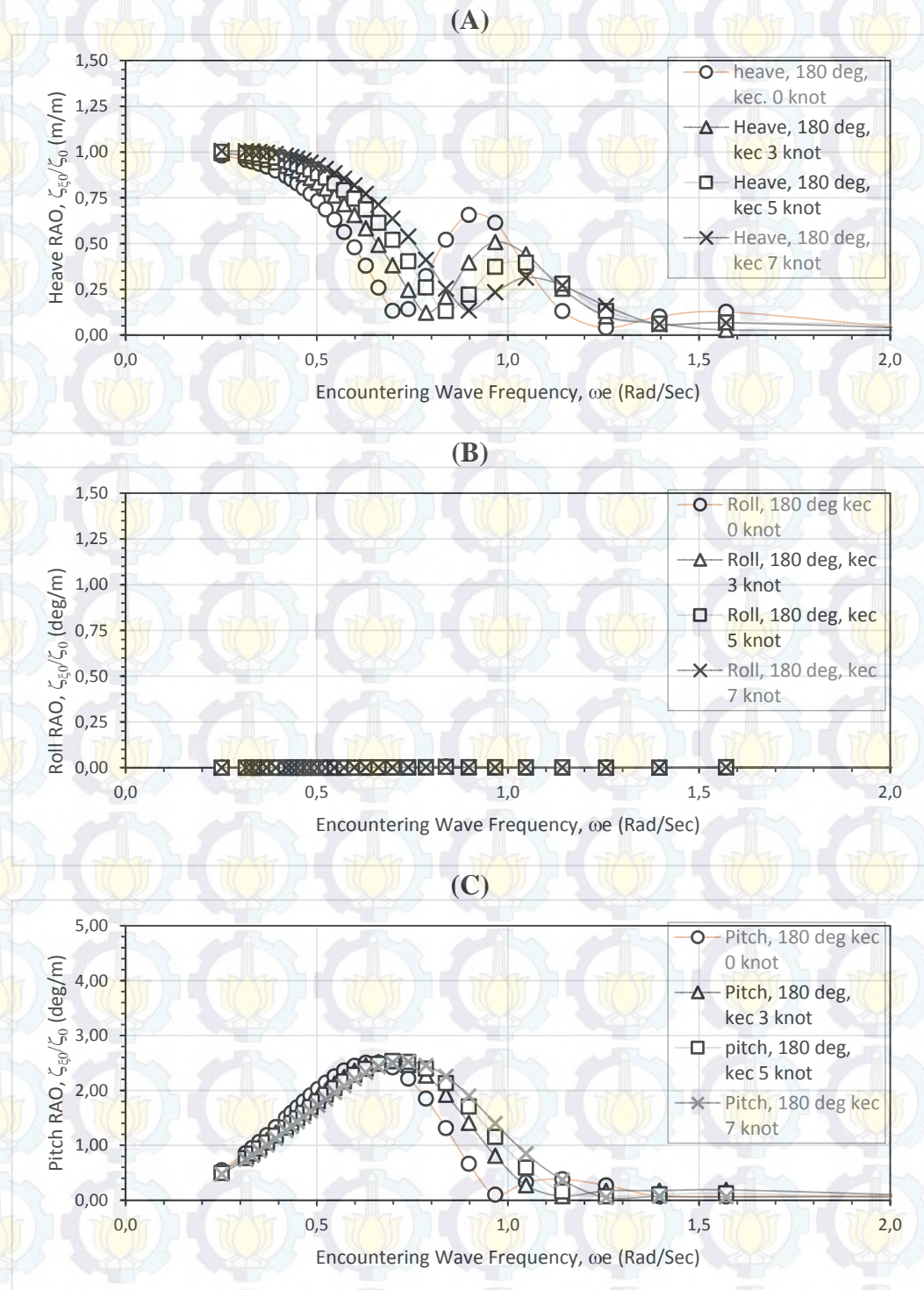
Untuk gerakan *Heave* dengan kecepatan 5 knot yakni 0,932 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansinya 0,251 rad/sec, begitu juga dari kecepatan 5 knot menuju kecepatan 7 knot intensitas gerakan akan lebih rendah, hingga mencapai 0,918 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansinya 0,251 rad/sec, namun untuk daerah frekuensi gelombang insiden tinggi atau periode gelombang insiden rendah, dengan bertambahnya kecepatan kapal maka intensitas gerakan menurun, jadi untuk kondisi terapung bebas pada kondisi platforming akan mengalami gerakan *Heave* lebih tinggi dari pada kondisi kapal melaju.

Melihat pada gerakan *Pitch* pada gambar 4.6C, terlihat pada gerakan *Pitch* dengan kecepatan 7 knot memiliki nilai gerakan sebesar 2,418 deg/m terjadi pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,5236 rad/sec, sedangkan gerakan *Pitch* untuk kecepatan 5 knot akan lebih tinggi 2,45 deg/m pada frekuensi gelombang insiden resonansi 0,5712 rad/sec, kemudian pada kecepatan 3 knot harga gerakan *Pitch* lebih tinggi 2,5 deg/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,698 rad/sec, untuk gerakan pada kondisi stasioner akan lebih tinggi 2,523 deg/m terjadi pada frekuensi gelombang atau frekuensi resonansi 0,661 rad/sec.

Untuk gerakan *Roll* pada gambar 4.6B akibat gelombang buritan relatif sangat rendah sehingga tidak terlihat kenaikan atau menurunnya gerakan *Roll* akibat bertambahnya kecepatan kapal.



**E. Karakteristik gerak SPCB akibat gelombang Haluan (180°) Kondisi Muatan 50%**



**Gambar 4.7** RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang haluan 180° kondisi muatan 50%



Untuk karakteristik gerakan kapal pada kondisi kecepatan yang divariasikan akibat gelombang haluan terlihat intensitas gerakan *Heave* naik bersamaan dengan bertambahnya kecepatan, sedangkan untuk gerakan *Roll* akibat gelombang haluan relatif kecil sehingga tidak terlihat intensitas gerakan akibat bertambahnya kecepatan. Untuk gerakan *Pitch* akibat gelombang haluan terlihat intensitas gerakannya lebih rendah bersamaan dengan bertambahnya kecepatan yang terjadi sebelum mencapai frekuensi resonansi.

Untuk gerakan *Heave* terlihat pada gambar 4.7A pada frekuensi gelombang insiden rendah nilai dari gerakan sekitar satu (unity), artinya gerakan mengalun mengikuti osilasi gelombang sedangkan pada daerah super-kritis bergerak secara *platforming*, hal ini juga berlaku untuk gerakan *Pitch*.

Kurva gerakan *Heave* dengan kondisi stasioner mencapai harga 0,981 m/m pada frekuensi gelombang atau frekuensi resonansi 0,251 rad/sec kemudian menurun tajam hingga pada frekuensi gelombang 0,6981 rad/sec kemudian gerakan perlahan naik hingga mencapai harga 0,657 m/m pada frekuensi resonansi kedua 0,8976 rad/sec, hal ini terjadi karena gerakan kopel dengan *Pitch*. Kemudian pada frekuensi gelombang tinggi gerakan perlahan turun namun juga ada kenaikan sedikit pada frekuensi gelombang 1,5708 rad/sec dan kemudian turun.

Kurva gerakan *Heave* dengan kondisi kecepatan kapal 3 knot mencapai harga 0,994 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,251 rad/sec, hal ini sangat penting diperhatikan menandakan pada saat kecepatan bertambah maka intensitas gerakan naik, kemudian gerakannya menurun tajam hingga pada frekuensi gelombang insiden 0,7854 rad/sec kemudian gerakan perlahan naik hingga mencapai harga 0,441 m/m pada frekuensi resonansi kedua 1,0472 rad/sec, hal ini terjadi karena gerakan kopel dengan *Pitch*. Kemudian pada frekuensi gelombang insiden tinggi gerakan perlahan turun. Terlihat gerakan pada frekuensi gelombang insiden tinggi pada saat kecepatan kapal bertambah semakin menurun intensitas gerakannya.

Untuk gerakan *Heave* dengan kecepatan kapal 5 knot juga akan bertambah intensitas gerakannya yakni 1,001 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau



frekuensi resonansinya 0,251 rad/sec, begitu juga dari kecepatan kapal 5 knot menuju kecepatan 7 knot akan menambah intensitas gerakan hingga mencapai 1,007 m/m pada frekuensi resonansi 0,251 rad/sec, namun untuk daerah frekuensi gelombang insiden tinggi atau periode gelombang insiden rendah dengan bertambahnya kecepatan kapal maka intensitas gerakan menurun jadi untuk kondisi terampung bebas pada kondisi platforming akan mengalami gerakan lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi kapal melaju.

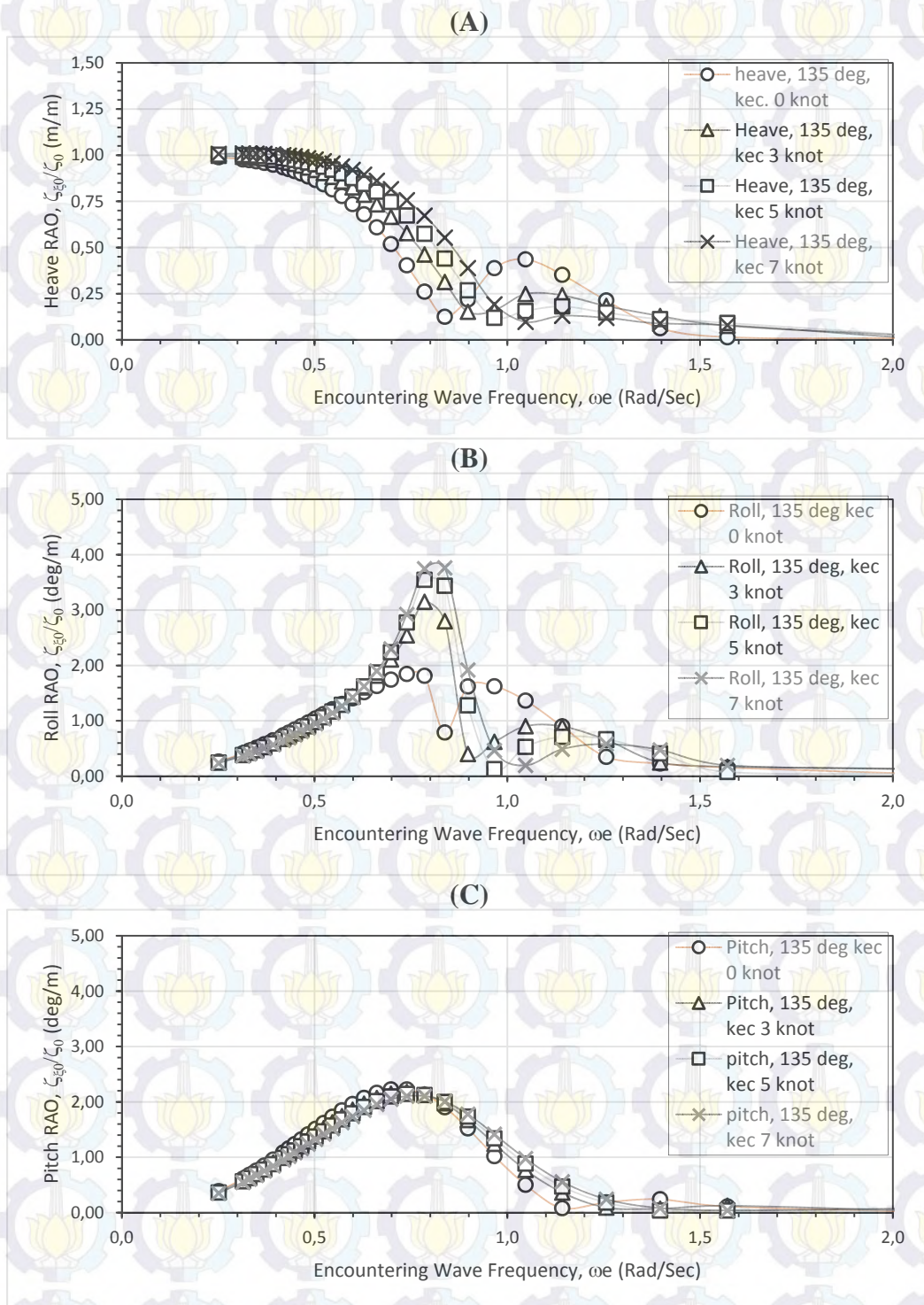
Melihat pada gerakan *Pitch* pada gambar 4.7C, terlihat pada gerakan *Pitch* dengan kecepatan 7 knot memiliki nilai gerakan sebesar 2,528 deg/m terjadi pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,739 rad/sec, kemudian gerakannya akan menurun seiring bertambahnya frekuensi gelombang. Sedangkan gerakan *Pitch* untuk kecepatan 5 knot akan lebih tinggi 2,535 deg/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,6981 rad/sec, kemudian pada kecepatan 3 knot harga gerakan *Pitch* lebih tinggi 2,534 deg/m pada frekuensi gelombang atau frekuensi resonansi 0,698 rad/sec, untuk gerakan pada kondisi stasioner akan lebih rendah 2,506 deg/m terjadi pada frekuensi gelombang atau frekuensi resonansi 0,661 rad/sec. Setelah itu untuk keseluruhan gerakan *Pitch* akan menurun setelah frekuensi resonansinya hingga pada frekuensi gelombang insiden tinggi, dan gerakan *Pitch* memiliki intensitas gerakan yang semakin tinggi dengan bertambahnya kecepatan yang terlihat pada daerah kritis.

Untuk gerakan *Roll* pada gambar 4.7B akibat gelombang haluan relatif sangat rendah sehingga tidak terlihat kenaikan atau menurunnya gerakan *Roll* akibat bertambahnya kecepatan.



**F. Karakteristik gerak SPCB akibat gelombang Perempat Haluan (135°)**

**Kondisi Muatan 50%**



**Gambar 4.8** RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang perempat haluan 135° kondisi muatan 50%



Untuk karakteristik gerakan kapal pada kondisi kecepatan yang divariasikan akibat gelombang perempat haluan untuk gerakan *Heave* lebih tinggi jika dibandingkan dengan gerakan *Heave* akibat gelombang haluan, namun untuk gerakan *Pitch* lebih rendah jika dibandingkan dengan gerakan *Pitch* akibat gelombang haluan, untuk gerakan *Roll* akan lebih terlihat akibat gelombang perempat haluan. Terlihat intensitas gerakan *Heave* naik bersamaan dengan bertambahnya kecepatan, sedangkan untuk gerakan *Roll* semakin menurun akibat perubahan kecepatan yang semakin bertambah. Untuk gerakan *Pitch* akibat gelombang haluan terlihat intensitas gerakannya lebih rendah bersamaan dengan bertambahnya kecepatan pada daerah frekuensi gelombang insiden rendah.

Untuk gerakan *Heave* terlihat pada gambar 4.8A pada frekuensi gelombang insiden rendah nilai dari gerakan sekitar satu (unity).

Kurva gerakan *Heave* dengan kondisi stasioner mencapai harga 0,989 m/m pada frekuensi gelombang atau frekuensi resonansi 0,251 rad/sec kemudian menurun tajam hingga pada frekuensi gelombang 0,8378 rad/sec kemudian gerakan perlahan naik hingga mencapai harga 0,436 m/m pada frekuensi gelombang atau frekuensi resonansi kedua 1,0472 rad/sec, hal ini terjadi karena gerakan kopel dengan *Pitch*. Kemudian pada frekuensi tinggi gerakan perlahan turun.

Kurva gerakan *Heave* dengan kondisi kecepatan 3 knot mencapai harga 0,997 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,251 rad/sec, hal ini sangat penting diperhatikan menandakan pada saat kecepatan bertambah maka intensitas gerakan naik, kemudian gerakannya menurun tajam hingga pada frekuensi gelombang insiden 0,8976 rad/sec kemudian gerakan perlahan naik hingga mencapai harga 0,248 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi kedua 1,0472 rad/sec, hal ini terjadi karena gerakan kopel dengan *Pitch*. Terlihat gerakan pada frekuensi gelombang insiden tinggi pada saat kecepatan kapal bertambah semakin menurun intensitas gerakannya.

Untuk gerakan *Heave* dengan kecepatan 5 knot juga akan bertambah intensitas gerakannya yakni 1,002 m/m pada frekuensi gelombang atau frekuensi resonansinya 0,251 rad/sec, begitu juga dari kecepatan 5 knot menuju kecepatan 7



knot akan menambah intensitas gerakan hingga mencapai 1,009 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,3142 rad/sec, namun untuk daerah frekuensi gelombang insiden tinggi atau periode gelombang insiden rendah dengan bertambahnya kecepatan kapal maka intensitas gerakan menurun jadi untuk kondisi terapung bebas pada kondisi platforming akan mengalami gerakan lebih tinggi dari pada kondisi kapal melaju.

Melihat pada gerakan *Pitch* pada gambar 4.8C, terlihat pada gerakan *Pitch* dengan kecepatan 7 knot memiliki nilai gerakan sebesar 2,106 deg/m terjadi pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,7392 rad/sec, kemudian pada daerah super-kritis gerakan *Pitch* akan menurun bersamaan dengan frekuensi gelombang insiden yang semakin besar.

Sedangkan gerakan *Pitch* untuk kecepatan 5 knot akan lebih tinggi 2,144 deg/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,7392 rad/sec, kemudian pada kecepatan 3 knot harga gerakan *Pitch* lebih tinggi 2,179 deg/m pada frekuensi resonansi 0,7392 rad/sec, untuk gerakan pada kondisi stasioner akan lebih tinggi 2,226 deg/m terjadi pada frekuensi resonansi 0,7392 rad/sec. Setelah itu untuk keseluruhan gerakan *Pitch* akan menurun setelah frekuensi resonansinya hingga pada frekuensi gelombang insiden tinggi, namun gerakan *Pitch* memiliki intensitas gerakan yang semakin tinggi dengan bertambahnya kecepatan yang terlihat saat setelah frekuensi resonansinya pada daerah kritis.

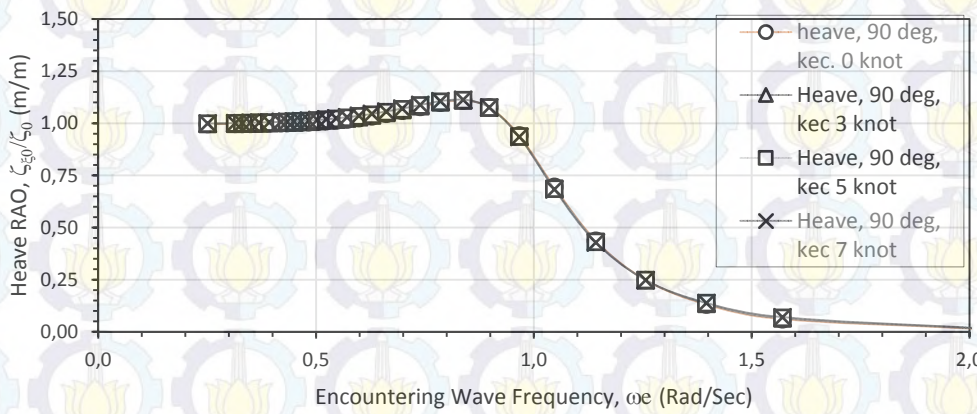
Untuk gerakan *Roll* pada gambar 4.8b akibat gelombang perempat haluan pada gerakan *Roll* dengan kecepatan 7 knot memiliki nilai gerakan sebesar 3,764 deg/m terjadi pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,8378 rad/sec, sedangkan gerakan *Roll* untuk kecepatan 5 knot akan rendah 3,545 deg/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,7854 rad/sec, kemudian pada kecepatan 3 knot harga gerakan *Roll* lebih rendah 3,14 deg/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,7854 rad/sec, untuk gerakan pada kondisi stasioner akan lebih rendah 1,848 deg/m terjadi pada frekuensi resonansi 1,0472 rad/sec. terlihat bahwa pada gelombang perempat haluan lebih mengakibatkan gerakan *Roll* jika dibanding dengan kondisi haluan.



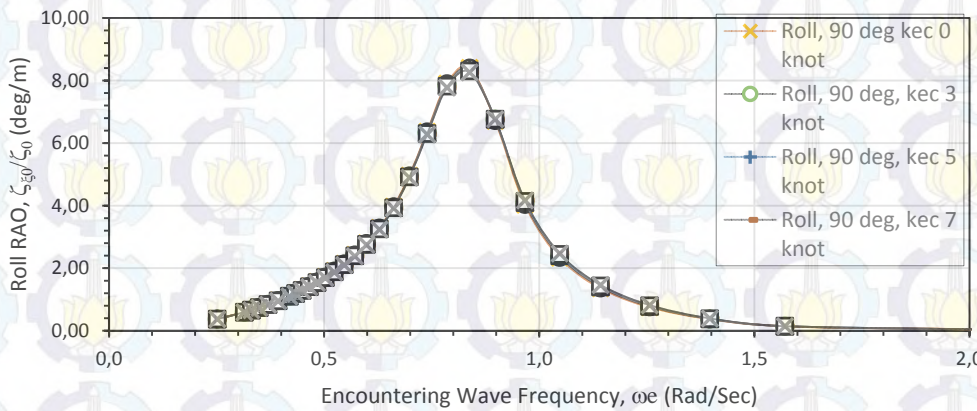
**G. Karakteristik gerak SPCB akibat gelombang sisi (90°) Kondisi Muatan**

**50%**

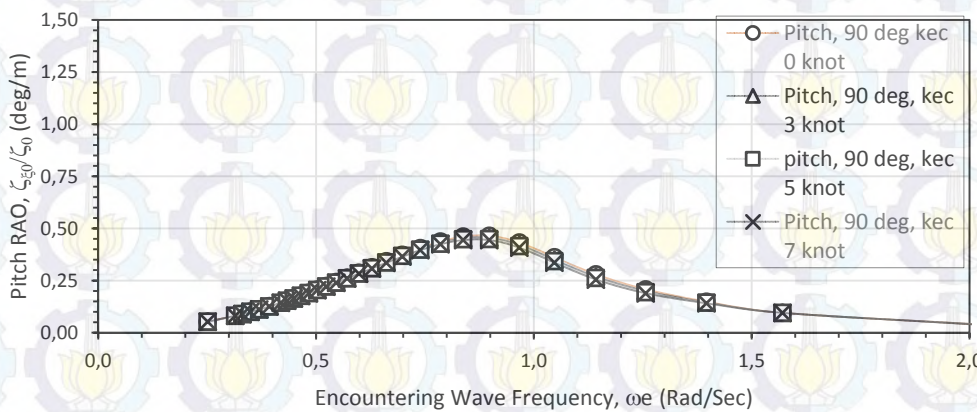
**(A)**



**(B)**



**(C)**



**Gambar 4.9** RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang sisi 90° kondisi muatan 50%



Untuk karakteristik gerakan kapal pada kondisi kecepatan yang divariasikan akibat gelombang sisi untuk gerakan *Heave* lebih tinggi jika dibandingkan dengan gerakan *Heave* akibat gelombang perempat haluan, namun untuk gerakan *Pitch* lebih rendah jika dibandingkan dengan gerakan *Pitch* akibat gelombang perempat haluan, untuk gerakan *Roll* akan lebih terlihat akibat gelombang sisi. Terlihat intensitas gerakan *Heave*, *Roll*, *Pitch* tetap bersamaan dengan bertambahnya kecepatan,. Untuk gerakan *Pitch* akibat gelombang haluan terlihat intensitas gerakannya lebih rendah bersamaan dengan bertambahnya kecepatan sebelum mencapai frekuensi resonansi pada daerah frekuensi gelombang insiden rendah.

Untuk gerakan *Heave* terlihat pada gambar 4.9A pada frekuensi gelombang insiden rendah nilai dari gerakan sekitar satu (unity), artinya gerakan mengalun mengikuti osilasi gelombang sedangkan pada daerah super-kritis bergerak secara *platforming*, hal ini juga berlaku untuk gerakan *Pitch*.

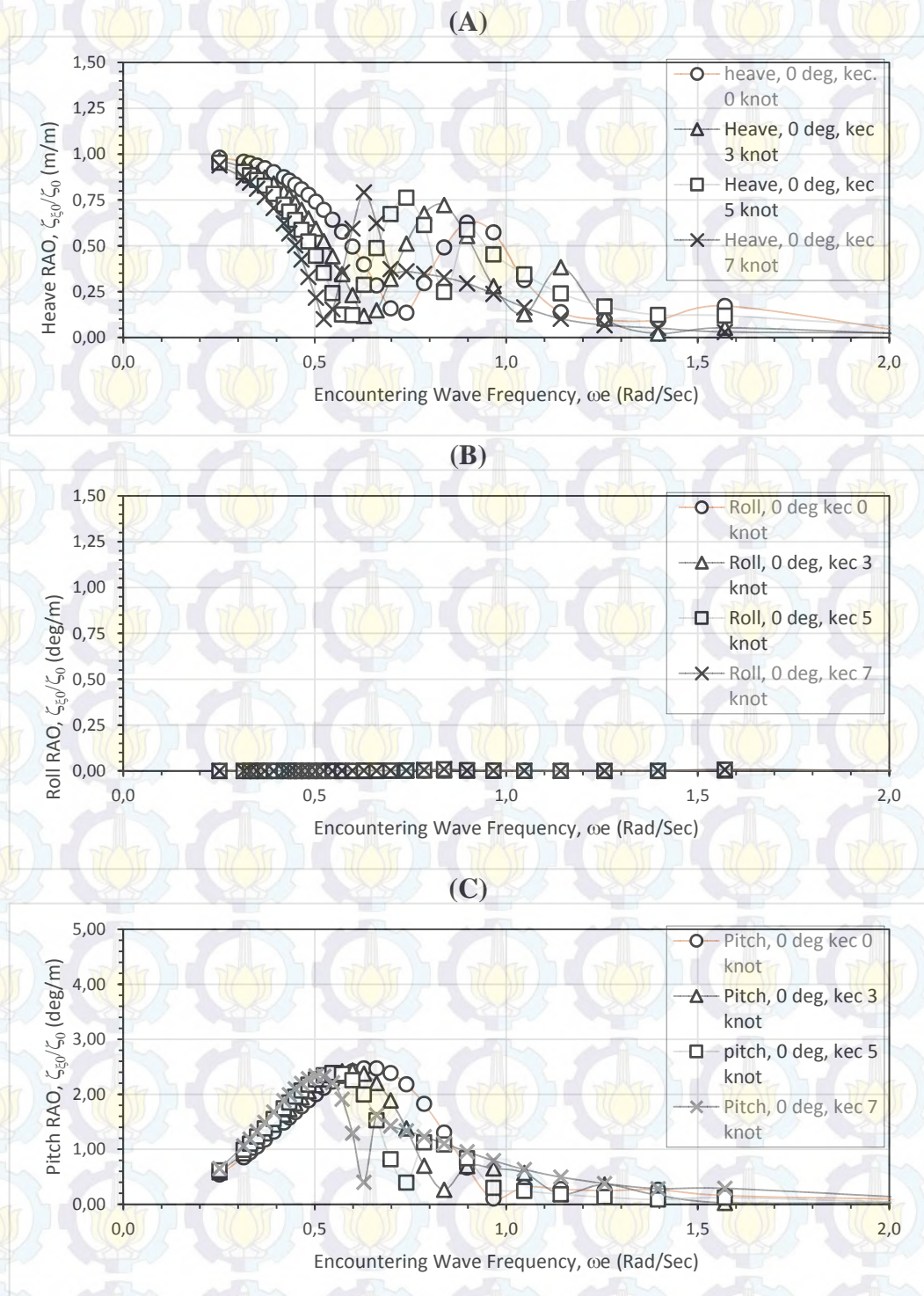
Kurva gerakan *Heave* dengan kondisi stasioner mencapai harga 1,109 m/m pada frekuensi gelombang atau frekuensi resonansi 0,8378 rad/sec kemudian menurun tajam hingga pada frekuensi gelombang tinggi. Untuk gerakan *Heave* mengalami kenaikan puncak RAO akibat bertambahnya kecepatan mulai dari 0 knot, 3 knot, 5 knot, 7 knot.

Melihat pada gerakan *Pitch* pada gambar 4.9C, terlihat pada gerakan *Pitch* relatif sangat kecil terjadi akibat gelombang sisi.

Untuk gerakan *Roll* pada gambar 4.9C akibat gelombang sisi dengan kecepatan 7 knot memiliki nilai gerakan sebesar 8,265 deg/m terjadi pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,8378 rad/sec, sedangkan gerakan *Roll* untuk semakin besar kecepatan dari kondisi stasioner sampai 7 knot mengalami penurunan nilai gerakan. Dan gerakan *Roll* akibat gelombang sisi lebih tinggi dibandingkan gerakan *Roll* akibat gelombang 180°, 135°.



**H. Karakteristik gerak SPCB akibat gelombang buritan (0°) Kondisi Muatan 50%**



**Gambar 4.10** RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang buritan 0° kondisi muatan 50%



Untuk karakteristik gerakan kapal pada kondisi kecepatan yang divariasikan akibat gelombang buritan terlihat intensitas gerakan *Heave* menurun bersamaan dengan bertambahnya kecepatan, sedangkan untuk gerakan *Roll* akibat gelombang buritan relatif kecil sehingga tidak terlihat intensitas gerakan akibat bertambahnya kecepatan. Untuk gerakan *Pitch* akibat gelombang haluan terlihat intensitas gerakannya lebih tinggi bersamaan dengan bertambahnya kecepatan yang terjadi sebelum mencapai frekuensi resonansi.

Untuk gerakan *Heave* terlihat pada gambar 4.10A pada frekuensi gelombang insiden rendah nilai dari gerakan sekitar satu (unity), artinya gerakan mengalir mengikuti osilasi gelombang sedangkan pada daerah super-kritis bergerak secara *platforming*, hal ini juga berlaku untuk gerakan *Pitch*.

Kurva gerakan *Heave* dengan kondisi stasioner mencapai harga 0,981 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,251 rad/sec kemudian menurun tajam hingga pada frekuensi gelombang insiden 0,7392 rad/sec kemudian gerakan perlahan naik hingga mencapai harga 0,626 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi kedua 0,9666 rad/sec, hal ini terjadi karena gerakan kopel dengan *Pitch*. Kemudian pada frekuensi gelombang insiden tinggi, gerakan perlahan turun namun juga ada kenaikan sedikit pada frekuensi gelombang insiden 1,5708 rad/sec dan kemudian turun secara perlahan hingga pada frekuensi gelombang insiden tertinggi.

Kurva gerakan *Heave* dengan kondisi kecepatan 3 knot mencapai harga 0,966 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,251 rad/sec, kemudian gerakannya menurun tajam hingga pada frekuensi gelombang insiden 0,6283 rad/sec kemudian gerakan perlahan naik hingga mencapai harga 0,553 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi kedua 0,8976 rad/sec, hal ini terjadi karena gerakan kopel dengan *Pitch*. Kemudian pada frekuensi tinggi gerakan perlahan turun. Terlihat gerakan pada frekuensi gelombang insiden tinggi pada saat kecepatan kapal bertambah semakin menurun intensitas gerakannya.



Untuk gerakan *Heave* dengan kecepatan 5 knot yakni 0,953 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansinya 0,251 rad/sec, begitu juga dari kecepatan 5 knot menuju kecepatan 7 knot intensitas gerakan akan lebih rendah, hingga mencapai 0,939 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,251 rad/sec, namun untuk daerah frekuensi gelombang insiden tinggi atau periode gelombang insiden rendah dengan bertambahnya kecepatan kapal maka intensitas gerakan menurun jadi untuk kondisi terapung bebas pada kondisi platforming akan mengalami gerakan lebih tinggi dari pada kondisi kapal melaju.

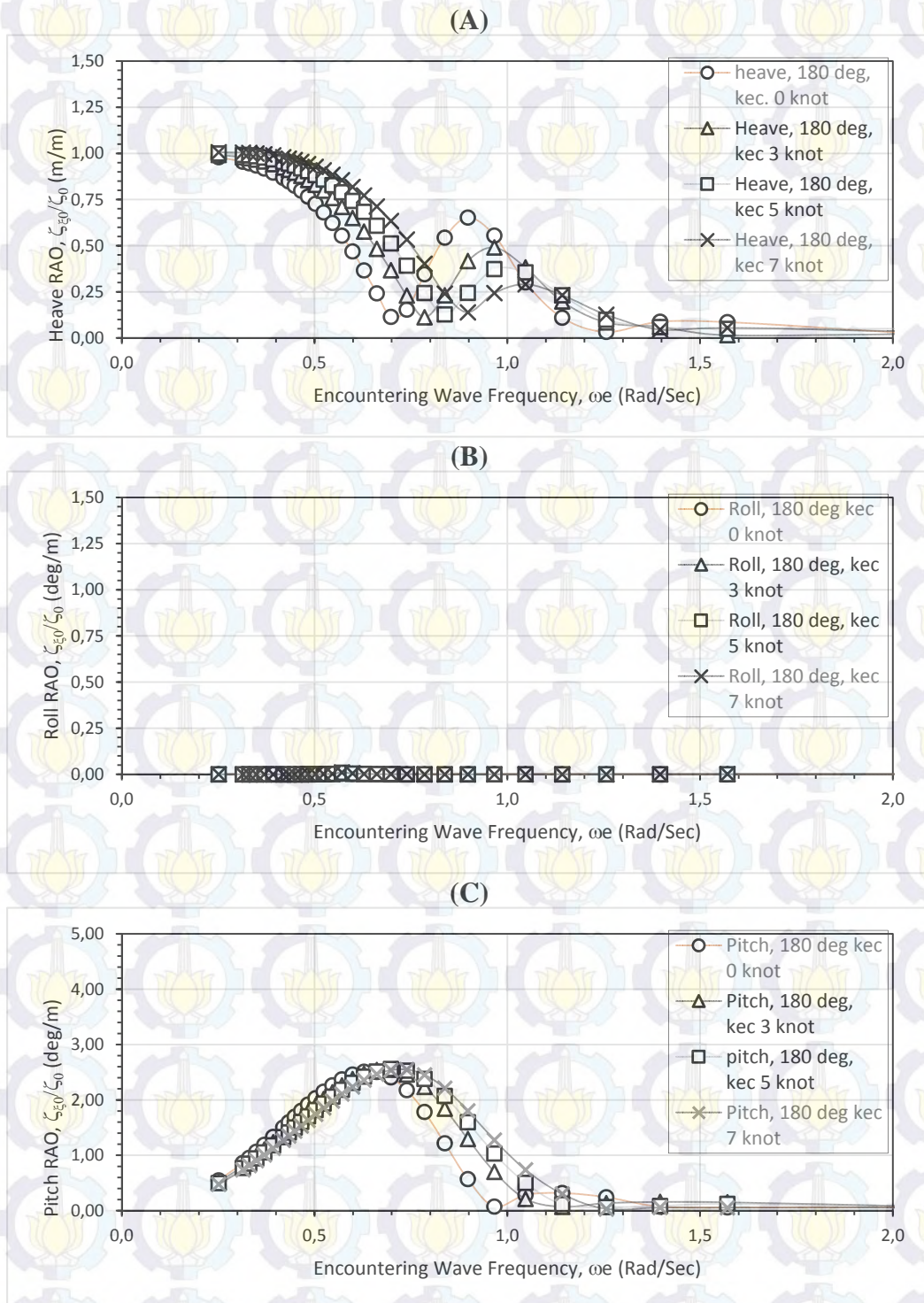
Melihat pada gerakan *Pitch* pada gambar 4.10C, terlihat pada gerakan *Pitch* dengan kecepatan 7 knot memiliki nilai gerakan sebesar 2,336 deg/m terjadi pada frekuensi resonansi 0,5072 rad/sec, kemudian pada daerah super-kritis gerakan *Pitch* akan menurun bersamaan dengan frekuensi gelombang insiden yang semakin besar.

Sedangkan gerakan *Pitch* untuk kecepatan 5 knot akan lebih tinggi 2,388 deg/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,5464 rad/sec, kemudian pada kecepatan 3 knot harga gerakan *Pitch* lebih tinggi 2,432 deg/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,5984 rad/sec, untuk gerakan pada kondisi stasioner akan lebih tinggi 2,472 deg/m terjadi pada frekuensi gelombang atau frekuensi resonansi 0,6283 rad/sec.

Untuk gerakan *Roll* pada gambar 4.10B akibat gelombang buritan relatif sangat rendah sehingga tidak terlihat kenaikan atau menurunnya gerakan *Roll* akibat bertambahnya kecepatan.



**I. Karakteristik gerak SPCB akibat gelombang haluan (180°) Kondisi Muatan 100%**



**Gambar 4.11** RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang haluan 180° kondisi muatan 100%



Untuk karakteristik gerakan kapal pada kondisi kecepatan yang divariasikan akibat gelombang haluan terlihat intensitas gerakan *Heave* naik bersamaan dengan bertambahnya kecepatan, sedangkan untuk gerakan *Roll* akibat gelombang haluan relatif kecil sehingga tidak terlihat intensitas gerakan akibat bertambahnya kecepatan. Untuk gerakan *Pitch* akibat gelombang haluan terlihat intensitas gerakannya lebih rendah bersamaan dengan bertambahnya kecepatan yang terjadi sebelum mencapai frekuensi resonansinya.

Untuk gerakan *Heave* terlihat pada gambar 4.11A pada frekuensi rendah nilai dari gerakan sekitar satu (unity), artinya gerakan mengalun mengikuti osilasi gelombang sedangkan pada daerah super-kritis bergerak secara *platforming*, hal ini juga berlaku untuk gerakan *Pitch*.

Kurva gerakan *Heave* dengan kondisi stasioner mencapai harga 0,979 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansinya 0,251 rad/sec kemudian menurun tajam hingga pada frekuensi gelombang insiden 0,6981 rad/sec kemudian gerakan perlahan naik hingga mencapai harga 0,652 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi kedua 0,8976 rad/sec, hal ini terjadi karena gerakan kopel dengan *Pitch*. Kemudian pada frekuensi gelombang insiden tinggi, gerakan perlahan turun.

Kurva gerakan *Heave* dengan kondisi kecepatan 3 knot mencapai harga 0,992 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,251 rad/sec, hal ini sangat penting diperhatikan menandakan pada saat kecepatan bertambah maka intensitas gerakan naik, kemudian gerakannya menurun tajam hingga pada frekuensi gelombang insiden 0,7854 rad/sec kemudian gerakan perlahan naik hingga mencapai harga 0,49 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi kedua 0,9666 rad/sec, hal ini terjadi karena gerakan kopel dengan *Pitch*. Kemudian pada frekuensi tinggi gerakan perlahan turun. Terlihat gerakan pada frekuensi tinggi pada saat kecepatan kapal bertambah semakin menurun intensitas gerakannya.

Untuk gerakan *Heave* dengan kecepatan 5 knot juga akan bertambah intensitas gerakannya yakni 0,999 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau



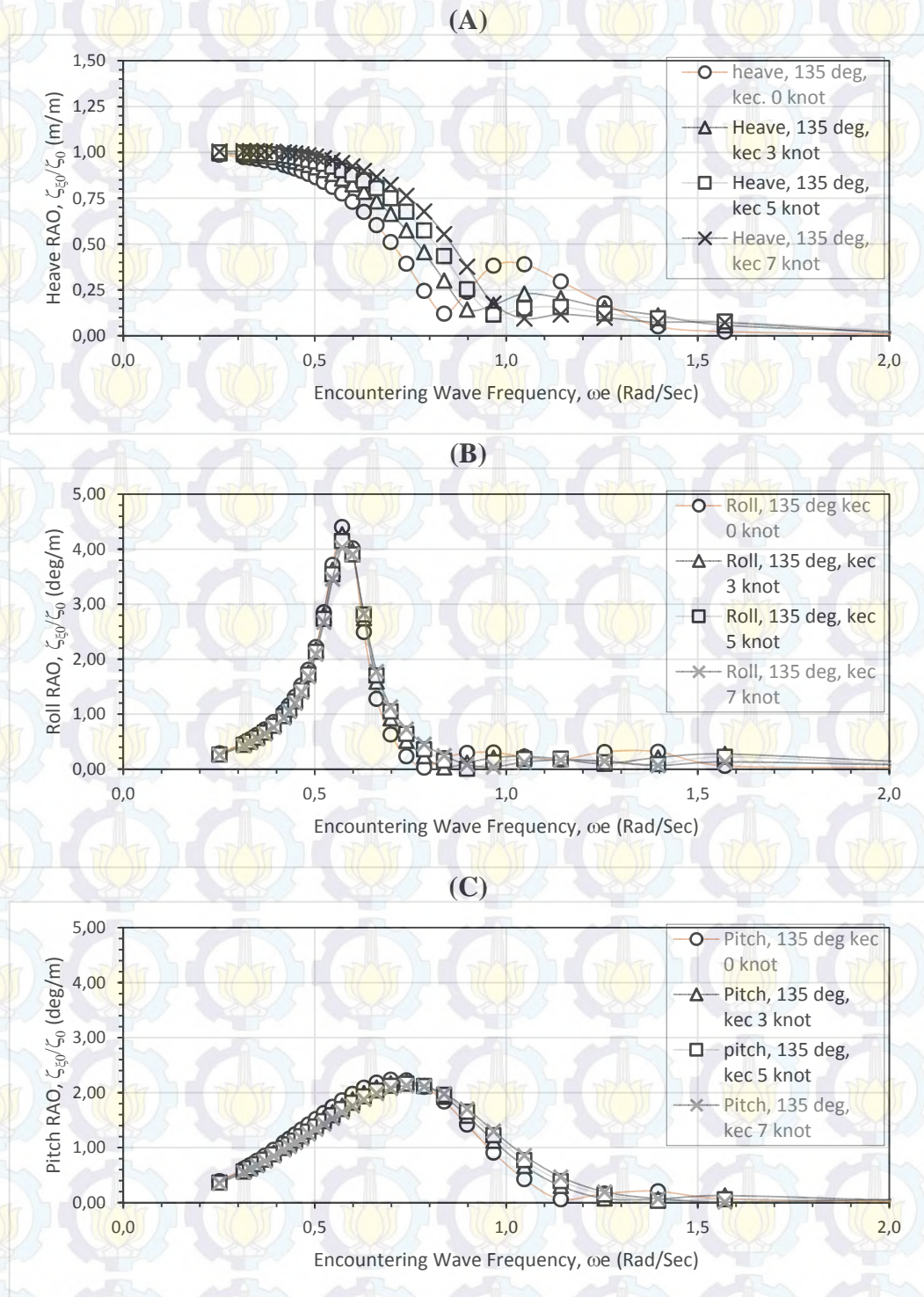
frekuensi resonansinya 0,251 rad/sec, begitu juga dari kecepatan 5 knot menuju kecepatan 7 knot akan menambah intensitas gerakan hingga mencapai 1,006 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,251 rad/sec, namun untuk daerah frekuensi tinggi atau periode rendah dengan bertambahnya kecepatan kapal maka intensitas gerakan menurun jadi untuk kondisi terapung bebas pada kondisi platforming akan mengalami gerakan lebih tinggi dari pada kondisi kapal melaju.

Melihat pada gerakan *Pitch* pada gambar 4.11C, terlihat pada gerakan *Pitch* dengan kecepatan 7 knot memiliki nilai gerakan sebesar 2,548 deg/m terjadi pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,739 rad/sec, sedangkan gerakan *Pitch* untuk kecepatan 5 knot akan lebih tinggi 2,557 deg/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,6981 rad/sec, kemudian pada kecepatan 3 knot harga gerakan *Pitch* lebih rendah 2,545 deg/m pada frekuensi resonansi 0,698 rad/sec, untuk gerakan pada kondisi stasioner akan lebih rendah 2,51 deg/m terjadi pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,6283 rad/sec. Setelah itu untuk keseluruhan gerakan *Pitch* akan menurun setelah frekuensi resonansinya hingga pada frekuensi gelombang insiden tinggi, namun gerakan *Pitch* memiliki intensitas yang semakin tinggi dengan bertambahnya kecepatan yang terlihat saat setelah frekuensi resonansinya pada daerah kritis.

Untuk gerakan *Roll* pada gambar 4.11B akibat gelombang haluan relatif sangat rendah sehingga tidak terlihat kenaikan atau menurunnya gerakan *Roll* akibat bertambahnya kecepatan.



**J. Karakteristik gerak SPCB akibat gelombang perempat haluan (135°)  
Kondisi Muatan 100%**



**Gambar 4.12** RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang perempat haluan 135° kondisi muatan 100%



Untuk karakteristik gerakan kapal pada kondisi kecepatan yang divariasikan akibat gelombang perempat haluan untuk gerakan *Heave* lebih tinggi jika dibandingkan dengan gerakan *Heave* akibat gelombang haluan, namun untuk gerakan *Pitch* lebih rendah jika dibandingkan dengan gerakan *Pitch* akibat gelombang haluan, untuk gerakan *Roll* akan lebih terlihat akibat gelombang perempat haluan. Terlihat intensitas gerakan *Heave* naik bersamaan dengan bertambahnya kecepatan, sedangkan untuk gerakan *Roll* semakin menurun akibat perubahan kecepatan yang semakin bertambah. Untuk gerakan *Pitch* akibat gelombang haluan terlihat intensitas gerakannya lebih rendah bersamaan dengan bertambahnya kecepatan sebelum mencapai frekuensi resonansi.

Untuk gerakan *Heave* terlihat pada gambar 4.12A pada frekuensi gelombang insiden rendah nilai dari gerakan sekitar satu (unity), artinya gerakan mengalir mengikuti osilasi gelombang sedangkan pada daerah super-kritis bergerak secara *platforming*, hal ini juga berlaku untuk gerakan *Pitch*.

Kurva gerakan *Heave* dengan kondisi stasioner mencapai harga 0,987 m/m pada frekuensi gelombang atau frekuensi resonansi 0,251 rad/sec kemudian menurun tajam hingga pada frekuensi gelombang atau frekuensi 0,8378 rad/sec kemudian gerakan perlahan naik hingga mencapai harga 0,382 m/m pada frekuensi gelombang atau frekuensi resonansi kedua 0,9666 rad/sec, hal ini terjadi karena gerakan kopel dengan *Pitch*. Kemudian pada frekuensi gelombang insiden tinggi, gerakan perlahan turun.

Kurva gerakan *Heave* dengan kondisi kecepatan 3 knot mencapai harga 0,995 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,251 rad/sec, hal ini sangat penting diperhatikan menandakan pada saat kecepatan bertambah maka intensitas gerakan naik, kemudian gerakannya menurun tajam hingga pada frekuensi gelombang insiden 0,8976 rad/sec kemudian gerakan perlahan naik hingga mencapai harga 0,229 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi kedua 1,0472 rad/sec, hal ini terjadi karena gerakan kopel dengan *Pitch*. Kemudian pada frekuensi gelombang insiden tinggi gerakan perlahan



turun. Terlihat gerakan pada frekuensi gelombang insiden tinggi pada saat kecepatan kapal bertambah semakin menurun intensitas gerakannya.

Untuk gerakan *Heave* dengan kecepatan 5 knot juga akan bertambah intensitas gerakannya yakni 1,00 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansinya 0,251 rad/sec, begitu juga dari kecepatan 5 knot menuju kecepatan 7 knot akan menambah intensitas gerakan hingga mencapai 1,007 m/m pada frekuensi resonansi 0,3142 rad/sec, namun untuk daerah frekuensi tinggi atau periode rendah dengan bertambahnya kecepatan kapal maka intensitas gerakan menurun jadi untuk kondisi terapung bebas pada kondisi platforming akan mengalami gerakan lebih tinggi dari pada kondisi kapal melaju.

Melihat pada gerakan *Pitch* pada gambar 4.12C, terlihat pada gerakan *Pitch* dengan kecepatan 7 knot memiliki nilai gerakan sebesar 2,13 deg/m terjadi pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,7392 rad/sec, kemudian pada frekuensi gelombang tinggi gerakan *Pitch* perlahan akan turun.

Sedangkan gerakan *Pitch* untuk kecepatan 5 knot akan lebih tinggi 2,162 deg/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,7392 rad/sec, kemudian pada kecepatan 3 knot harga gerakan *Pitch* lebih tinggi 2,191 deg/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,7392 rad/sec, untuk gerakan pada kondisi stasioner akan lebih tinggi 2,236 deg/m terjadi pada frekuensi resonansi 0,6981 rad/sec. Setelah itu untuk keseluruhan gerakan *Pitch* akan menurun setelah frekuensi resonansinya hingga pada frekuensi gelombang insiden tinggi, namun gerakan *Pitch* memiliki intensitas gerakan yang semakin tinggi dengan bertambahnya kecepatan yang terlihat saat setelah frekuensi resonansinya.

Untuk gerakan *Roll* pada gambar 4.12B akibat gelombang perempat haluan pada gerakan *Roll* dengan kecepatan 7 knot memiliki nilai gerakan sebesar 4,029 deg/m terjadi pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,5712 rad/sec, sedangkan gerakan *Roll* untuk kecepatan 5 knot akan lebih tinggi 4,148 deg/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,572 rad/sec, kemudian pada kecepatan 3 knot harga gerakan *Roll* lebih tinggi 4,27 deg/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,5712 rad/sec, untuk

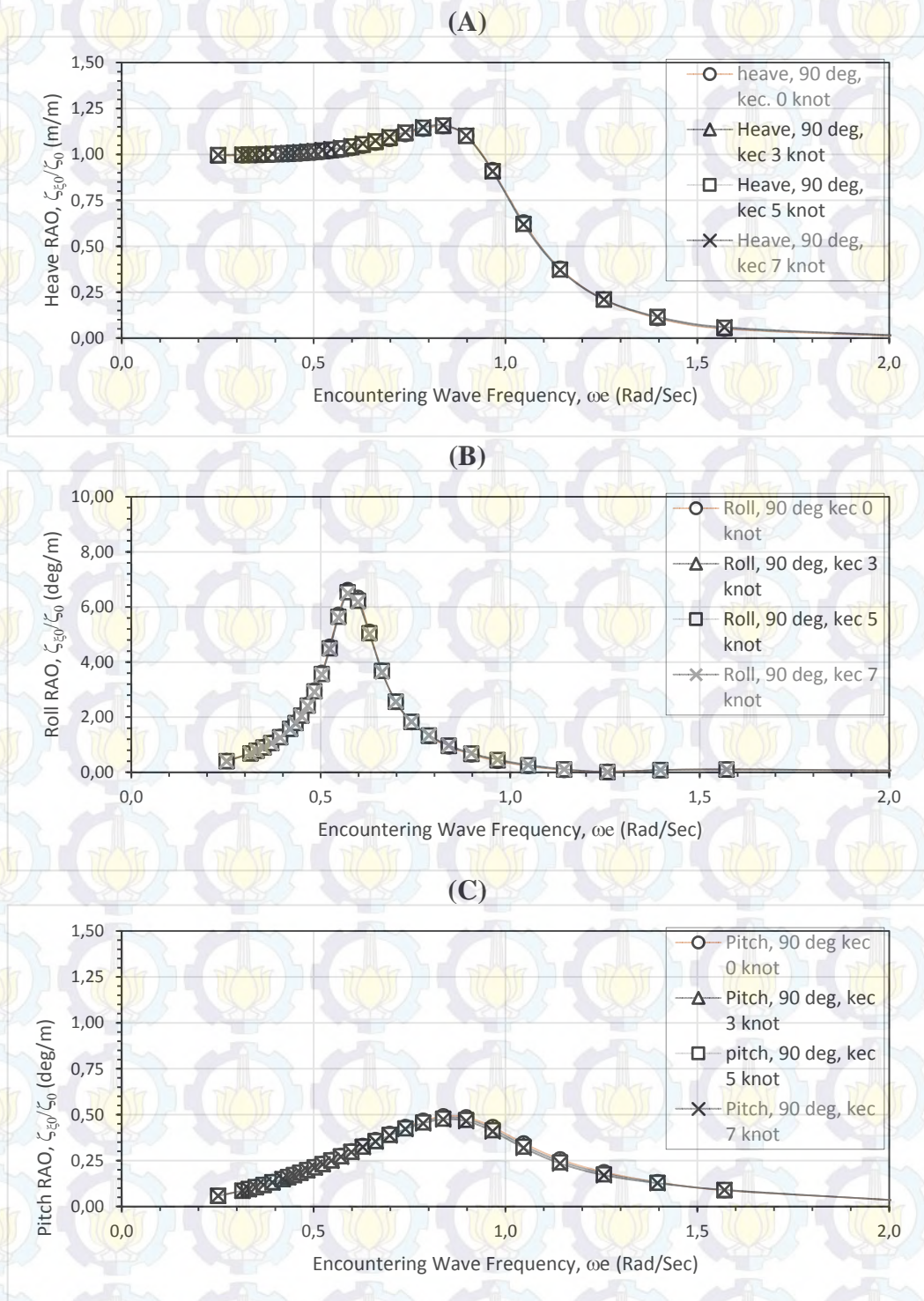


gerakan pada kondisi stasioner akan lebih tinggi 4,404 deg/m terjadi pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 1,0472 rad/sec. terlihat bahwa pada gelombang perempat haluan lebih mengakibatkan gerakan *Roll* jika dibanding dengan akibat propagasi gelombang haluan.



**K. Karakteristik gerak SPCB akibat gelombang sisi (90°) Kondisi Muatan**

**100%**



**Gambar 4.13** RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang sisi 90° kondisi muatan

100%



Untuk karakteristik gerakan kapal pada kondisi kecepatan yang divariasikan akibat gelombang sisi untuk gerakan *Heave* lebih tinggi jika dibandingkan dengan gerakan *Heave* akibat gelombang perempat haluan, namun untuk gerakan *Pitch* lebih rendah jika dibandingkan dengan gerakan *Pitch* akibat gelombang perempat haluan, untuk gerakan *Roll* akan lebih terlihat akibat gelombang sisi. Terlihat intensitas gerakan *Heave*, *Roll*, *Pitch* tetap bersamaan dengan bertambahnya kecepatan. Untuk gerakan *Pitch* akibat gelombang haluan terlihat intensitas gerakannya lebih rendah bersamaan dengan bertambahnya kecepatan sebelum mencapai frekuensi resonansi.

Untuk gerakan *Heave* terlihat pada gambar 4.13A pada frekuensi gelombang insiden rendah nilai dari gerakan sekitar satu (unity), artinya gerakan mengalir mengikuti osilasi gelombang sedangkan pada daerah super-kritis bergerak secara *platforming*, hal ini juga berlaku untuk gerakan *Pitch*.

Kurva gerakan *Heave* dengan kondisi stasioner mencapai harga 1,154 m/m pada frekuensi gelombang atau frekuensi resonansi 0,8378 rad/sec kemudian menurun tajam hingga pada frekuensi tinggi. Untuk gerakan *Heave* mengalami kenaikan gerakan akibat bertambahnya kecepatan mulai dari 0 knot, 3 knot, 5 knot, 7 knot.

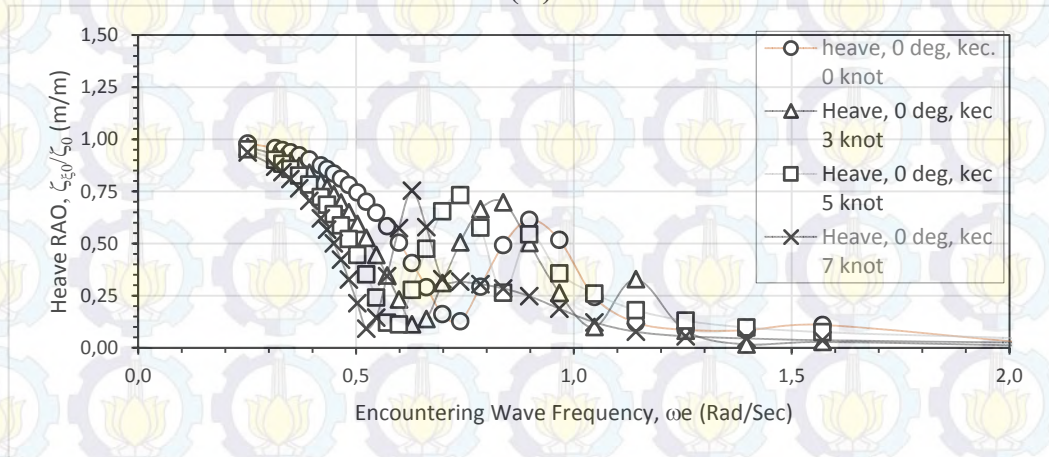
Melihat pada gerakan *Pitch* pada gambar 4.13C, terlihat pada gerakan *Pitch* relatif sangat kecil terjadi akibat gelombang sisi.

Untuk gerakan *Roll* pada gambar 4.13B akibat gelombang sisi dengan kecepatan 7 knot memiliki nilai gerakan sebesar 6,615deg/m terjadi pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,5712 rad/sec, sedangkan gerakan *Roll* untuk kecepatan 5 knot, 3 knot dan stasioner mengalami penurunan nilai gerakan dengan naiknya kecepatan. Dan gerakan *Roll* akibat gelombang sisi lebih tinggi dibandingkan gerakan *Roll* akibat gelombang 180°, 135°.

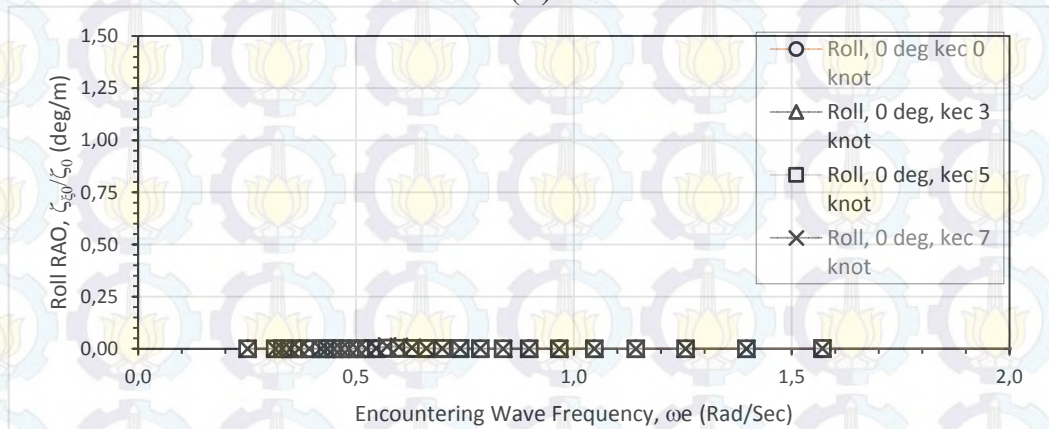


**L. Karakteristik gerak SPCB akibat gelombang buritan ( $0^0$ ) Kondisi Muatan 100%**

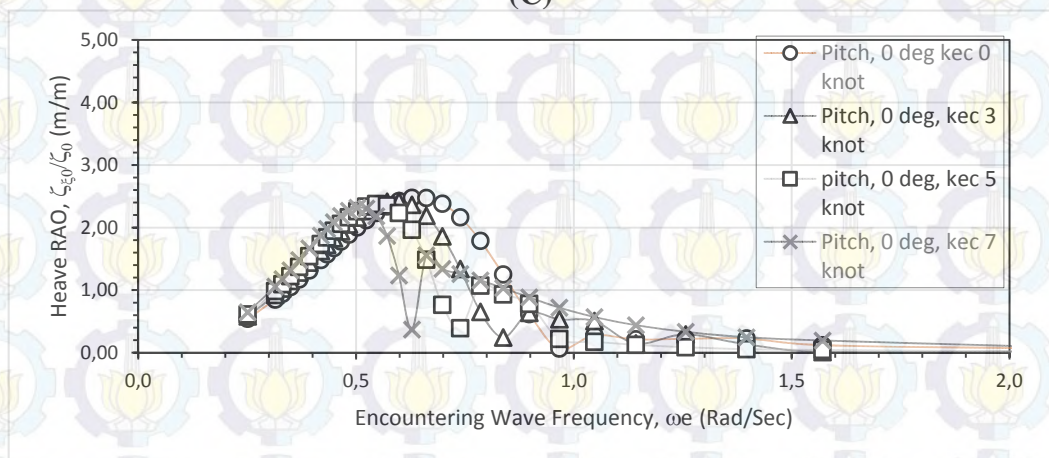
(A)



(B)



(C)



**Gambar 4.14** RAO dengan Variasi Kecepatan akibat gelombang buritan  $0^0$  kondisi muatan 100%



Untuk karakteristik gerakan kapal pada kondisi kecepatan yang divariasikan akibat gelombang buritan terlihat intensitas gerakan *Heave* menurun bersamaan dengan bertambahnya kecepatan, sedangkan untuk gerakan *Roll* akibat gelombang buritan relatif kecil sehingga tidak terlihat intensitas gerakan akibat bertambahnya kecepatan. Untuk gerakan *Pitch* akibat gelombang haluan terlihat intensitas gerakannya lebih tinggi bersamaan dengan bertambahnya kecepatan yang terjadi sebelum mencapai frekuensi resonansi.

Untuk gerakan *Heave* terlihat pada gambar 4.14A pada frekuensi gelombang insiden rendah nilai dari gerakan sekitar satu (unity), artinya gerakan mengalir mengikuti osilasi gelombang sedangkan pada daerah super-kritis bergerak secara *platforming*, hal ini juga berlaku untuk gerakan *Pitch*.

Kurva gerakan *Heave* dengan kondisi stasioner mencapai harga 0,98 m/m pada frekuensi resonansi 0,251 rad/sec kemudian menurun tajam hingga pada frekuensi gelombang 0,7392 rad/sec kemudian gerakan perlahan naik hingga mencapai harga 0,614 m/m pada frekuensi resonansi kedua 0,9666 rad/sec, hal ini terjadi karena gerakan kopel dengan *Pitch*. Kemudian turun secara perlahan hingga pada frekuensi gelombang tertinggi.

Kurva gerakan *Heave* dengan kondisi kecepatan 3 knot mencapai harga 0,964 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,251 rad/sec, kemudian gerakannya menurun tajam hingga pada frekuensi gelombang insiden 0,6283 rad/sec kemudian gerakan perlahan naik hingga mencapai harga 0,698 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi kedua 0,8378 rad/sec, hal ini terjadi karena gerakan kopel dengan *Pitch*. Kemudian pada frekuensi tinggi gerakan perlahan turun. Terlihat gerakan pada frekuensi tinggi pada saat kecepatan kapal bertambah semakin menurun intensitas gerakannya.

Untuk gerakan *Heave* dengan kecepatan 5 knot yakni 0,952 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansinya 0,251 rad/sec, begitu juga dari kecepatan 5 knot menuju kecepatan 7 knot intensitas gerakan akan lebih rendah, hingga mencapai 0,937 m/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,251 rad/sec, namun untuk daerah frekuensi gelombang



insiden tinggi atau periode gelombang insiden rendah dengan bertambahnya kecepatan kapal maka intensitas gerakan menurun jadi untuk kondisi terapung bebas pada kondisi platforming akan mengalami gerakan lebih tinggi dari pada kondisi kapal melaju.

Melihat pada gerakan *Pitch* pada gambar 4.14C, terlihat pada gerakan *Pitch* dengan kecepatan 7 knot memiliki nilai gerakan sebesar 2,317 deg/m terjadi pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,5072 rad/sec, sedangkan gerakan *Pitch* untuk kecepatan 5 knot akan lebih tinggi 2,376 deg/m pada frekuensi resonansi 0,5464 rad/sec, kemudian pada kecepatan 3 knot harga gerakan *Pitch* lebih tinggi 2,425 deg/m pada frekuensi gelombang insiden atau frekuensi resonansi 0,5984 rad/sec, untuk gerakan pada kondisi stasioner akan lebih tinggi 2,477 deg/m terjadi pada frekuensi gelombang atau frekuensi resonansi 0,6283 rad/sec.

Untuk gerakan *Roll* pada gambar 4.14B akibat gelombang buritan relatif sangat rendah sehingga tidak terlihat kenaikan atau menurunnya gerakan *Roll* akibat bertambahnya kecepatan.



#### 4.4 ANALISIS SPEKTRA

Analisis pada gelombang acak yang pertama dilakukan adalah melakukan perhitungan analisis spektra gelombang dengan berdasarkan *wave scatter* untuk aktivitas maritim di perairan dunia dan di perairan Natuna dengan mengkorelasikan data gelombang di perairan Jawa dimana *Self Propelled Coal Barge* di operasikan, dengan mengaplikasikan formula spektra JONSWAP dengan nilai  $\gamma = 2,5$ . Selanjutnya adalah mengkalikan harga RAO *Self Propelled Coal Barge* dengan spektra gelombang yang telah didapatkan, yang akan menghasilkan spektra respons pada tiap-tiap kombinasi  $H_s$  dan  $T_p$ . Spektra Respons ini kemudian dihitung harga stokastik respons gerakan *SPCB*, diantaranya percepatan *Heave* signifikan, amplitudo *Roll* rata-rata, dan amplitudo *Pitch* rata-rata pada tiap kombinasi  $H_s$  dan  $T_p$  untuk empat variasi kecepatan dan tiga kondisi pembebanan. Kemudian dilakukan analisis kenaikan percepatan *Heave* signifikan dan kenaikan amplitudo gerakan rata-rata dalam fungsi kenaikan  $H_s$ . Selanjutnya membuat matrik operabilitas untuk mengetahui batasan tinggi gelombang *SPCB* yang nantinya akan dijadikan dasar dalam analisis operabilitas.

Analisis bangunan lepas pantai di Indonesia dengan mengambil harga  $\gamma = 2,5$ . Dengan tujuan menurunkan puncak spektra, atau dengan kata lain dominasi tidak terkonsentrasi pada periode atau frekuensi. Periode puncak yang dianalisa adalah mulai dari 3,5 s sampai 11,5 s dengan seluruh sebaran  $H_s$  yaitu sampai  $H_s$  5,5 meter.

##### 4.4.1 Analisis Spektra Gelombang

Analisa spektra gelombang dilakukan pada seluruh kombinasi  $H_s$  dan  $T_p$ , berikut ini akan ditampilkan tabel perhitungan spektra gelombang pada tabel 4.11 yang merupakan perhitungan spektra gelombang pada  $H_s = 5,5$  m pada  $T_p = 11,5$  detik, yang sebagai contoh perhitungan yang dapat menggambarkan proses seluruh analisis spektra gelombang.

Dalam analisis ini dilakukan perhitungan untuk semua  $T_p$  yang akan mewakili kejadian gelombang diantaranya 3,5 detik, 4,5 detik, 5,5 detik, 6,5 detik,



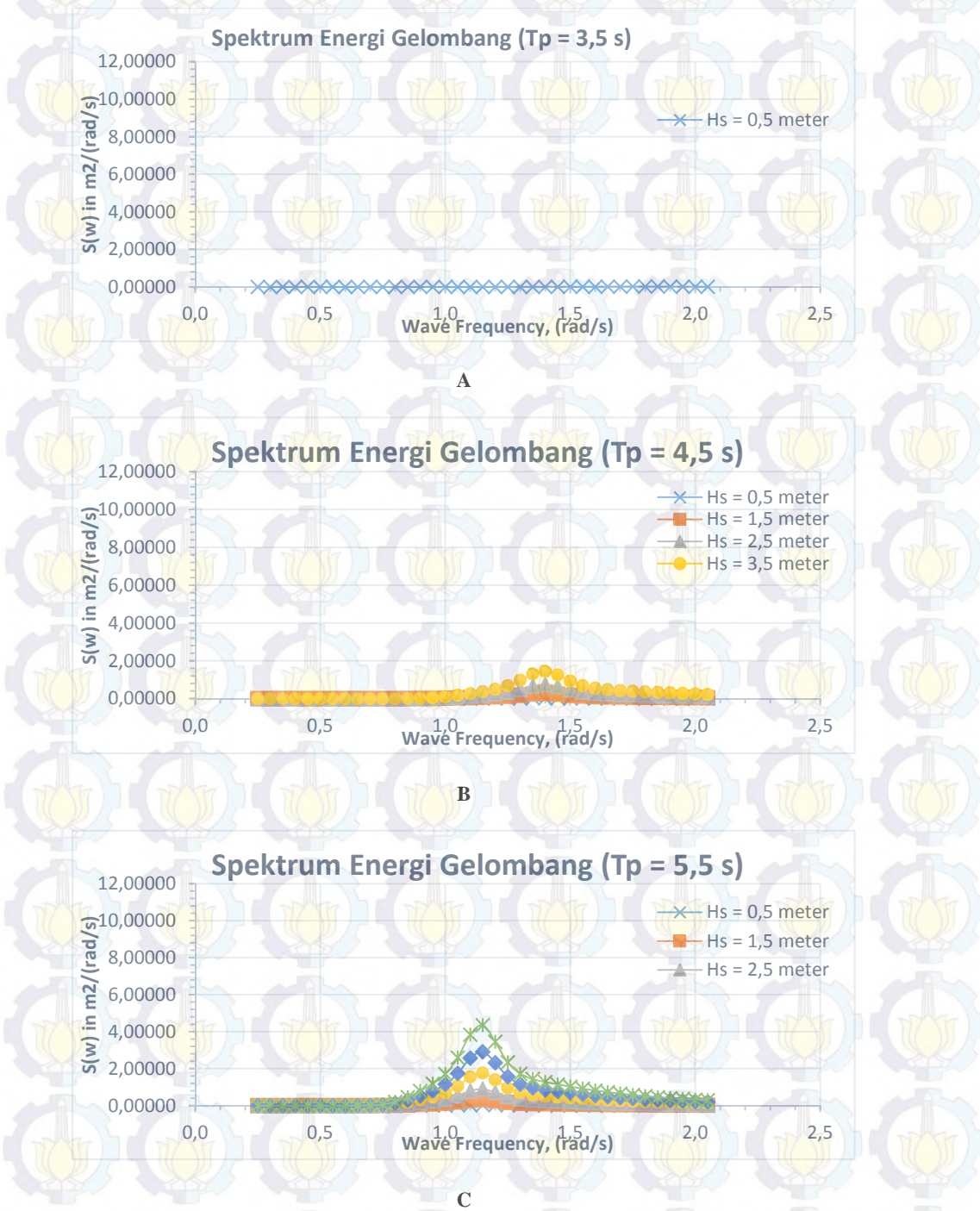
7,5 detik, 8,5 detik, 9,5 detik, 10,5 detik dan 11,5 detik untuk perairan Natuna memiliki periode puncak hingga 16,5 detik. Yang akan terlihat pada gambar 4.15 sampai 4.17 merupakan spektra gelombang yang menggunakan formula JONSWAP dengan  $\gamma = 2,5$

**Tabel 4.11** Perhitungan Spektra Gelombang Menggunakan Formula JONSWAP untuk Hs 5,5 meter dan Tp 11,5 detik

| Tp               | $\omega_p$      |
|------------------|-----------------|
| 11,5             | 0,546087        |
| Hs               | 5,5             |
| $\omega$ (rad/s) | S( $\omega$ )   |
| (rad/s)          | ( $m^2/rad/s$ ) |
| 0,25             | 0,00000         |
| 0,3              | 0,00028         |
| 0,35             | 0,07155         |
| 0,4              | 0,78749         |
| 0,45             | 2,32074         |
| 0,5              | 5,21445         |
| 0,55             | 9,09010         |
| 0,6              | 4,74274         |
| 0,65             | 2,93074         |
| 0,7              | 2,32094         |
| 0,75             | 1,83746         |
| 0,8              | 1,44142         |
| 0,85             | 1,12856         |
| 0,9              | 0,88575         |
| 0,95             | 0,69858         |
| 1                | 0,55441         |
| 1,05             | 0,44304         |
| 1,1              | 0,35659         |
| 1,15             | 0,28908         |
| 1,2              | 0,23600         |
| 1,25             | 0,19399         |
| 1,3              | 0,16050         |
| 1,35             | 0,13363         |
| 1,4              | 0,11192         |
| 1,45             | 0,09426         |
| 1,5              | 0,07982         |
| 1,55             | 0,06793         |
| 1,6              | 0,05809         |
| 1,65             | 0,04991         |
| 1,7              | 0,04306         |
| 1,75             | 0,03730         |
| 1,8              | 0,03244         |
| 1,85             | 0,02832         |
| 1,9              | 0,02481         |
| 1,95             | 0,02181         |
| 2                | 0,01923         |
| 2,05             | 0,01701         |



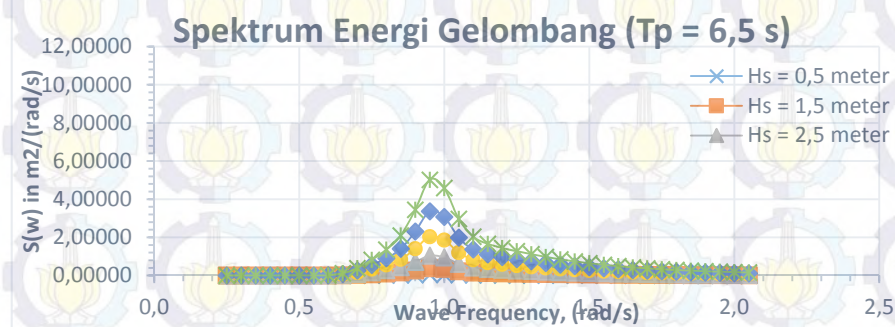
Pada masing masing periode puncak memiliki bentuk kurva spektra energi gelombang berbeda beda, yaitu letak puncak kurva nya. Berikut ini merupakan gambar dari kurva spektra gelombang.



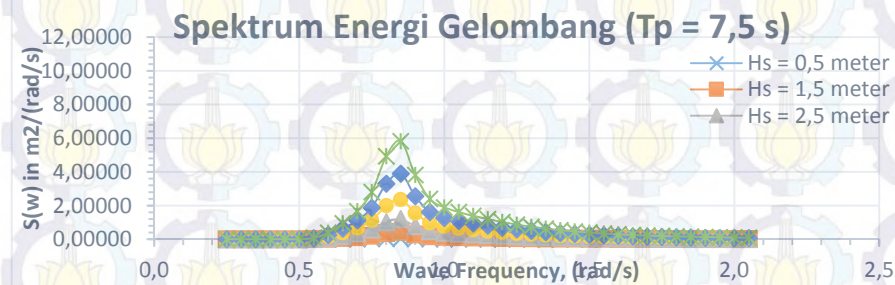
Gambar 4.15 Spektra Gelombang dengan  $T_p = 3,5$  s,  $T_p = 4,5$  s,  $T_p = 5,5$  s untuk semua  $H_s$



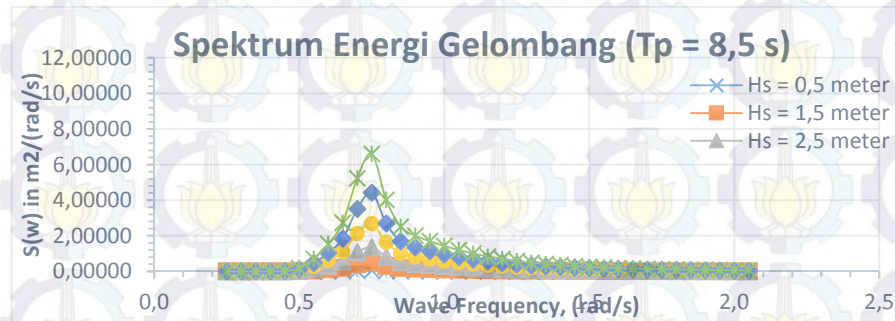
Pada gambar 4.15 merupakan kurva spektra gelombang dengan perwakilan periode puncak rendah, pada Gambar 4.15 (A) terlihat puncak spektra gelombang sangat tidak signifikan kemudian pada Gambar 4.15 (B) terlihat puncak spektra gelombang terjadi pada frekuensi gelombang 1,4 rad/s, dan pada Gambar 4.15 (C) terlihat puncak spektra gelombang terjadi pada frekuensi gelombang 1,15 rad/s. Hal ini berarti bahwa periode puncak akan mempengaruhi terjadinya resonansi dalam gerakan gelombang dan kapal nantinya.



A



B



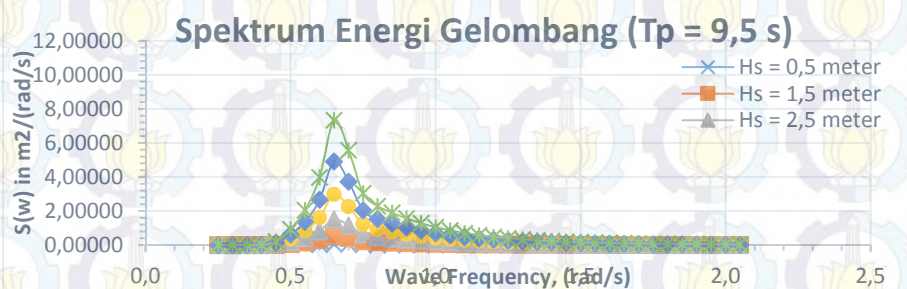
C

**Gambar 4.16** Spektra Gelombang dengan  $T_p = 6,5$  s,  $T_p = 7,5$  s,  $T_p = 8,5$  s untuk semua Hs

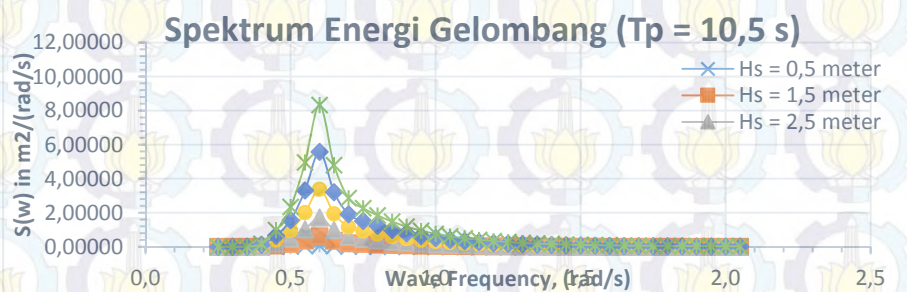


Pada gambar 4.16 merupakan kurva spektra gelombang dengan perwakilan periode puncak sedang, pada Gambar 4.16 (A) terlihat puncak spektra gelombang terjadi pada frekuensi gelombang 0,95 rad/s, kemudian pada Gambar 4.16 (B) terlihat puncak spektra gelombang terjadi pada frekuensi gelombang 0,85 rad/s, dan pada Gambar 4.15 (C) terlihat puncak spektra gelombang terjadi pada frekuensi gelombang 0,75 rad/s. Hal ini berarti bahwa periode puncak akan mempengaruhi terjadinya resonansi dalam gerakan gelombang dan kapal nantinya.

Terlihat pula dengan menggunakan formulasi spektra gelombang JONSWAP dengan  $\gamma = 2,5$  maka tidak hanya dipengaruhi oleh periode puncak melainkan juga dipengaruhi oleh tinggi gelombang signifikan, dengan nilai spektra energi gelombang semakin tinggi dengan kenaikan nilai tinggi gelombang signifikan. Hal ini berarti untuk tinggi gelombang signifikan yang lebih besar terdapat energi yang lebih besar pula pada luasan dibawah kurva spektra energi gelombang di satu periode puncak yang sama.

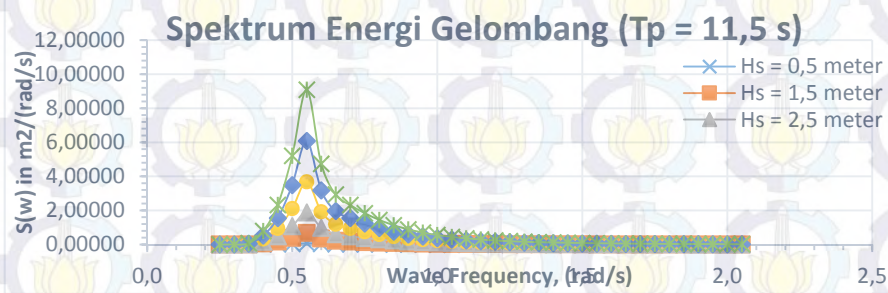


A



B





C

**Gambar 4.17** Spektra Gelombang dengan  $T_p = 9,5$  s,  $T_p = 10,5$  s,  $T_p = 11,5$  s untuk semua  $H_s$

Pada gambar 4.17 merupakan kurva spektra gelombang dengan perwakilan periode puncak tinggi, pada Gambar 4.17 (A) terlihat puncak spektra gelombang terjadi pada frekuensi gelombang 0,65 rad/s, kemudian pada Gambar 4.16 (B) terlihat puncak spektra gelombang terjadi pada frekuensi gelombang 0,6 rad/s, dan pada Gambar 4.15 (C) terlihat puncak spektra gelombang terjadi pada frekuensi gelombang 0,55 rad/s. Hal ini berarti bahwa periode puncak akan mempengaruhi terjadinya resonansi dalam gerakan gelombang dan kapal nantinya.



## 4.5 ANALISIS SPEKTRA RESPON GERAK SPCB DI GELOMBANG

### ACA K

Respons bangunan laut, pada *Self Propelled Coal Barge* yang diakibatkan oleh gelombang acak dapat dihitung dengan mengkorelasikan RAO dengan spektra gelombang  $S_{\zeta}(\omega)$ . Korelasi ini secara substansi adalah sama dengan mentransformasikan energi gelombang menjadi energi respons. Dengan begitu respons di gelombang acak secara sederhana bisa didapat dengan mengkalikan antara nilai spektrum energi gelombang  $S_{\zeta}(\omega)$  dengan  $RAO^2$

$$S_{\zeta r}(\omega) = S_{\zeta}(\omega) \times RAO^2$$

RAO yang digunakan dalam analisis ini merupakan RAO pada arah pembebanan gelombang yang menghasilkan nilai yang paling ekstrim, diantaranya untuk gerakan *Heave* lebih dominan terjadi akibat propagasi gelombang arah  $90^\circ$ , untuk gerakan *Roll* lebih dominan terjadi akibat propagasi gelombang arah  $90^\circ$ , dan untuk gerakan *Pitch* lebih dominan terjadi akibat propagasi gelombang arah  $180^\circ$ . Analisis spektra respons dilakukan untuk gerakan gerakan yang dibatasi pada kriteria operasi yakni gerakan *Heave*, gerakan *Roll*, dan gerakan *Pitch*. Dan dilakukan pada keseluruhan  $T_p$  dan  $H_s$  pada data sebaran gelombang dengan kondisi pembebanan kapal *full load*, *half load*, dan kondisi *ballast* untuk tiap-tiap perubahan kecepatan kapal diantaranya 0 knot, 3 knot, 5 knot dan 7 knot.

Terlihat pada tabel 4.12 yang merupakan contoh tabel komputasi perhitungan untuk mendapatkan spektra respons, tabel tersebut merupakan salah satu contoh perhitungan untuk mendapatkan spektra respons untuk gerakan *Heave* pada kondisi kapal *full load* dengan kecepatan 7 knot, yang beroperasi pada  $H_s=5,5$  meter. Perhitungan untuk gerakan *Heave*, *Roll*, *Pitch* kondisi pembebanan dan kecepatan yang lain serta untuk tinggi gelombang dan periode puncak yang lain menggunakan prosedur yang sama seperti tabel 4.12



**Tabel 4.12** Perhitungan Spektra Respons Gerak *Heave* untuk *Self Propelled Coal Barge*

|                  |                         |            |       |                                   |                         |                         |                             |                               |  |
|------------------|-------------------------|------------|-------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--|
| TP               | $\omega_p$              |            |       |                                   |                         |                         |                             |                               |  |
| 11,5             | 0,546087                |            |       |                                   |                         |                         |                             |                               |  |
| Hs               | 5,5                     | m          |       |                                   |                         |                         |                             |                               |  |
| $\omega$ (rad/s) | S( $\omega$ )           | SM         | RAO   | RAO <sup>2</sup>                  | Sr( $\omega$ )          | Sr( $\omega$ )*SM       | $\omega$ *Sr( $\omega$ )*SM | $\omega^2$ *Sr( $\omega$ )*SM | $\omega^4$ *Sr( $\omega$ )*SM                      |
| (rad/s)          | (m <sup>2</sup> /rad/s) |            | (m/m) | (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ) | (m <sup>2</sup> /rad/s) | (m <sup>2</sup> /rad/s) | (m <sup>3</sup> )           | (m <sup>2</sup> /rad/s)       | (m <sup>2</sup> rad <sup>3</sup> /s <sup>3</sup> ) |
| 1                | 2                       | 3          | 4     | 5                                 | 6                       | 7                       | 8                           | 9                             | 10   |
| 0,25             | 0,00000                 | 1          | 0,997 | 0,994                             | 0,00000                 | 0,00000                 | 0,00000                     | 0,00000                       | 0,00000  |
| 0,3              | 0,00028                 | 4          | 0,998 | 0,997                             | 0,00028                 | 0,00111                 | 0,00033                     | 0,00010                       | 0,00001  |
| 0,35             | 0,07155                 | 2          | 1,001 | 1,002                             | 0,07170                 | 0,14341                 | 0,05019                     | 0,01757                       | 0,00215  |
| 0,4              | 0,78749                 | 4          | 1,005 | 1,010                             | 0,79511                 | 3,18043                 | 1,27217                     | 0,50887                       | 0,08142  |
| 0,45             | 2,32074                 | 2          | 1,010 | 1,020                             | 2,36828                 | 4,73655                 | 2,13145                     | 0,95915                       | 0,19423  |
| 0,5              | 5,21445                 | 4          | 1,019 | 1,037                             | 5,40920                 | 21,63682                | 10,81841                    | 5,40920                       | 1,35230  |
| 0,55             | 9,09010                 | 2          | 1,030 | 1,061                             | 9,64402                 | 19,28805                | 10,60843                    | 5,83463                       | 1,76498  |
| 0,6              | 4,74274                 | 4          | 1,047 | 1,095                             | 5,19522                 | 20,78089                | 12,46854                    | 7,48112                       | 2,69320  |
| 0,65             | 2,93074                 | 2          | 1,069 | 1,143                             | 3,35049                 | 6,70099                 | 4,35564                     | 2,83117                       | 1,19617  |
| 0,7              | 2,32094                 | 4          | 1,097 | 1,204                             | 2,79367                 | 11,17467                | 7,82227                     | 5,47559                       | 2,68304  |
| 0,75             | 1,83746                 | 2          | 1,128 | 1,272                             | 2,33685                 | 4,67369                 | 3,50527                     | 2,62895                       | 1,47879  |
| 0,8              | 1,44142                 | 4          | 1,154 | 1,332                             | 1,92013                 | 7,68052                 | 6,14442                     | 4,91553                       | 3,14594  |
| 0,85             | 1,12856                 | 2          | 1,154 | 1,331                             | 1,50259                 | 3,00519                 | 2,55441                     | 2,17125                       | 1,56873  |
| 0,9              | 0,88575                 | 4          | 1,098 | 1,205                             | 1,06690                 | 4,26761                 | 3,84085                     | 3,45676                       | 2,79998  |
| 0,95             | 0,69858                 | 2          | 0,961 | 0,924                             | 0,64530                 | 1,29060                 | 1,22607                     | 1,16476                       | 1,05120  |
| 1                | 0,55441                 | 4          | 0,789 | 0,623                             | 0,34546                 | 1,38182                 | 1,38182                     | 1,38182                       | 1,38182  |
| 1,05             | 0,44304                 | 2          | 0,610 | 0,372                             | 0,16500                 | 0,32999                 | 0,34649                     | 0,36382                       | 0,40111  |
| 1,1              | 0,35659                 | 4          | 0,469 | 0,220                             | 0,07837                 | 0,31348                 | 0,34483                     | 0,37931                       | 0,45897  |
| 1,15             | 0,28908                 | 2          | 0,356 | 0,127                             | 0,03660                 | 0,07320                 | 0,08417                     | 0,09680                       | 0,12802  |
| 1,2              | 0,23600                 | 4          | 0,276 | 0,076                             | 0,01795                 | 0,07181                 | 0,08617                     | 0,10340                       | 0,14890  |
| 1,25             | 0,19399                 | 2          | 0,217 | 0,047                             | 0,00915                 | 0,01829                 | 0,02286                     | 0,02858                       | 0,04466  |
| 1,3              | 0,16050                 | 4          | 0,171 | 0,029                             | 0,00469                 | 0,01877                 | 0,02441                     | 0,03173                       | 0,05362  |
| 1,35             | 0,13363                 | 2          | 0,140 | 0,020                             | 0,00261                 | 0,00522                 | 0,00705                     | 0,00952                       | 0,01735  |
| 1,4              | 0,11192                 | 4          | 0,114 | 0,013                             | 0,00146                 | 0,00583                 | 0,00816                     | 0,01142                       | 0,02239  |
| 1,45             | 0,09426                 | 2          | 0,093 | 0,009                             | 0,00081                 | 0,00163                 | 0,00236                     | 0,00342                       | 0,00719  |
| 1,5              | 0,07982                 | 4          | 0,077 | 0,006                             | 0,00048                 | 0,00191                 | 0,00287                     | 0,00431                       | 0,00969  |
| 1,55             | 0,06793                 | 2          | 0,064 | 0,004                             | 0,00028                 | 0,00056                 | 0,00087                     | 0,00136                       | 0,00326  |
| 1,6              | 0,05809                 | 4          | 0,051 | 0,003                             | 0,00015                 | 0,00061                 | 0,00098                     | 0,00157                       | 0,00402  |
| 1,65             | 0,04991                 | 2          | 0,040 | 0,002                             | 0,00008                 | 0,00016                 | 0,00026                     | 0,00043                       | 0,00116  |
| 1,7              | 0,04306                 | 4          | 0,030 | 0,001                             | 0,00004                 | 0,00015                 | 0,00026                     | 0,00044                       | 0,00126  |
| 1,75             | 0,03730                 | 2          | 0,021 | 0,000                             | 0,00002                 | 0,00003                 | 0,00006                     | 0,00010                       | 0,00031  |
| 1,8              | 0,03244                 | 4          | 0,014 | 0,000                             | 0,00001                 | 0,00003                 | 0,00005                     | 0,00009                       | 0,00028  |
| 1,85             | 0,02832                 | 2          | 0,009 | 0,000                             | 0,00000                 | 0,00000                 | 0,00001                     | 0,00002                       | 0,00005  |
| 1,9              | 0,02481                 | 4          | 0,005 | 0,000                             | 0,00000                 | 0,00000                 | 0,00001                     | 0,00001                       | 0,00004  |
| 1,95             | 0,02181                 | 2          | 0,004 | 0,000                             | 0,00000                 | 0,00000                 | 0,00000                     | 0,00000                       | 0,00001  |
| 2                | 0,01923                 | 4          | 0,003 | 0,000                             | 0,00000                 | 0,00000                 | 0,00000                     | 0,00000                       | 0,00001  |
| 2,05             | 0,01701                 | 1          | 0,004 | 0,000                             | 0,00000                 | 0,00000                 | 0,00000                     | 0,00000                       | 0,00001  |
|                  |                         | $\Sigma =$ |       |                                   |                         | 110,78304               | 69,11051                    | 45,27015                      | 22,68910   |
|                  |                         |            |       |                                   |                         | $\Sigma 0$              | $\Sigma 1$                  | $\Sigma 2$                    | $\Sigma 4$   |

Pada kolom [1] dimasukkan nilai dari harga-harga dari frekuensi gelombang papasan mulai nilai kecil yakni 0,25 rad/s sampai dengan 2,05 rad/s, dengan



interval 0,05 rad/s. Pada kolom [2] dilakukan perhitungan spektra gelombang  $S_{\zeta}(\omega)$  sebagai fungsi perubahan frekuensi ( $\omega$ ). Pada perhitungan ini didasarkan pada perhitungan spektra gelombang dengan formula spektra gelombang JONSWAP dengan  $\gamma = 2,5$ . Sebagai mana diberikan pada persamaan 2.9 dalam contoh ini dihitung pada tinggi gelombang signifikan  $H_s = 5,5$  meter pada periode puncak  $T_p = 11,5$  detik. Kolom [3] memuat faktor simpson atau *Simpson's multiplier SM*, yang digunakan untuk membantu dalam perhitungan luasan dibawah kurva spektra dengan produk produk momennya. Kolom [4] berisi nilai-nilai RAO yang sesuai dengan frekuensi gelombang papasan pada kolom [1]. Selanjutnya pada kolom [5] merupakan harga kuadrat dari kolom [4]. Pada kolom [6] merupakan harga spektra respons yang dihitung dengan mengalikan harga  $RAO^2$  pada kolom [5] dengan nilai spektra gelombang pada kolom [2]. Kolom [7] berisi perkalian antara harga-harga dalam kolom [6] dan kolom [3], yakni perkalian antara spektra respons  $S_{\zeta_r}(\omega)$  dengan faktor simpson, yang kemudian dijumlahkan menjadi  $\Sigma 0$  ini menjadi dasar untuk memperoleh luasan dibawah spektra respons setelah difaktorisasi dengan interval kenaikan frekuensi  $\Delta\omega$ . Sesuai dengan aturan simpson  $m_{r0} = 1/3 \times \Delta\omega \times \Sigma 0$

Kolom [8] memuat hasil perkalian harga-harga dalam kolom [7] dengan frekuensi pada kolom [1], yang bila dijumlahkan akan memberikan hasil sebesar  $\Sigma 1$ . Selanjutnya hasil dari  $\Sigma 1$  akan diproses menggunakan analogi persamaan diatas, akan menghasilkan momen pertama luasan dibawah kurva spektra respons  $m_{r1}$ . Dalam kolom [9] dimuat hasil perkalian harga-harga dalam kolom [7] dengan harga-harga kuadrat frekuensi. Hasil penjumlahan dari kolom [9] adalah nilai sebesar  $\Sigma 2$ , yang proses lebih lanjut untuk memperoleh momen kedua luasan dibawah kurva spektra,  $m_{r2}$ , dan terakhir adalah kolom [10] yang memuat hasil perkalian frekuensi pangkat empat dengan spektra respons pada kolom [7]. Setelah nilai-nilai dalam kolom [10] dijumlahkan, dan harga penjumlahannya  $\Sigma 4$  dimasukkan kedalam persamaan yang sesuai aturan simpson, maka akan didapat momen keempat luasan dibawah kurva spektra respons,  $m_{r4}$ .



Setelah didapatkan luasan dan sejumlah momen spektra kemudian dapat dihitung harga-harga stokastik periode dan frekuensi serta percepatan *Heave* signifikan, seperti dimuat dalam tabel 4.13. Harga-harga stokastik tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan 2.14 sampai 2.21

**Tabel 4.13** Harga-harga stokastik respons gerakan *Heave Self Propelled Coal Barge* kondisi *full load* dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 5,5$  meter dan  $T_p = 11,5$  detik

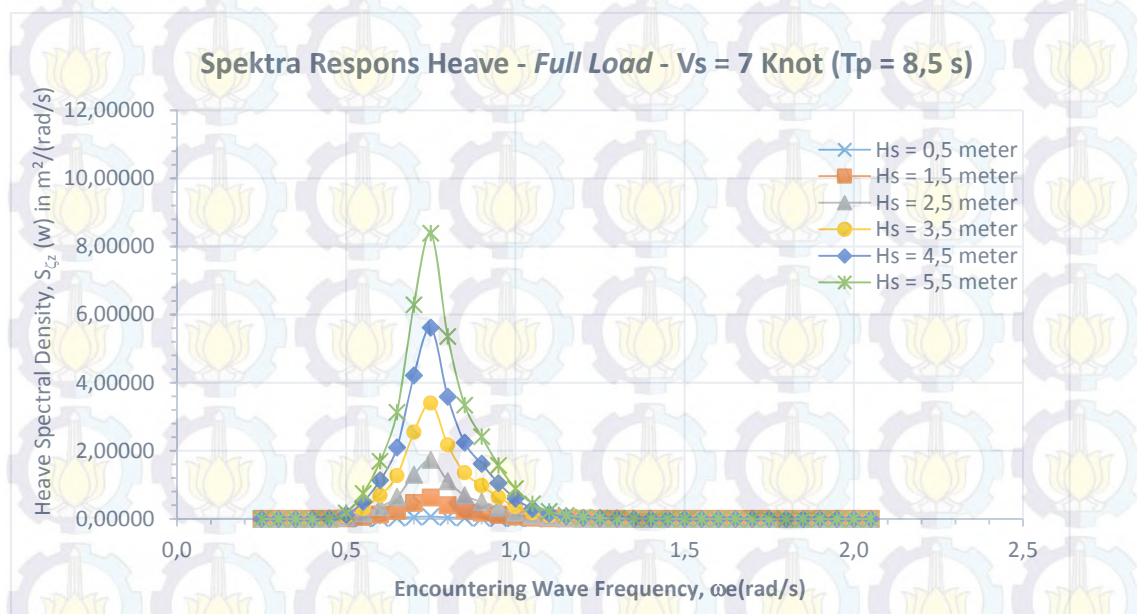
|                        |              |                   |  |                    |           |
|------------------------|--------------|-------------------|--|--------------------|-----------|
| $m_0 =$                | 1,8463840418 |                   |  |                    |           |
| $m_1 =$                | 1,1518418630 |                   |  |                    |           |
| $m_2 =$                | 0,7545025493 |                   |  |                    |           |
| $m_4 =$                | 0,3781516337 |                   |  |                    |           |
|                        |              | (Sig Heave Acc) = | 1,229881   | m/sec <sup>2</sup> | 0,12537 g |
| $\zeta_s =$            | 2,71763      | m                 | (Significant Heave amplitude)  |                    |           |
| $T_0 =$                | 12,58984     | secs              | (Modal period)   |                    |           |
| $T_p =$                | 11,09400     | secs              | (Peak period)  |                    |           |
| $T_z =$                | 12,28631     | secs              | (Zero up-crossing period)  |                    |           |
| $\omega_0 =$           | 0,49907      | rad/s             | (Modal frequency)  |                    |           |
| $\omega_p =$           | 0,56636      | rad/s             | (Peak frequency)   |                    |           |
| $\omega_z =$           | 0,51140      | rad/s             | (Zero up-crossing frequency)   |                    |           |
| $\zeta_{av} =$         | 1,69852      | m                 | (Average Heave amplitude)  |                    |           |
| $\zeta_{1/10} =$       | 3,45140      | m                 | (One-tenth highest Heave amplitude)                                      |                    |           |
| $\zeta_{ext} =$        | 5,08494      | m                 | (Most probable extreme Heave amplitude)                                  |                    |           |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | 13,09388     | m                 | (Extreme Heave amplitude w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence) |                    |           |

Selanjutnya akan dilakukan perhitungan keseluruhan data sebaran gelombang dengan kombinasi  $H_s$  dan  $T_p$  dengan jumlah 47, untuk 3 kondisi pembebanan dan 4 variasi kecepatan, dengan 3 gerakan vertikal (*Heave, Roll, Pitch*), sehingga akan dilakukan sebanyak 1692 set. Berikut ini akan disajikan gambar kurva spektra respons pada periode puncak  $T_p = 8,5$  detik dengan kenaikan tinggi gelombang signifikan dalam mode respons gerakan *Heave, Roll, dan Pitch* yang sesuai dengan skenario pengoperasian. Periode puncak  $T_p = 8,5$  detik mempunyai sebaran gelombang paling banyak diantara nilai periode puncak lainnya. Demi kepentingan efisiensi penulisan, untuk itu pada penyajian bab ini, hanya ditampilkan kurva pada periode puncak 8,5 detik dari rentang nilai periode puncak 3,5 detik sampai 11,5



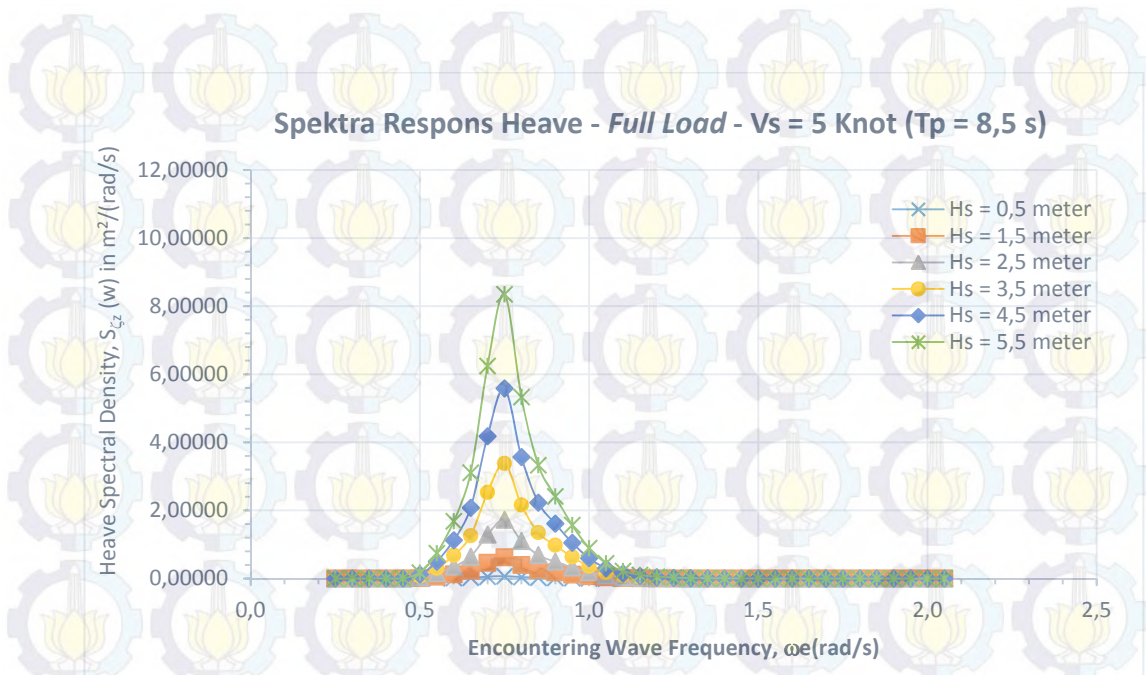
detik yang dirasa sudah cukup mewakili karakteristik spektra respon gerak dari SPCB. Spektra Respons gerakan yang ditinjau akan disesuaikan dengan kepentingan operabilitas kapal SPCB. Sesuai dengan kriteria *seakeeping* kapal pada tabel 2.2, untuk kepentingan operabilitas maka dibutuhkan respons gerakan dalam mode vertikal yaitu *Heave*, *Roll*, *Pitch*. Selain itu juga dibutuhkan nilai stokastiknya diantaranya amplitudo gerakan rata-rata untuk *Roll* dan *Pitch*, serta harga percepatan *Heave* signifikan yang nantinya akan dikorelasikan dengan kriteria operasi sebagai fungsi batasan tinggi gelombang signifikan dimana kriteria operasi akan terlampaui. Dengan memperhitungkan percepatan *Heave* signifikan dengan persamaan 2.21

#### 4.5.1 Spektra Respons untuk Gerakan *Heave* pada Kondisi *Full Load*

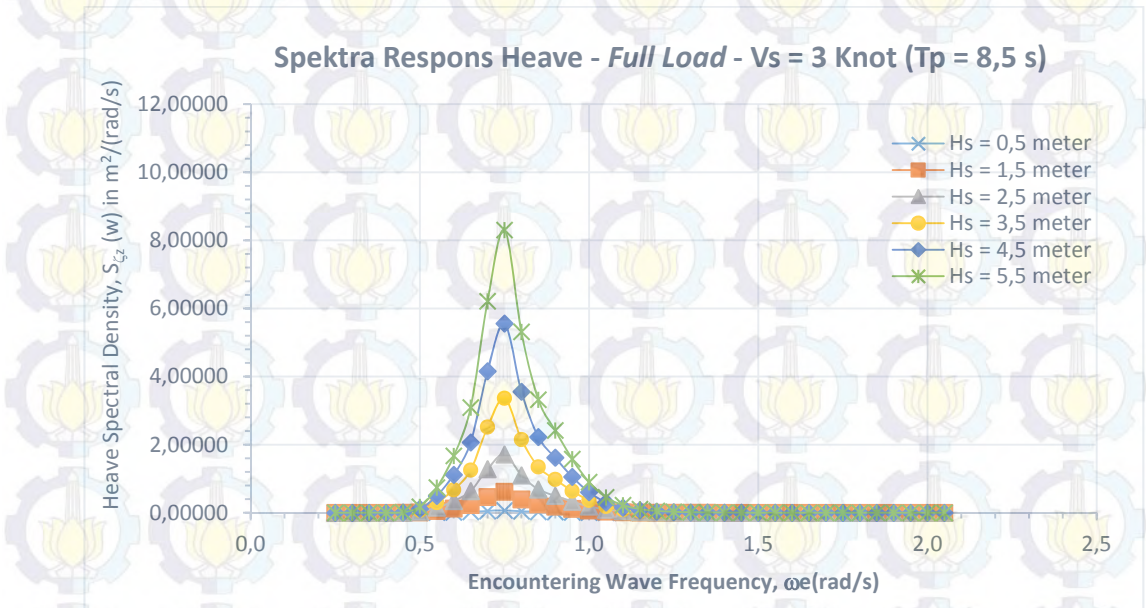


**Gambar 4.18** Spektra Respons *Heave* (*full load*) dengan kecepatan kapal 7 knot.



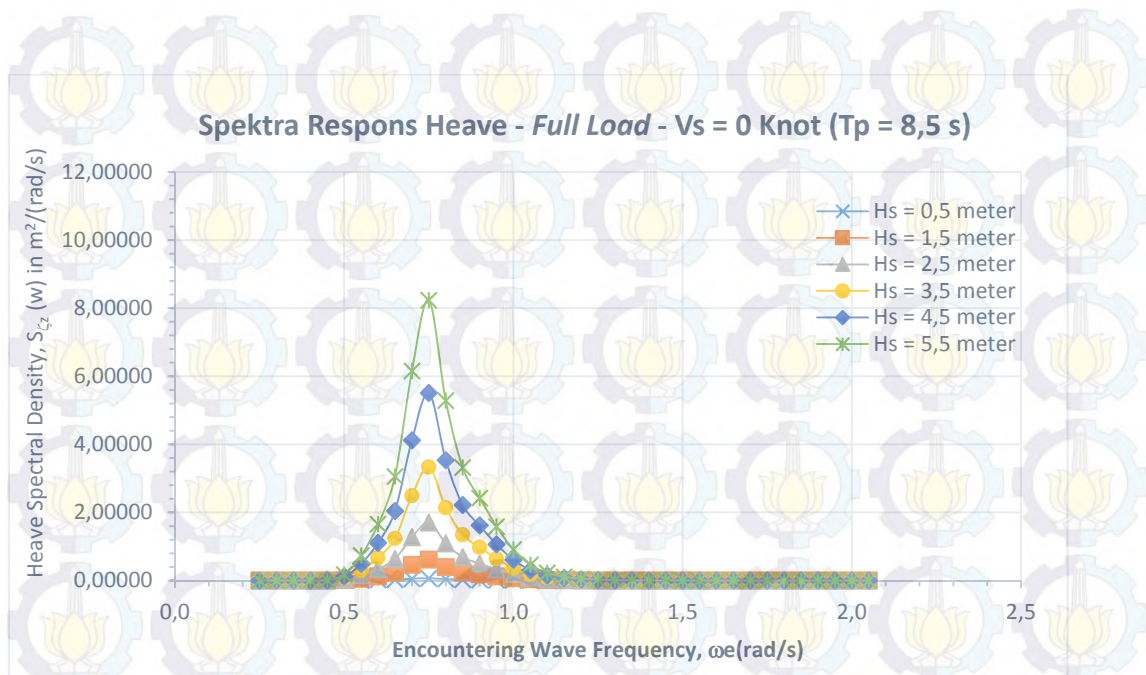


**Gambar 4.19** Spektra Respons *Heave* (full load) dengan kecepatan kapal 5 knot.



**Gambar 4.20** Spektra Respons *Heave* (full load) dengan kecepatan kapal 3 knot.





**Gambar 4.21** Spektra Respons *Heave* (*full load*) dengan kecepatan kapal 0 knot.

Untuk spektra respons *Heave* digelombang acak dihitung dari gerakan *Heave* yang ekstrem terjadi akibat propagasi gelombang arah  $90^\circ$ , pola perubahan spektra respons *Heave* relatif sangat mirip dengan pola perubahan spektra gelombangnya yang ditunjukkan pada gambar 4.16.C, dalam setiap gambar grafik terdapat 6 kurva spektra respons gerakan *Heave* yang dihitung menurut kenaikan tinggi gelombang signifikan mulai dari  $H_s = 0,5$  m sampai  $H_s = 5,5$  m untuk kondisi kapal *full load* dengan variasi kecepatan mulai 0 knot – 7 knot yang tersaji dalam gambar 4.19 – 4.21. puncak spektra respons terjadi pada frekuensi gelombang insiden disekitar 0,75 rad/s. Dengan posisi masing-masing puncak spektra kurang lebih sama. Dengan semakin tinggi nilai  $H_s$  maka respons puncak yang terjadi semakin tinggi pula untuk setiap kondisi, dengan nilai puncak spektra respons relatif lebih tinggi jika dibanding dengan puncak spektra gelombang, pada kondisi kecepatan 7 knot pada  $H_s = 5,5$  m, nilai puncak spektra respons *Heave* sudah mendekati harga  $8,4 \text{ m}^2/(\text{rad}/\text{det})$ , yang kira kira 1,27 kali nilai puncak spektra gelombang pada tinggi signifikan yang sama dan periode puncak 8,5 detik.



**Tabel 4.14** Harga-harga stokastik respons gerakan *Heave Self Propelled Coal Barge* kondisi *full load* dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 5,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

|                        |              |                   |  |                    |            |
|------------------------|--------------|-------------------|--|--------------------|------------|
| $m_0 =$                | 1,7344807550 |                   |  |                    |            |
| $m_1 =$                | 1,3370161547 |                   |  |                    |            |
| $m_2 =$                | 1,0530028958 |                   |  |                    |            |
| $m_4 =$                | 0,6988784167 | (Sig Heave Acc) = | 1,671979   | m/sec <sup>2</sup> | 0,170436 g |
| $\zeta_s =$            | 2,63399      | m                 | (Significant Heave amplitude)  |                    |            |
| $T_0 =$                | 10,18882     | secs              | (Modal period)   |                    |            |
| $T_p =$                | 9,64062      | secs              | (Peak period)  |                    |            |
| $T_z =$                | 10,08001     | secs              | (Zero up-crossing period)  |                    |            |
| $\omega_0 =$           | 0,61668      | rad/s             | (Modal frequency)  |                    |            |
| $\omega_p =$           | 0,65174      | rad/s             | (Peak frequency)   |                    |            |
| $\omega_z =$           | 0,62333      | rad/s             | (Zero up-crossing frequency)   |                    |            |
| $\zeta_{av} =$         | 1,64625      | m                 | (Average Heave amplitude)  |                    |            |
| $\zeta_{1/10} =$       | 3,34517      | m                 | (One-tenth highest Heave amplitude)                                      |                    |            |
| $\zeta_{ext} =$        | 4,99761      | m                 | (Most probable extreme Heave amplitude)                                  |                    |            |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | 12,79864     | m                 | (Extreme Heave amplitude w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence) |                    |            |

Dari tabel 4.14 dapat dibaca bahwa akibat eksitasi gelombang dengan tinggi 5,5 meter, atau amplitudo gelombang signifikan 2,75 meter akan mengakibatkan amplitudo *Heave* signifikan 2,63 m. Artinya sama juga amplitudo *Heave* signifikan kurang lebih sekitar dengan 0,95 kali amplitudo gelombang signifikan. Untuk  $H_s$  dibawah 5,5 m memiliki nilai amplitudo *Heave* signifikan yang lebih rendah.

Terlihat pula nilai stokastik dari spektra respons pada tabel 4.14, mempunyai nilai percepatan *Heave* signifikan sebesar  $1,67 \text{ m/s}^2$  atau  $0,17 \text{ g}$ , maka dari itu jika dihubungkan dengan kriteria [3] yang diharuskan nilai percepatan *Heave* signifikan  $< 0,2 \text{ g}$  atau  $< 1,96 \text{ m/s}^2$ . maka kapal pada kondisi *full load* dengan kecepatan kapal 7 knot masih mampu beroperasi pada kondisi tersebut karena tidak melebihi kriteria operasi yang ditentukan namun perlu dicek untuk kriteria [1] dan kriteria [2], kriteria [3] ini menyatakan kemampuan ABK untuk melakukan operasi reguler peralatan diatas kapal, yang akan sulit dilakukan bila percepatan gerak kapal melampaui  $0,2 \text{ g}$  yang berbahaya juga terhadap kapal saat beroperasi.



Melihat pada kondisi tersebut kapal akan mempunyai nilai percepatan *Heave* signifikan yang lebih rendah dengan rendahnya nilai  $H_s$ , berikut ini merupakan contoh kapal yang beroperasi pada  $H_s = 2,5$  m terlihat pada tabel 4.15 nilai stokastik dari spektra respons.

**Tabel 4.15** Harga-harga stokastik respons gerakan *Heave Self Propelled Coal Barge* kondisi *full load* dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 2,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

|                        |                     |                   |  |                    |                   |
|------------------------|---------------------|-------------------|--|--------------------|-------------------|
| $m_0 =$                | <b>0,3583637924</b> |                   |  |                    |                   |
| $m_1 =$                | <b>0,2762430072</b> |                   |  |                    |                   |
| $m_2 =$                | <b>0,2175625818</b> |                   |  |                    |                   |
| $m_4 =$                | <b>0,1443963671</b> | (Sig Heave Acc) = | 0,75999  | m/sec <sup>2</sup> | <b>0,077471</b> g |
| $\zeta_s =$            | <b>1,19727</b>      | m                 | (Significant Heave amplitude)  |                    |                   |
| $T_0 =$                | <b>10,18882</b>     | secs              | (Modal period)   |                    |                   |
| $T_P =$                | <b>9,64062</b>      | secs              | (Peak period)  |                    |                   |
| $T_Z =$                | <b>10,08001</b>     | secs              | (Zero up-crossing period)  |                    |                   |
| $\omega_0 =$           | <b>0,61668</b>      | rad/s             | (Modal frequency)  |                    |                   |
| $\omega_P =$           | <b>0,65174</b>      | rad/s             | (Peak frequency)   |                    |                   |
| $\omega_Z =$           | <b>0,62333</b>      | rad/s             | (Zero up-crossing frequency)   |                    |                   |
| $\zeta_{av} =$         | <b>0,74829</b>      | m                 | (Average Heave amplitude)  |                    |                   |
| $\zeta_{1/10} =$       | <b>1,52053</b>      | m                 | (One-tenth highest Heave amplitude)                                      |                    |                   |
| $\zeta_{ext} =$        | <b>2,27164</b>      | m                 | (Most probable extreme Heave amplitude)                                  |                    |                   |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | <b>5,81756</b>      | m                 | (Extreme Heave amplitude w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence) |                    |                   |

Pada kondisi kapal dengan amplitudo gelombang signifikan 1,25 m tersebut kapal memiliki nilai Amplitudo *Heave* signifikan 1,19 m yang artinya 0,952 kali amplitudo gelombang signifikan. Serta untuk nilai dari percepatan *Heave* signifikan sebesar 0,0774 g, yang artinya kapal pada kondisi ini memenuhi kriteria operasi untuk percepatan *Heave* signifikan yang kurang dari 0,2 g.

Melihat dari gambar 4.18 – 4.21 kondisi kapal *full load* yang memiliki variasi kecepatan dari 0-7 knot terlihat sedikit memberikan pengaruh perubahan grafik spektra respons dan juga nilai stokastik dari masing masing kecepatan pada semua  $H_s$  pada  $T_p = 8,5$  detik. Seperti contoh pada kondisi *full load* dengan kecepatan 3 knot yang akan ditunjukkan pada tabel 4.16 nilai stokastik dari spektra respons, sebagai berikut :



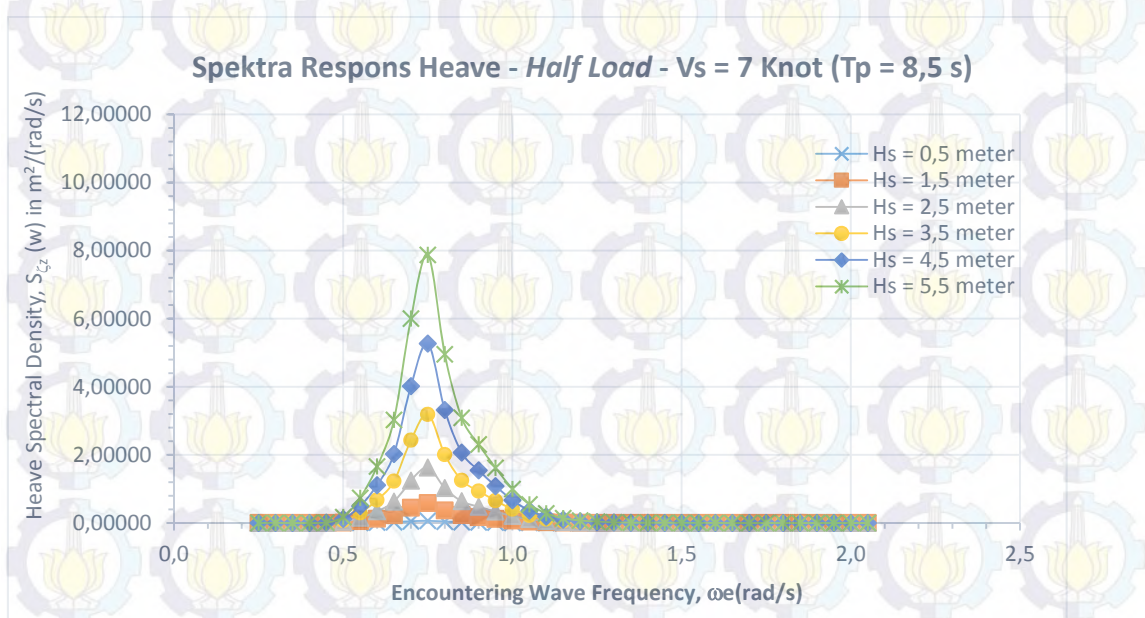
**Tabel 4.16** Harga-harga stokastik respons gerakan *Heave Self Propelled Coal Barge* kondisi *full load* dengan kecepatan kapal 3 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 2,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

|                        |                     |                   |                |  |                   |
|------------------------|---------------------|-------------------|----------------|--|-------------------|
| $m_0 =$                | <b>0,3555976602</b> |                   |                |  |                   |
| $m_1 =$                | <b>0,2743633397</b> |                   |                |  |                   |
| $m_2 =$                | <b>0,2163028080</b> |                   |                |  |                   |
| $m_4 =$                | <b>0,1438835491</b> |                   |                |  |                   |
|                        |                     | (Sig Heave Acc) = | <b>0,75864</b> | m/sec <sup>2</sup>   | <b>0,077333</b> g |
| $\zeta_s =$            | <b>1,19264</b>      | m                 |                | (Significant Heave amplitude)  |                   |
| $T_0 =$                | <b>10,17944</b>     | secs              |                | (Modal period)   |                   |
| $T_p =$                | <b>9,62978</b>      | secs              |                | (Peak period)  |                   |
| $T_z =$                | <b>10,07023</b>     | secs              |                | (Zero up-crossing period)  |                   |
| $\omega_0 =$           | <b>0,61724</b>      | rad/s             |                | (Modal frequency)  |                   |
| $\omega_p =$           | <b>0,65248</b>      | rad/s             |                | (Peak frequency)   |                   |
| $\omega_z =$           | <b>0,62394</b>      | rad/s             |                | (Zero up-crossing frequency)   |                   |
| $\zeta_{av} =$         | <b>0,74540</b>      | m                 |                | (Average Heave amplitude)  |                   |
| $\zeta_{1/10} =$       | <b>1,51465</b>      | m                 |                | (One-tenth highest Heave amplitude)                                      |                   |
| $\zeta_{ext} =$        | <b>2,26301</b>      | m                 |                | (Most probable extreme Heave amplitude)                                  |                   |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | <b>5,79531</b>      | m                 |                | (Extreme Heave amplitude w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence) |                   |

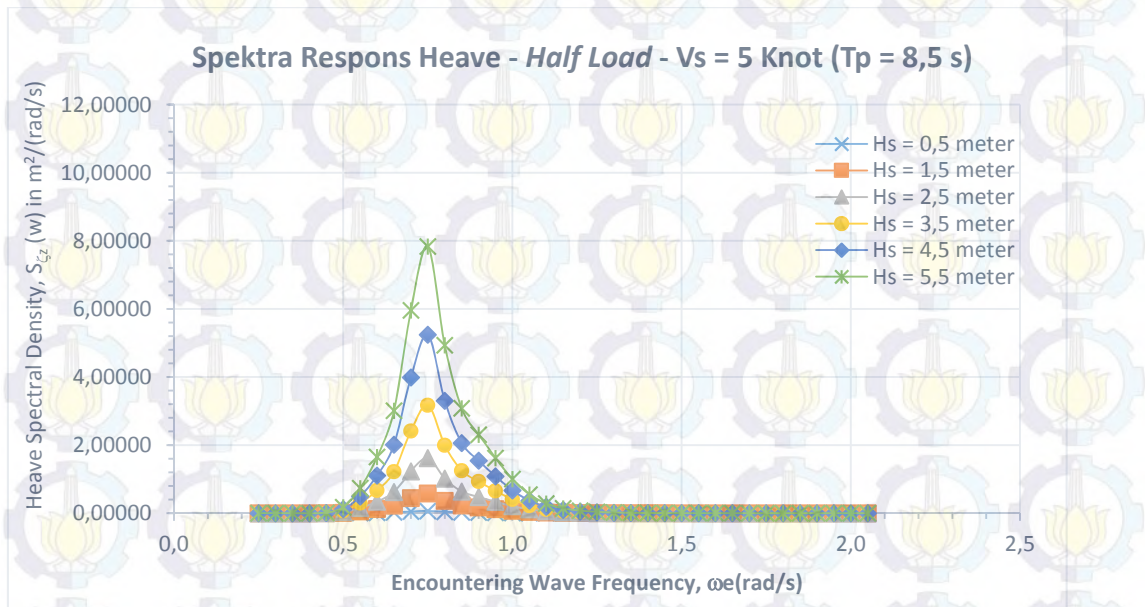
Terlihat pada tabel 4.16, nilai dari percepatan *Heave* signifikan sebesar 0,0773 g, sehingga pada kondisi gelombang signifikan 2,5 m nilai percepatan *Heave* signifikan masih dibawah nilai kriteria operasi percepatan *Heave* signifikan 0,2 g. Dan jika dilihat dengan semakin tingginya kecepatan kapal antara 3 knot dengan 7 knot pada  $H_s = 2,5$  m, memiliki nilai percepatan *Heave* signifikan yang hampir sama dengan selisih 0,0001 g .



#### 4.5.2 Spektra Respons untuk Gerakan *Heave* pada Kondisi *Half Load*

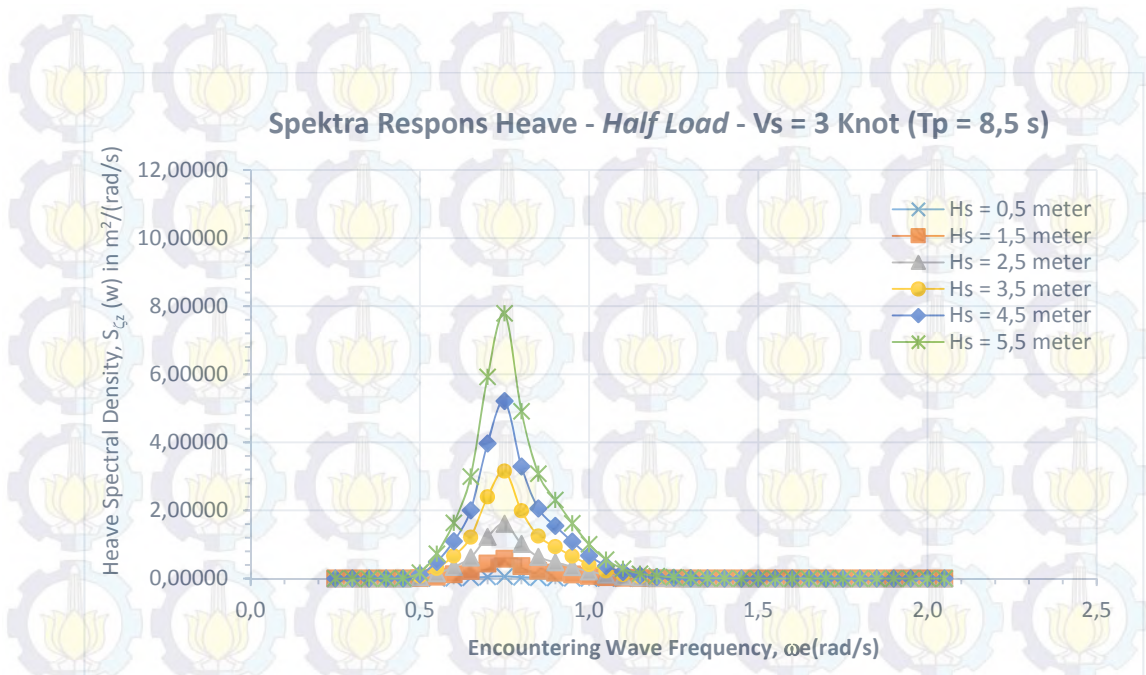


**Gambar 4.22** Spektra Respons *Heave* (*Half load*) dengan kecepatan kapal 7 knot.

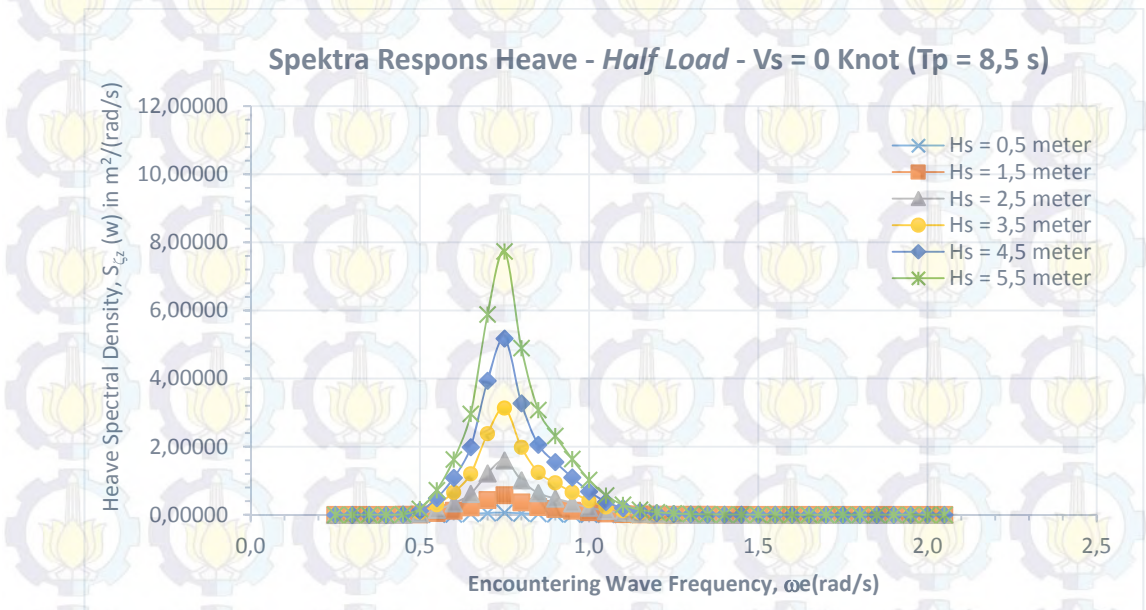


**Gambar 4.23** Spektra Respons *Heave* (*Half load*) dengan kecepatan kapal 5 knot.





**Gambar 4.24** Spektra Respons *Heave* (*half load*) dengan kecepatan kapal 3 knot.



**Gambar 4.25** Spektra Respons *Heave* (*Half load*) dengan kecepatan kapal 0 knot.

Untuk spektra respons *Heave* gelombang acak dihitung dari gerakan *Heave* yang ekstrem terjadi akibat propagasi gelombang arah  $90^\circ$ , pola perubahan spektra respons *Heave* relatif sangat mirip dengan pola perubahan spektra gelombangnya yang ditunjukkan pada gambar 4.16.C, dalam setiap gambar grafik terdapat 6 kurva spektra respons gerakan *Heave* yang dihitung menurut kenaikan



tinggi gelombang signifikan mulai dari  $H_s = 0,5$  m sampai  $H_s = 5,5$  m untuk kondisi kapal *half load* dengan variasi kecepatan mulai 0 knot – 7 knot yang tersaji dalam gambar 4.22 – 4.25. puncak spektra respons terjadi pada frekuensi gelombang insiden disekitar 0,75 rad/s. Dengan posisi masing-masing puncak spektra kurang lebih sama. Dengan semakin tinggi nilai  $H_s$  maka respons puncak yang terjadi semakin tinggi pula untuk setiap kondisi, dengan nilai puncak spektra respons relatif lebih tinggi jika dibanding dengan puncak spektra gelombang, pada kondisi kecepatan 7 knot pada  $H_s=5,5$  m, nilai puncak spektra respons *Heave* sudah mendekati harga  $7,87 \text{ m}^2/(\text{rad}/\text{det})$ , yang kira kira 1,19 kali nilai puncak spektra gelombang pada tinggi signifikan yang sama dan periode puncak 8,5 detik.

**Tabel 4.17** Harga-harga stokastik respons gerakan *Heave Self Propelled Coal Barge* kondisi *Half load* dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 5,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

|                        |              |                   |  |            |
|------------------------|--------------|-------------------|--|------------|
| $m_0 =$                | 1,6699454630 |                   |  |            |
| $m_1 =$                | 1,2933413489 |                   |  |            |
| $m_2 =$                | 1,0254800753 |                   |  |            |
| $m_4 =$                | 0,6947975790 | (Sig Heave Acc) = | 1,66709 m/sec <sup>2</sup>   | 0,169938 g |
| $\zeta_s =$            | 2,58453      | m                 | (Significant Heave amplitude)  |            |
| $T_0 =$                | 10,14098     | secs              | (Modal period)   |            |
| $T_P =$                | 9,54169      | secs              | (Peak period)  |            |
| $T_Z =$                | 10,02255     | secs              | (Zero up-crossing period)  |            |
| $\omega_0 =$           | 0,61958      | rad/s             | (Modal frequency)  |            |
| $\omega_P =$           | 0,65850      | rad/s             | (Peak frequency)   |            |
| $\omega_Z =$           | 0,62691      | rad/s             | (Zero up-crossing frequency)   |            |
| $\zeta_{av} =$         | 1,61533      | m                 | (Average Heave amplitude)  |            |
| $\zeta_{1/10} =$       | 3,28235      | m                 | (One-tenth highest Heave amplitude)                                      |            |
| $\zeta_{ext} =$        | 4,90570      | m                 | (Most probable extreme Heave amplitude)                                  |            |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | 12,56132     | m                 | (Extreme Heave amplitude w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence) |            |

Dari tabel 4.17 dapat dibaca bahwa akibat eksitasi gelombang dengan tinggi 5,5 meter, atau amplitudo gelombang signifikan 2,75 meter akan mengakibatkan amplitudo *Heave* signifikan 2,58 m. Artinya sama juga amplitudo *Heave* signifikan kurang lebih sekitar dengan 0,93 kali amplitudo gelombang signifikan. Untuk  $H_s$  dibawah 5,5 m memiliki nilai amplitudo *Heave* signifikan yang lebih rendah.



Terlihat pula nilai stokastik dari spektra respons pada tabel 4.17, mempunyai nilai percepatan *Heave* signifikan sebesar  $1,667 \text{ m/s}^2$  atau  $0,1699 \text{ g}$ , maka dari itu jika dihubungkan dengan kriteria [3] operasi kapal yang diharuskan nilai percepatan *Heave* signifikan  $< 0,2 \text{ g}$  atau  $< 1,96 \text{ m/s}^2$ . Maka kapal pada kondisi *half load* dengan kecepatan kapal 7 knot masih mampu beroperasi pada kondisi tersebut karena tidak melebihi kriteria operasi yang ditentukan namun perlu dicek untuk kriteria [1] dan kriteria [2], kriteria [3] ini menyatakan kemampuan ABK untuk melakukan operasi reguler peralatan diatas kapal, yang akan sulit dilakukan bila percepatan gerak kapal melampaui  $0,2 \text{ g}$  yang berbahaya juga terhadap kapal saat beroperasi.

Melihat pada kondisi tersebut kapal akan mempunyai nilai percepatan *Heave* signifikan yang lebih rendah dengan rendahnya nilai  $H_s$ , berikut ini merupakan contoh kapal yang beroperasi pada  $H_s = 2,5 \text{ m}$  terlihat pada tabel 4.18 nilai stokastik dari spektra respons.

**Tabel 4.18** Harga-harga stokastik respons gerakan *Heave Self Propelled Coal Barge* kondisi *half load* dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 2,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

|                        |              |                   |  |            |
|------------------------|--------------|-------------------|--|------------|
| $m_0 =$                | 0,3450300543 |                   |  |            |
| $m_1 =$                | 0,2672192870 |                   |  |            |
| $m_2 =$                | 0,2118760486 |                   |  |            |
| $m_4 =$                | 0,1435532188 |                   |  |            |
|                        |              | (Sig Heave Acc) = | 0,757768 m/sec <sup>2</sup>  | 0,077244 g |
| $\zeta_s =$            | 1,17479      | m                 | (Significant Heave amplitude)  |            |
| $T_0 =$                | 10,14098     | secs              | (Modal period)   |            |
| $T_p =$                | 9,54169      | secs              | (Peak period)  |            |
| $T_z =$                | 10,02255     | secs              | (Zero up-crossing period)  |            |
| $\omega_0 =$           | 0,61958      | rad/s             | (Modal frequency)  |            |
| $\omega_p =$           | 0,65850      | rad/s             | (Peak frequency)   |            |
| $\omega_z =$           | 0,62691      | rad/s             | (Zero up-crossing frequency)   |            |
| $\zeta_{av} =$         | 0,73424      | m                 | (Average Heave amplitude)  |            |
| $\zeta_{1/10} =$       | 1,49198      | m                 | (One-tenth highest Heave amplitude)                                      |            |
| $\zeta_{ext} =$        | 2,22987      | m                 | (Most probable extreme Heave amplitude)                                  |            |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | 5,70969      | m                 | (Extreme Heave amplitude w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence) |            |

Pada kondisi kapal dengan amplitudo gelombang signifikan  $1,25 \text{ m}$  tersebut kapal memiliki nilai Amplitudo *Heave* signifikan  $1,17 \text{ m}$  yang artinya  $0,936$  kali



amplitudo gelombang signifikan. Serta untuk nilai dari percepatan *Heave* signifikan sebesar 0,0772 g, yang artinya kapal pada kondisi ini memenuhi kriteria operasi untuk percepatan *Heave* signifikan yang kurang dari 0,2 g.

Melihat dari gambar 4.22 – 4.25 kondisi kapal *Half load* yang memiliki variasi kecepatan dari 0-7 knot terlihat sedikit memberikan pengaruh perubahan grafik spektra respons dan juga nilai stokastik dari masing masing kecepatan pada semua  $H_s$  pada  $T_p = 8,5$  detik. Seperti contoh pada kondisi *half load* dengan kecepatan 3 knot yang akan ditunjukkan pada tabel 4.19 nilai stokastik dari spektra respons, sebagai berikut :

**Tabel 4.19** Harga-harga stokastik respons gerakan *Heave Self Propelled Coal Barge* kondisi *half load* dengan kecepatan kapal 3 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 2,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

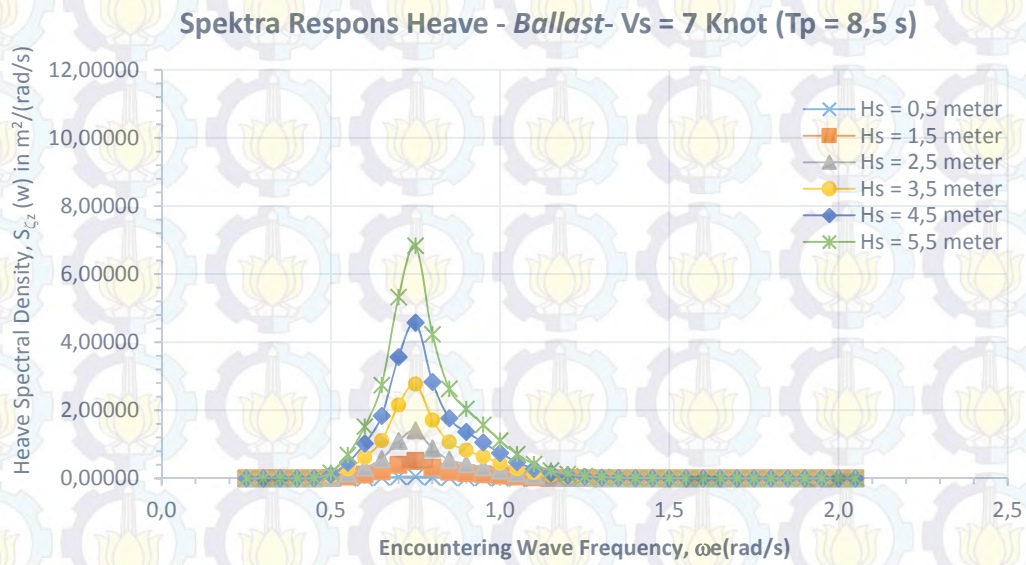
|                        |              |                   |  |            |
|------------------------|--------------|-------------------|--|------------|
| $m_0 =$                | 0,3424736744 |                   |  |            |
| $m_1 =$                | 0,2655115944 |                   |  |            |
| $m_2 =$                | 0,2107611308 |                   |  |            |
| $m_4 =$                | 0,1431505661 | (Sig Heave Acc) = | 0,756705 m/sec <sup>2</sup>  | 0,077136 g |
| $\zeta_s =$            | 1,17043      | m                 | (Significant Heave amplitude)  |            |
| $T_0 =$                | 10,13059     | secs              | (Modal period)   |            |
| $T_p =$                | 9,52993      | secs              | (Peak period)  |            |
| $T_z =$                | 10,01173     | secs              | (Zero up-crossing period)  |            |
| $\omega_0 =$           | 0,62022      | rad/s             | (Modal frequency)  |            |
| $\omega_p =$           | 0,65931      | rad/s             | (Peak frequency)   |            |
| $\omega_z =$           | 0,62758      | rad/s             | (Zero up-crossing frequency)   |            |
| $\zeta_{av} =$         | 0,73152      | m                 | (Average Heave amplitude)  |            |
| $\zeta_{1/10} =$       | 1,48644      | m                 | (One-tenth highest Heave amplitude)                                      |            |
| $\zeta_{ext} =$        | 2,22176      | m                 | (Most probable extreme Heave amplitude)                                  |            |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | 5,68876      | m                 | (Extreme Heave amplitude w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence) |            |

Terlihat pada tabel 4.19, nilai dari percepatan *Heave* signifikan sebesar 0,1542 g, sehingga pada kondisi gelombang signifikan 2,5 m nilai percepatan *Heave* signifikan masih dibawah nilai kriteria operasi percepatan *Heave* signifikan 0,2 g. Dan jika dilihat dengan semakin tingginya kecepatan kapal pada kondisi *half load* antara 3 knot dengan 7 knot pada  $H_s = 2,5$  m, memiliki nilai percepatan *Heave* signifikan yang hampir sama dengan selisih 0,0001 g.

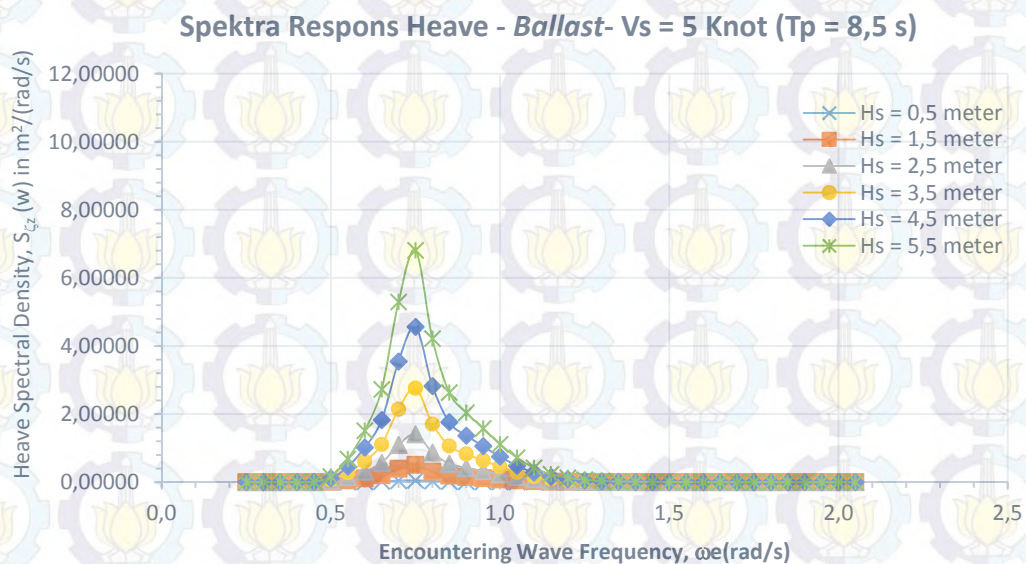


Jika dibandingkan antara kondisi *full load* dan *half load* maka dengan kecepatan 7 knot pada  $H_s = 2,5$  m dan  $T_p = 8,5$  s, nilai dari percepatan *Heave* signifikan untuk kondisi *full load* 0,0774 g dan untuk *half load* 0,0772 g.

#### 4.5.3 Spektra Respons untuk Gerakan *Heave* pada Kondisi *Ballast*

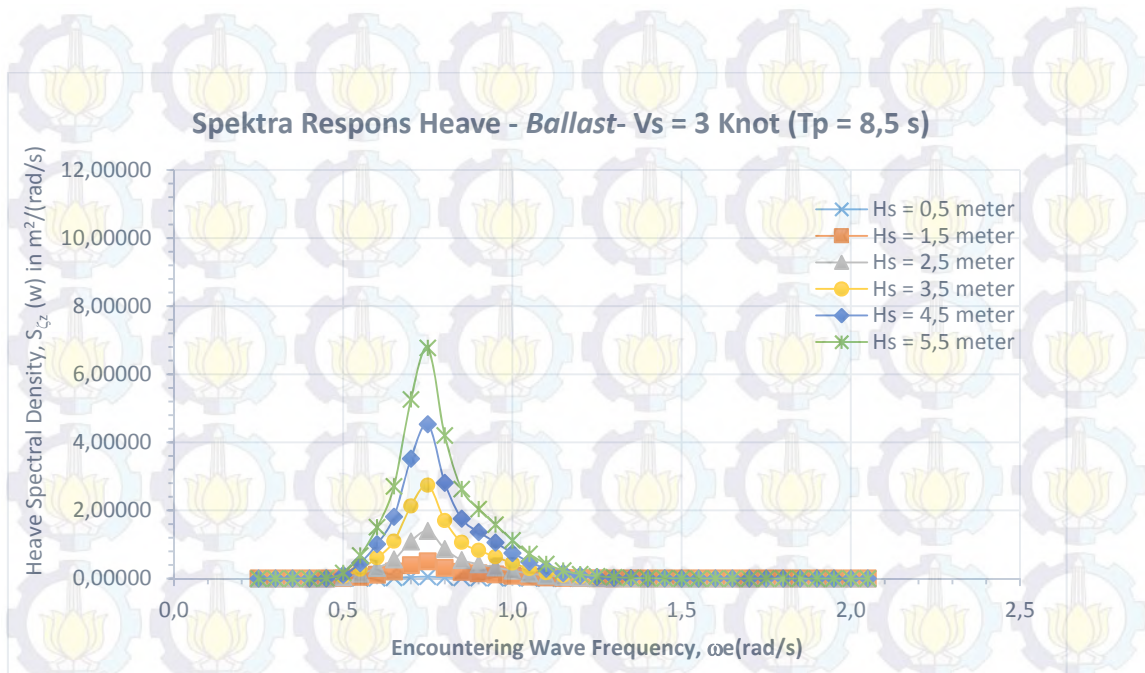


**Gambar 4.26** Spektra Respons *Heave* (*Ballast*) dengan kecepatan kapal 7 knot.

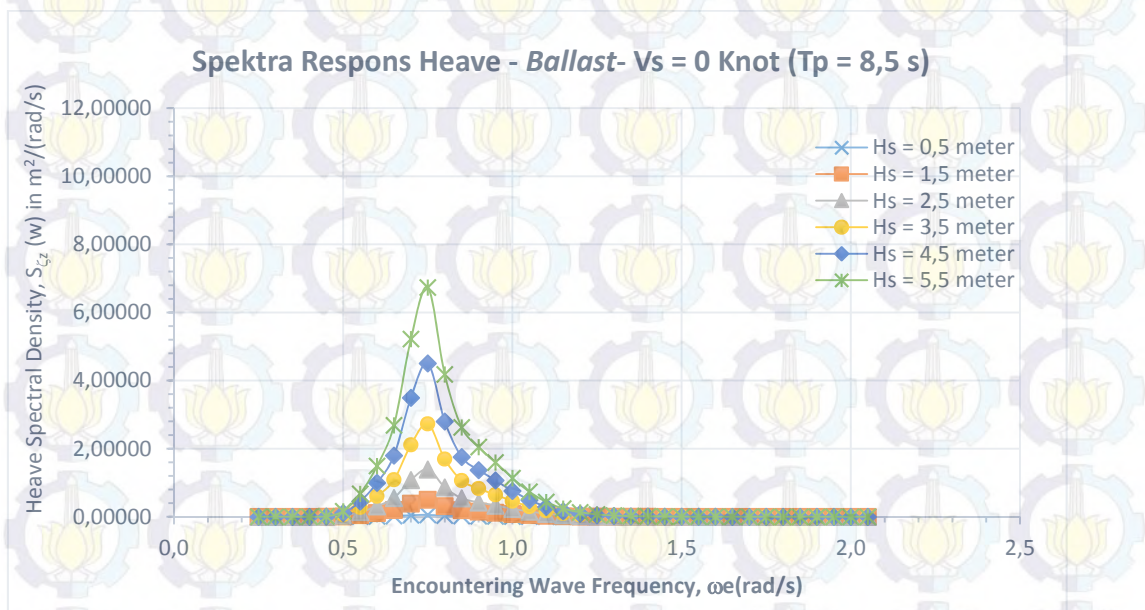


**Gambar 4.27** Spektra Respons *Heave* (*Ballast*) dengan kecepatan kapal 5 knot.





**Gambar 4.28** Spektra Respons *Heave* (*Ballast*) dengan kecepatan kapal 3 knot.



**Gambar 4.29** Spektra Respons *Heave* (*Ballast*) dengan kecepatan kapal 0 knot.

Untuk spektra respons *Heave* digelombang acak dihitung dari gerakan *Heave* yang ekstrem terjadi akibat propagasi gelombang arah  $90^\circ$ , pola perubahan spektra respons *Heave* relatif sangat mirip dengan pola perubahan spektra gelombangnya yang ditunjukkan pada gambar 4.16.C, dalam setiap gambar grafik terdapat 6 kurva spektra respons gerakan *Heave* yang dihitung menurut kenaikan



tinggi gelombang signifikan mulai dari  $H_s = 0,5$  m sampai  $H_s = 5,5$  m untuk kondisi kapal *ballast* dengan variasi kecepatan mulai 0 knot – 7 knot yang tersaji dalam gambar 4.26 – 4.29. puncak spektra respons terjadi pada frekuensi gelombang insiden disekitar 0,75 rad/s. Dengan posisi masing-masing puncak spektra kurang lebih sama. Dengan semakin tinggi nilai  $H_s$  maka respons puncak yang terjadi semakin tinggi pula untuk setiap kondisi, dengan nilai puncak spektra respons relatif lebih tinggi jika dibanding dengan puncak spektra gelombang, pada kondisi kecepatan 7 knot pada  $H_s=5,5$  m, nilai puncak spektra respons *Heave* sudah mendekati harga  $6,83 \text{ m}^2/(\text{rad}/\text{det})$ , yang kira kira 1,03 kali nilai puncak spektra gelombang pada tinggi signifikan yang sama dan periode puncak 8,5 detik.

**Tabel 4.20** Harga-harga stokastik respons gerakan *Heave Self Propelled Coal Barge* kondisi *ballast* dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 5,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

|                        |              |                   |  |                    |            |
|------------------------|--------------|-------------------|--|--------------------|------------|
| $m_0 =$                | 1,5180215403 |                   |  |                    |            |
| $m_1 =$                | 1,1890597487 |                   |  |                    |            |
| $m_2 =$                | 0,9576359117 |                   |  |                    |            |
| $m_4 =$                | 0,6797467309 |                   |  |                    |            |
|                        |              | (Sig Heave Acc) = | 1,648935   | m/sec <sup>2</sup> | 0,168087 g |
| $\zeta_s =$            | 2,46416      | m                 | (Significant Heave amplitude)  |                    |            |
| $T_0 =$                | 10,02686     | secs              | (Modal period)   |                    |            |
| $T_P =$                | 9,32218      | secs              | (Peak period)  |                    |            |
| $T_Z =$                | 9,88848      | secs              | (Zero up-crossing period)  |                    |            |
| $\omega_0 =$           | 0,62664      | rad/s             | (Modal frequency)  |                    |            |
| $\omega_P =$           | 0,67401      | rad/s             | (Peak frequency)   |                    |            |
| $\omega_Z =$           | 0,63541      | rad/s             | (Zero up-crossing frequency)   |                    |            |
| $\zeta_{av} =$         | 1,54010      | m                 | (Average Heave amplitude)  |                    |            |
| $\zeta_{1/10} =$       | 3,12948      | m                 | (One-tenth highest Heave amplitude)                                      |                    |            |
| $\zeta_{ext} =$        | 4,68160      | m                 | (Most probable extreme Heave amplitude)                                  |                    |            |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | 11,98314     | m                 | (Extreme Heave amplitude w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence) |                    |            |

Dari tabel 4.20 dapat dibaca bahwa akibat eksitasi gelombang dengan tinggi 5,5 meter, atau amplitudo gelombang signifikan 2,75 meter akan mengakibatkan amplitudo *Heave* signifikan 2,46 m. Artinya sama juga amplitudo *Heave* signifikan kurang lebih sekitar dengan 0,89 kali amplitudo gelombang signifikan. Untuk  $H_s$  dibawah 5,5 m memiliki nilai amplitudo *Heave* signifikan yang lebih rendah.



Terlihat pula nilai stokastik dari spektra respons pada tabel 4.20, mempunyai nilai percepatan *Heave* signifikan sebesar  $1,6489 \text{ m/s}^2$  atau  $0,168 \text{ g}$ , maka dari itu jika dihubungkan dengan kriteria [3] operasi kapal yang diharuskan nilai percepatan *Heave* signifikan  $< 0.2\text{g}$  atau  $< 1,96 \text{ m/s}^2$ . Maka kapal pada kondisi *ballast* dengan kecepatan kapal 7 knot masih mampu beroperasi pada kondisi tersebut karena tidak melebihi kriteria operasi yang ditentukan namun perlu dicek untuk kriteria [1] dan kriteria [2], kriteria [3] ini menyatakan kemampuan ABK untuk melakukan operasi reguler peralatan diatas kapal, yang akan sulit dilakukan bila percepatan gerak kapal melampaui  $0,2 \text{ g}$  yang berbahaya juga terhadap kapal saat beroperasi.

Melihat pada kondisi tersebut kapal akan mempunyai nilai percepatan *Heave* signifikan yang lebih rendah dengan rendahnya nilai  $H_s$ , berikut ini merupakan contoh kapal yang beroperasi pada  $H_s = 2,5 \text{ m}$  terlihat pada tabel 4.21 nilai stokastik dari spektra respons.

**Tabel 4.21** Harga-harga stokastik respons gerakan *Heave Self Propelled Coal Barge* kondisi *ballast* dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 2,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

|                           |              |                   |  |            |
|---------------------------|--------------|-------------------|--|------------|
| $m_0 =$                   | 0,3136408141 |                   |  |            |
| $m_1 =$                   | 0,2456735018 |                   |  |            |
| $m_2 =$                   | 0,1978586594 |                   |  |            |
| $m_4 =$                   | 0,1404435394 | (Sig Heave Acc) = | 0,749516 m/sec <sup>2</sup>  | 0,076403 g |
| $\zeta_s =$               | 1,12007      | m                 | (Significant Heave amplitude)  |            |
| $T_0 =$                   | 10,02686     | secs              | (Modal period)   |            |
| $T_p =$                   | 9,32218      | secs              | (Peak period)  |            |
| $T_z =$                   | 9,88848      | secs              | (Zero up-crossing period)  |            |
| $\omega_0 =$              | 0,62664      | rad/s             | (Modal frequency)  |            |
| $\omega_p =$              | 0,67401      | rad/s             | (Peak frequency)   |            |
| $\omega_z =$              | 0,63541      | rad/s             | (Zero up-crossing frequency)   |            |
| $\zeta_{av} =$            | 0,70005      | m                 | (Average Heave amplitude)  |            |
| $\zeta_{1/10} =$          | 1,42249      | m                 | (One-tenth highest Heave amplitude)                                      |            |
| $\zeta_{ext} =$           | 2,12800      | m                 | (Most probable extreme Heave amplitude)                                  |            |
| $\zeta_{(\alpha=0.01)} =$ | 5,44688      | m                 | (Extreme Heave amplitude w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence) |            |

Pada kondisi kapal dengan amplitudo gelombang signifikan  $1,25 \text{ m}$  tersebut kapal memiliki nilai Amplitudo *Heave* signifikan  $1,12 \text{ m}$  yang artinya  $0,896$  kali



amplitudo gelombang signifikan. Serta untuk nilai dari percepatan *Heave* signifikan sebesar 0,0764 g, yang artinya kapal pada kondisi ini memenuhi kriteria operasi untuk percepatan *Heave* signifikan yang kurang dari 0,2 g.

Melihat dari gambar 4.26 – 4.29 kondisi kapal *ballast* yang memiliki variasi kecepatan dari 0-7 knot terlihat sedikit memberikan pengaruh perubahan grafik spektra respons dan juga nilai stokastik dari masing masing kecepatan pada semua  $H_s$  pada  $T_p = 8,5$  detik. Seperti contoh pada kondisi *half load* dengan kecepatan 3 knot yang akan ditunjukkan pada tabel 4.22 nilai stokastik dari spektra respons, sebagai berikut :

**Tabel 4.22** Harga-harga stokastik respons gerakan *Heave Self Propelled Coal Barge* kondisi *ballast* dengan kecepatan kapal 3 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 2,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

|                        |              |                   |  |            |
|------------------------|--------------|-------------------|--|------------|
| $m_0 =$                | 0,3118295850 |                   |  |            |
| $m_1 =$                | 0,2445257838 |                   |  |            |
| $m_2 =$                | 0,1971739136 |                   |  |            |
| $m_4 =$                | 0,1403090986 |                   |  |            |
|                        |              | (Sig Heave Acc) = | 0,749157 m/sec <sup>2</sup>  | 0,076367 g |
| $\zeta_s =$            | 1,11683      | m                 | (Significant Heave amplitude)  |            |
| $T_0 =$                | 10,01575     | secs              | (Modal period)   |            |
| $T_P =$                | 9,31049      | secs              | (Peak period)  |            |
| $T_Z =$                | 9,87699      | secs              | (Zero up-crossing period)  |            |
| $\omega_0 =$           | 0,62733      | rad/s             | (Modal frequency)  |            |
| $\omega_P =$           | 0,67485      | rad/s             | (Peak frequency)   |            |
| $\omega_Z =$           | 0,63614      | rad/s             | (Zero up-crossing frequency)   |            |
| $\zeta_{av} =$         | 0,69802      | m                 | (Average Heave amplitude)  |            |
| $\zeta_{1/10} =$       | 1,41838      | m                 | (One-tenth highest Heave amplitude)                                      |            |
| $\zeta_{ext} =$        | 2,12202      | m                 | (Most probable extreme Heave amplitude)                                  |            |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | 5,43140      | m                 | (Extreme Heave amplitude w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence) |            |

Terlihat pada tabel 4.22, nilai dari percepatan *Heave* signifikan sebesar 0,0763 g, sehingga pada kondisi gelombang signifikan 2,5 m nilai percepatan *Heave* signifikan masih dibawah nilai kriteria operasi percepatan *Heave* signifikan 0,2 g. Dan jika dilihat dengan semakin tingginya kecepatan kapal pada kondisi *ballast* antara 3 knot dengan 7 knot pada  $H_s = 2,5$  m, memiliki nilai percepatan *Heave* signifikan yang hampir sama dengan selisih 0,0001 g.

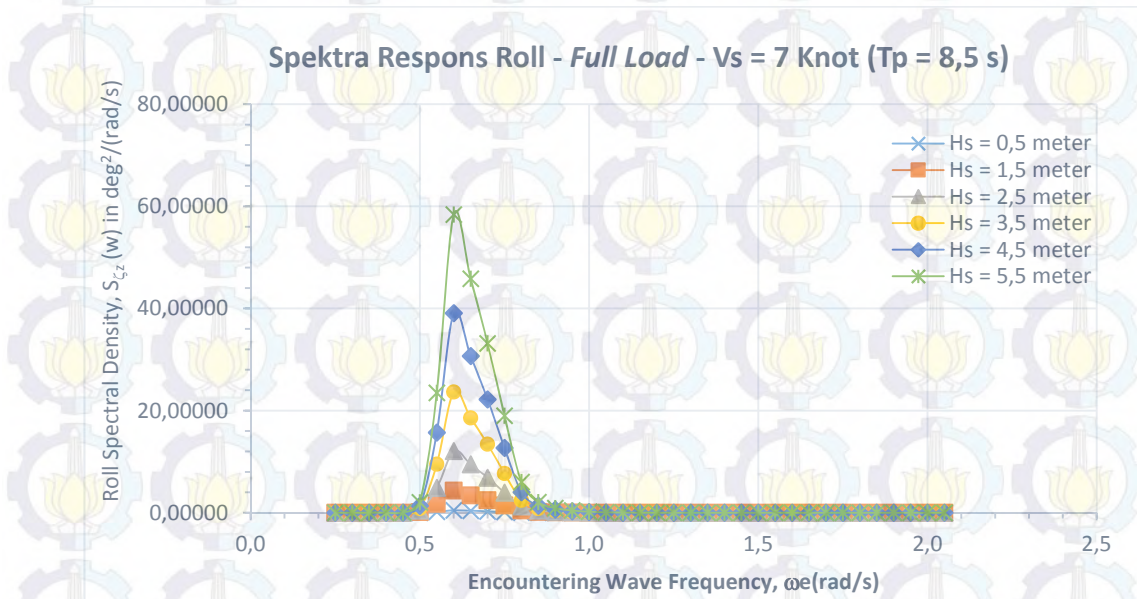


Dari semua ketiga kondisi pembebanan kapal untuk semua perubahan kecepatan kapal dari 0 knot, 3 knot, 5 knot, 7 knot, yang dianalisis pada kondisi tinggi gelombang signifikan yang dimulai dari 0,5 meter sampai 5,5 meter pada perwakilan periode puncak 8,5 detik memberikan sedikit perubahan nilai spektra respons *Heave* dan nilai-nilai stokastik dari spektra respons *Heave*. Dengan perbandingan antara kondisi *full load*, *half load*, dan *ballast* dengan kecepatan 7 knot pada  $H_s = 2,5$  m dan  $T_p = 8,5$  s, nilai dari percepatan *Heave* signifikan untuk kondisi *full load* 0,0774 g, untuk *half load* 0,0772 g, untuk *ballast* 0,0764 g.

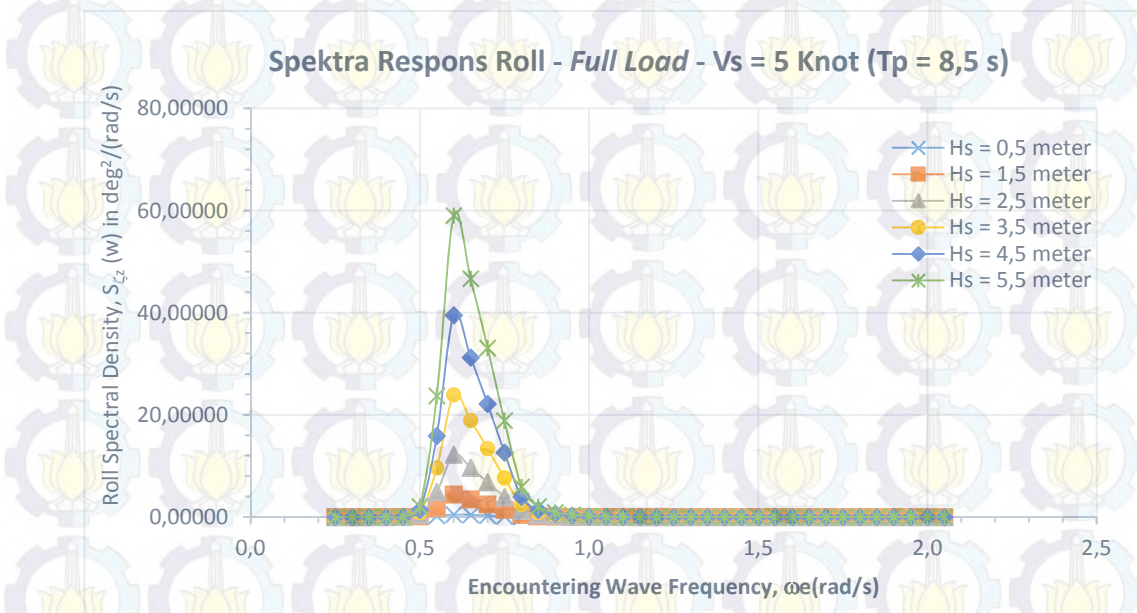
Terlihat pada kondisi  $H_s = 0,5$  m sampai  $H_s = 5,5$  m pada periode puncak 8,5 detik, untuk ketiga kondisi pembebanan dan empat perubahan kecepatan mulai dari 0 knot sampai 7 knot, mempunyai nilai percepatan *Heave* signifikan yang dibawah nilai kriteria operasi percepatan *Heave* signifikan 0,2 g. Kriteria [3] ini sebagai kriteria kemampuan seorang ABK dapat bekerja diatas kapal, jika nilai kriteria operasi untuk percepatan *Heave* signifikan dilampaui maka kapal pada kondisi tersebut akan terjadi kegagalan dalam beroperasi. Untuk Periode puncak yang lainnya mulai dari  $T_p = 3,5$  s sampai 11,5 s akan dijelaskan menggunakan tabel batasan tinggi gelombang signifikan yang menyesuaikan dengan kriteria operasi untuk percepatan *Heave* signifikan yang termasuk dalam kriteria 3.



#### 4.5.4 Spektra Respons untuk Gerakan Roll pada Kondisi Full Load

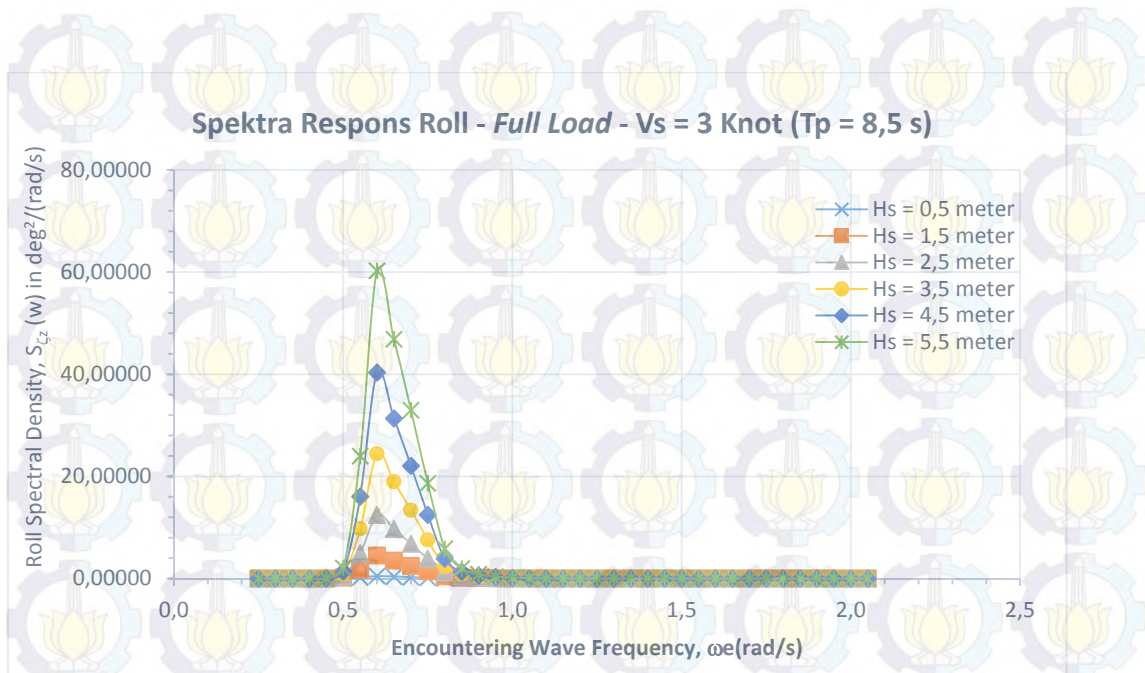


**Gambar 4.30** Spektra Respons Roll (full load) dengan kecepatan kapal 7 knot.

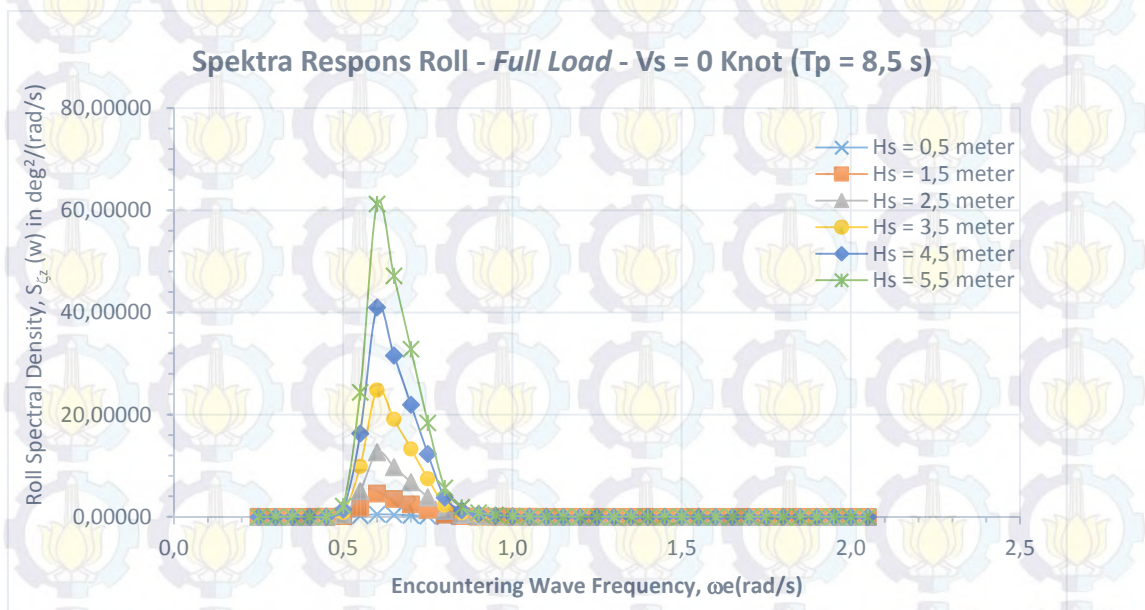


**Gambar 4.31** Spektra Respons Roll (full load) dengan kecepatan kapal 5 knot.





**Gambar 4.32** Spektra Respons Roll (full load) dengan kecepatan kapal 3 knot.



**Gambar 4.33** Spektra Respons Roll (full load) dengan kecepatan kapal 0 knot.

Untuk spektra respons Roll digelombang acak dihitung dari gerakan Roll yang ekstrem terjadi akibat propagasi gelombang arah  $90^\circ$ , pola perubahan spektra respons Roll relatif sangat mirip dengan pola perubahan spektra gelombangnya yang ditunjukkan pada gambar 4.16.C, dalam setiap gambar grafik terdapat 6 kurva spektra respons gerakan Roll yang dihitung menurut kenaikan tinggi gelombang



signifikan mulai dari  $H_s = 0,5$  m sampai  $H_s = 5,5$  m untuk kondisi kapal *full load* dengan variasi kecepatan mulai 0 knot – 7 knot yang tersaji dalam gambar 4.30 4.33. puncak spektra respons *Roll* terjadi pada frekuensi gelombang insiden disekitar 0,6 rad/s. Dengan posisi masing-masing puncak spektra kurang lebih sama. Dengan semakin tinggi nilai  $H_s$  maka respons puncak yang terjadi semakin tinggi pula untuk setiap kondisi, dengan nilai puncak spektra respons *Roll* relatif lebih tinggi jika dibanding dengan puncak spektra gelombang, pada kondisi kecepatan 7 knot pada  $H_s=5,5$  m, nilai puncak spektra respons *Roll* sudah mendekati harga  $58,38 \text{ deg}^2/(\text{rad}/\text{det})$ , pada tinggi signifikan yang sama dan periode puncak 8,5 detik. Terlihat pula grafik spektra respon *Roll* menggambarkan bagian yang gemuk pada rentang frekuensi gelombang insiden 0,6 rad/s – 0,7 rad/s, dikarenakan resonansi gerakan *Roll*.

**Tabel 4.23** Harga-harga stokastik respons gerakan *Roll Self Propelled Coal Barge* kondisi *full load* dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 5,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

|                        |              |       |  |
|------------------------|--------------|-------|--|
| $m_0 =$                | 9,7517503981 |       |  |
| $m_1 =$                | 6,3199492860 |       |  |
| $m_2 =$                | 4,1482529041 |       |  |
| $m_4 =$                | 1,8642892801 |       |  |
| $\zeta_s =$            | 6,24556      | deg   | (Significant Roll amplitude)   |
| $T_0 =$                | 12,11881     | secs  | (Modal period)   |
| $T_p =$                | 11,71566     | secs  | (Peak period)  |
| $T_z =$                | 12,04203     | secs  | (Zero up-crossing period)  |
| $\omega_0 =$           | 0,51847      | rad/s | (Modal frequency)  |
| $\omega_p =$           | 0,53631      | rad/s | (Peak frequency)   |
| $\omega_z =$           | 0,52177      | rad/s | (Zero up-crossing frequency)   |
| $\zeta_{av} =$         | 3,90347      | deg   | (Average Roll amplitude)   |
| $\zeta_{1/10} =$       | 7,93186      | deg   | (One-tenth highest Roll amplitude)   |
| $\zeta_{ext} =$        | 11,70275     | deg   | (Most probable extreme Roll amplitude)                                     |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | 15,05893     | deg   | (Extreme Roll amplitude w/ prob. of occ.<br>1% -> 99% level of confidence) |



Dari tabel 4.23 dapat dibaca bahwa akibat eksitasi gelombang dengan tinggi 5,5 meter, mengakibatkan amplitudo *Roll* signifikan 6,24 deg. Untuk  $H_s$  dibawah 5,5 m memiliki nilai amplitudo *Roll* signifikan yang lebih rendah.

Terlihat pula nilai stokastik dari spektra respons *Roll* pada tabel 4.23, mempunyai nilai amplitudo *Roll* rata-rata sebesar 3,90 deg, maka dari itu jika dihubungkan dengan kriteria operasi kapal nilai amplitudo *Roll* rata-rata lebih dari 3,75 deg.

Melihat pada kondisi tersebut kapal akan mempunyai amplitudo *Roll* rata-rata yang lebih rendah dengan rendahnya nilai  $H_s$ , berikut ini merupakan contoh kapal yang beroperasi pada  $H_s = 2,5$  m terlihat pada tabel 4.24 nilai stokastik dari spektra respons.

**Tabel 4.24** Harga-harga stokastik respons gerakan *Roll Self Propelled Coal Barge* kondisi *full load* dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 2,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

|                        |                     |       |   |
|------------------------|---------------------|-------|---|
| $m_0 =$                | <b>2,0148244624</b> |       |   |
| $m_1 =$                | <b>1,3057746459</b> |       |   |
| $m_2 =$                | <b>0,8570770463</b> |       |   |
| $m_4 =$                | <b>0,3851837356</b> |       |   |
| $\zeta_s =$            | <b>2,83889</b>      | deg   | (Significant Roll amplitude)  |
| $T_0 =$                | <b>12,11881</b>     | secs  | (Modal period)  |
| $T_p =$                | <b>11,71566</b>     | secs  | (Peak period)   |
| $T_z =$                | <b>12,04203</b>     | secs  | (Zero up-crossing period)   |
| $\omega_0 =$           | <b>0,51847</b>      | rad/s | (Modal frequency)   |
| $\omega_p =$           | <b>0,53631</b>      | rad/s | (Peak frequency)  |
| $\omega_z =$           | <b>0,52177</b>      | rad/s | (Zero up-crossing frequency)  |
| $\zeta_{av} =$         | <b>1,77431</b>      | deg   | (Average Roll amplitude)  |
| $\zeta_{1/10} =$       | <b>3,60539</b>      | deg   | (One-tenth highest Roll amplitude)                                      |
| $\zeta_{ext} =$        | <b>5,31943</b>      | deg   | (Most probable extreme Roll amplitude)                                  |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | <b>6,84497</b>      | deg   | (Extreme Roll amplitude w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence) |

Pada kondisi kapal dengan tinggi gelombang signifikan 2,5 m tersebut kapal memiliki nilai Amplitudo *Roll* signifikan 2,83 deg. Serta untuk nilai dari amplitudo



*Roll* rata-rata sebesar 1,77 deg, yang artinya kapal pada kondisi ini memenuhi kriteria operasi untuk amplitudo *Roll* rata-rata yang kurang dari 3,75 deg.

Melihat dari gambar 4.30 – 4.33 kondisi kapal *full load* yang memiliki variasi kecepatan dari 0-7 knot terlihat sedikit memberikan pengaruh perubahan grafik spektra respons *Roll* dan juga nilai stokastik dari masing-masing kecepatan pada semua  $H_s$  pada  $T_p = 8,5$  detik. Seperti contoh pada kondisi *full load* dengan kecepatan 3 knot yang akan ditunjukkan pada tabel 4.25 nilai stokastik dari spektra respons *Roll*, sebagai berikut :

**Tabel 4.25** Harga-harga stokastik respons gerakan *Roll Self Propelled Coal Barge* kondisi *full load* dengan kecepatan kapal 3 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 2,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

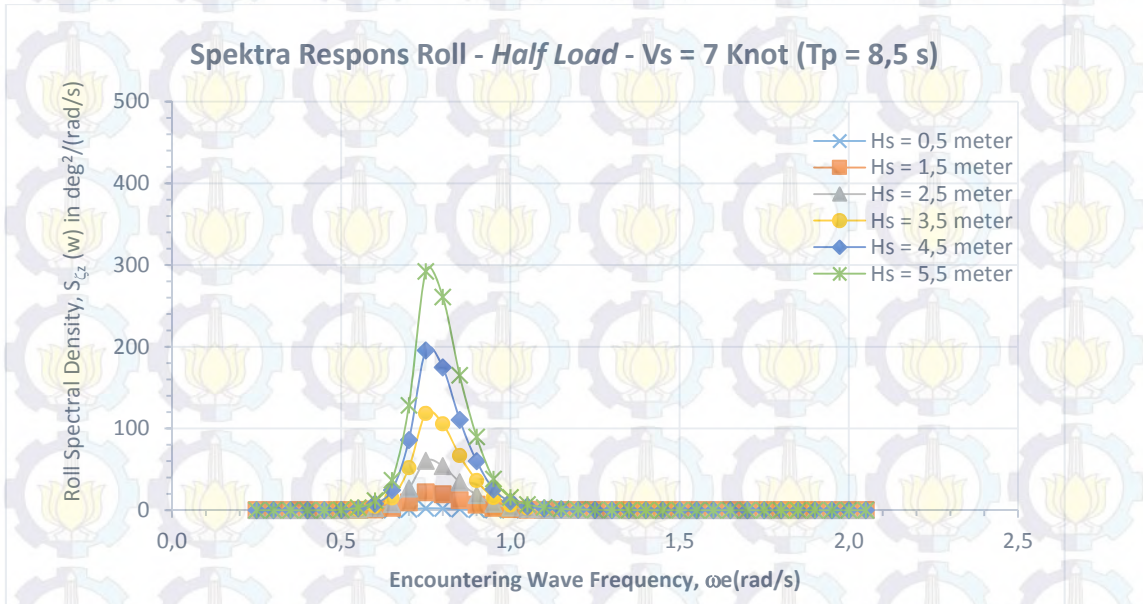
|                        |              |       |  |
|------------------------|--------------|-------|--|
| $m_0 =$                | 2,0418966561 |       |  |
| $m_1 =$                | 1,3201909982 |       |  |
| $m_2 =$                | 0,8642055693 |       |  |
| $m_4 =$                | 0,3858476975 |       |  |
| $\zeta_s =$            | 2,85790      | deg   | (Significant Roll amplitude)   |
| $T_0 =$                | 12,14753     | secs  | (Modal period)   |
| $T_p =$                | 11,75416     | secs  | (Peak period)  |
| $T_z =$                | 12,07256     | secs  | (Zero up-crossing period)  |
| $\omega_0 =$           | 0,51724      | rad/s | (Modal frequency)  |
| $\omega_p =$           | 0,53455      | rad/s | (Peak frequency)   |
| $\omega_z =$           | 0,52045      | rad/s | (Zero up-crossing frequency)   |
| $\zeta_{av} =$         | 1,78619      | deg   | (Average Roll amplitude)   |
| $\zeta_{1/10} =$       | 3,62953      | deg   | (One-tenth highest Roll amplitude)   |
| $\zeta_{ext} =$        | 5,35409      | deg   | (Most probable extreme Roll amplitude)                                     |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | 6,89005      | deg   | (Extreme Roll amplitude w/ prob. of occ.<br>1% -> 99% level of confidence) |

Terlihat pada tabel 4.25, nilai dari amplitudo *Roll* rata-rata sebesar 1,78 deg, sehingga pada kondisi gelombang signifikan 2,5 m nilai amplitudo *Roll* rata-rata masih dibawah nilai kriteria operasi amplitudo *Roll* rata-rata 3,75 deg. Dan jika dilihat dengan semakin tingginya kecepatan kapal antara 3 knot dengan 7 knot pada

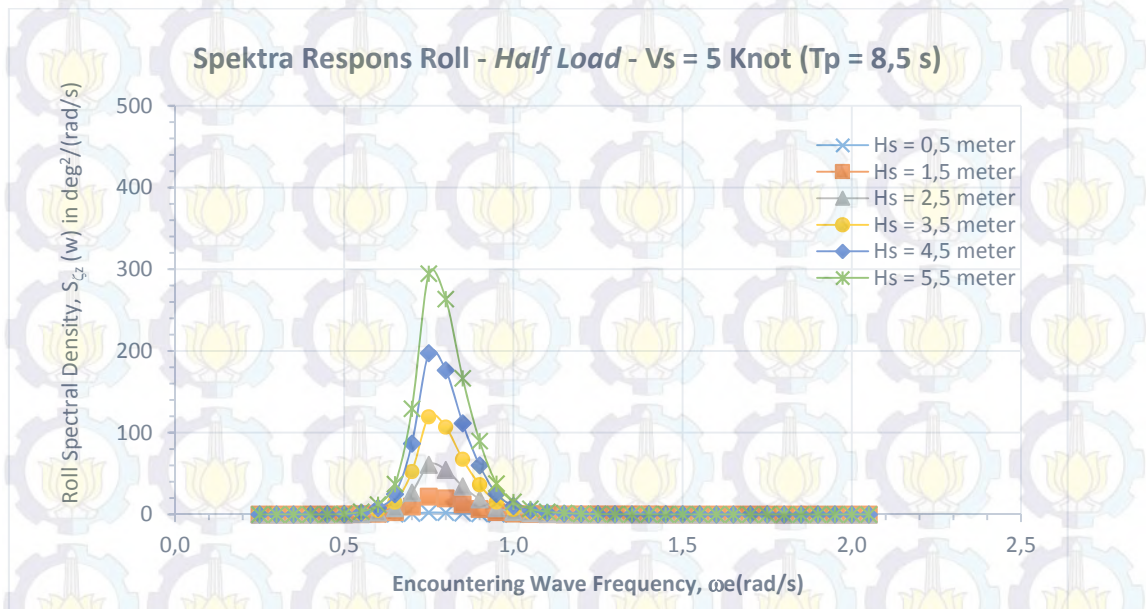


$H_s = 2,5$  m, memiliki nilai amplitudo *Roll* rata-rata yang hampir sama dengan selisih 0,01 deg.

#### 4.5.5 Spektra Respons untuk Gerakan *Roll* pada Kondisi *Half Load*

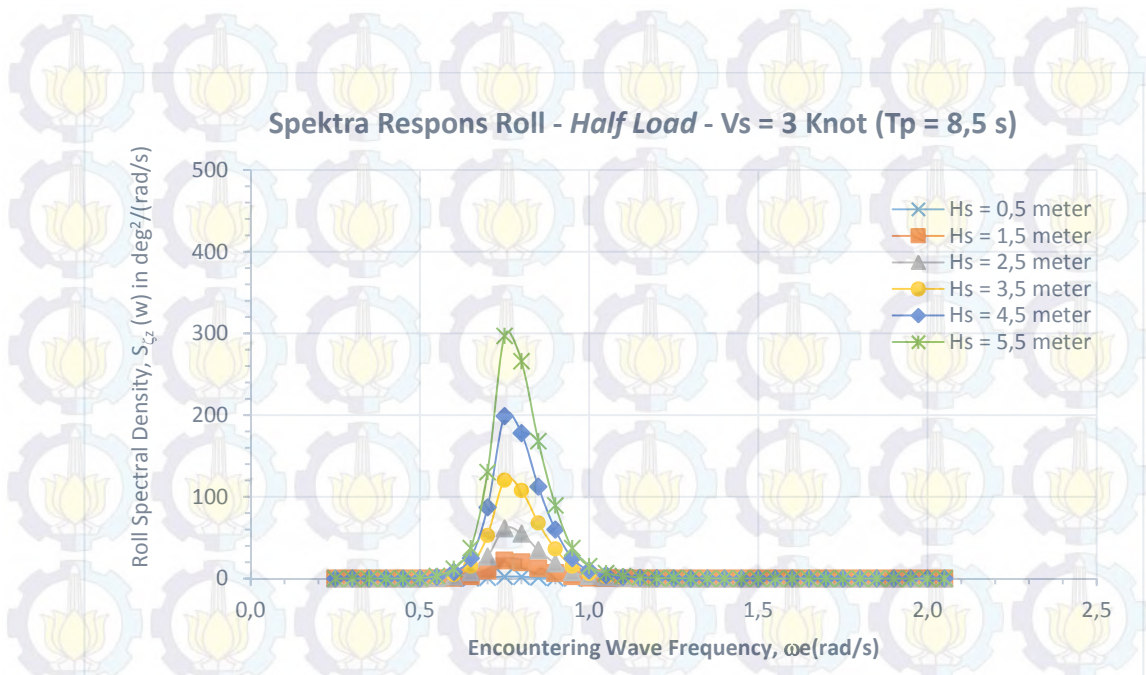


**Gambar 4.34** Spektra Respons *Roll* (*half load*) dengan kecepatan kapal 7 knot.

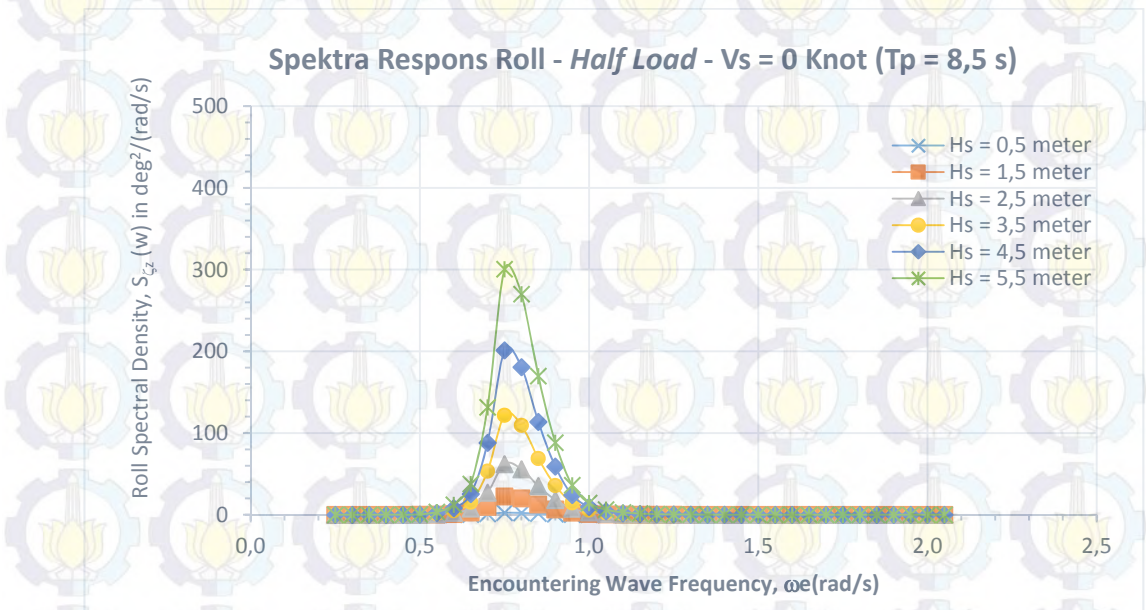


**Gambar 4.35** Spektra Respons *Roll* (*half load*) dengan kecepatan kapal 5 knot.





**Gambar 4.36** Spektra Respons Roll (*half load*) dengan kecepatan kapal 3 knot.



**Gambar 4.37** Spektra Respons Roll (*half load*) dengan kecepatan kapal 0 knot.

Untuk spektra respons Roll digelombang acak dihitung dari gerakan Roll yang ekstrem terjadi akibat propagasi gelombang arah  $90^\circ$ , pola perubahan spektra respons Roll relatif sangat mirip dengan pola perubahan spektra gelombangnya yang ditunjukkan pada gambar 4.16.C, dalam setiap gambar grafik terdapat 6 kurva spektra respons gerakan Roll yang dihitung menurut kenaikan tinggi gelombang



signifikan mulai dari  $H_s = 0,5$  m sampai  $H_s = 5,5$  m untuk kondisi kapal *half load* dengan variasi kecepatan mulai 0 knot – 7 knot yang tersaji dalam gambar 4.34 4.37. puncak spektra respons *Roll* terjadi pada frekuensi gelombang insiden disekitar 0,75 rad/s. Dengan posisi masing-masing puncak spektra kurang lebih sama. Dengan semakin tinggi nilai  $H_s$  maka respons puncak yang terjadi semakin tinggi pula untuk setiap kondisi, dengan nilai puncak spektra respons *Roll* relatif lebih tinggi jika dibanding dengan puncak spektra gelombang, pada kondisi kecepatan 7 knot pada  $H_s=5,5$  m, nilai puncak spektra respons *Roll* sudah mendekati harga  $292 \text{ deg}^2/(\text{rad}/\text{det})$ , pada tinggi signifikan yang sama dan periode puncak 8,5 detik. Terlihat pula grafik spektra respon *Roll* menggambarkan bagian yang gemuk pada rentang frekuensi gelombang insiden 0,7 rad/s – 0,85 rad/s, dikarenakan resonansi gerakan *Roll*.

**Tabel 4.26** Harga-harga stokastik respons gerakan *Roll Self Propelled Coal Barge* kondisi *half load* dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 5,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

|                        |                      |       |   |
|------------------------|----------------------|-------|---|
| $m_0 =$                | <b>52,2737195656</b> |       |   |
| $m_1 =$                | <b>41,5577982476</b> |       |   |
| $m_2 =$                | <b>33,4200671072</b> |       |   |
| $m_4 =$                | <b>22,4148350944</b> |       |   |
| $\zeta_s =$            | <b>14,46011</b>      | deg   | (Significant Roll amplitude)  |
| $T_0 =$                | <b>9,87920</b>       | secs  | (Modal period)  |
| $T_p =$                | <b>9,59018</b>       | secs  | (Peak period)   |
| $T_z =$                | <b>9,82266</b>       | secs  | (Zero up-crossing period)   |
| $\omega_0 =$           | <b>0,63600</b>       | rad/s | (Modal frequency)   |
| $\omega_p =$           | <b>0,65517</b>       | rad/s | (Peak frequency)  |
| $\omega_z =$           | <b>0,63966</b>       | rad/s | (Zero up-crossing frequency)  |
| $\zeta_{av} =$         | <b>9,03757</b>       | deg   | (Average Roll amplitude)  |
| $\zeta_{1/10} =$       | <b>18,36434</b>      | deg   | (One-tenth highest Roll amplitude)                                      |
| $\zeta_{ext} =$        | <b>27,48516</b>      | deg   | (Most probable extreme Roll amplitude)                                  |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | <b>35,16949</b>      | deg   | (Extreme Roll amplitude w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence) |



Dari tabel 4.26 dapat dibaca bahwa akibat eksitasi gelombang dengan tinggi 5,5 meter, mengakibatkan amplitudo *Roll* signifikan 14,46 deg. Untuk  $H_s$  dibawah 5,5 m memiliki nilai amplitudo *Roll* signifikan yang lebih rendah.

Terlihat pula nilai stokastik dari spektra respons *Roll* pada tabel 4.26, mempunyai nilai amplitudo *Roll* rata-rata sebesar 9,03 deg, maka dari itu jika dihubungkan dengan kriteria operasi kapal nilai amplitudo *Roll* rata-rata lebih dari 3,75 deg.

Melihat pada kondisi tersebut kapal akan mempunyai amplitudo *Roll* rata-rata yang lebih rendah dengan rendahnya nilai  $H_s$ , berikut ini merupakan contoh kapal yang beroperasi pada  $H_s = 2,5$  m terlihat pada tabel 4.27 nilai stokastik dari spektra respons.

**Tabel 4.27** Harga-harga stokastik respons gerakan *Roll Self Propelled Coal Barge* kondisi *half load* dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 2,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

|                        |               |       |   |  |
|------------------------|---------------|-------|---|--|
| $m_0 =$                | 10,8003552821 |       |   |  |
| $m_1 =$                | 8,5863219520  |       |   |  |
| $m_2 =$                | 6,9049725428  |       |   |  |
| $m_4 =$                | 4,6311642757  |       |   |  |
| $\zeta_s =$            | 6,57278       | deg   | (Significant Roll amplitude)  |  |
| $T_0 =$                | 9,87920       | secs  | (Modal period)  |  |
| $T_P =$                | 9,59018       | secs  | (Peak period)   |  |
| $T_Z =$                | 9,82266       | secs  | (Zero up-crossing period)   |  |
| $\omega_0 =$           | 0,63600       | rad/s | (Modal frequency)   |  |
| $\omega_P =$           | 0,65517       | rad/s | (Peak frequency)  |  |
| $\omega_Z =$           | 0,63966       | rad/s | (Zero up-crossing frequency)  |  |
| $\zeta_{av} =$         | 4,10799       | deg   | (Average Roll amplitude)  |  |
| $\zeta_{1/10} =$       | 8,34743       | deg   | (One-tenth highest Roll amplitude)                                      |  |
| $\zeta_{ext} =$        | 12,49325      | deg   | (Most probable extreme Roll amplitude)                                  |  |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | 15,98613      | deg   | (Extreme Roll amplitude w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence) |  |

Pada kondisi kapal dengan tinggi gelombang signifikan 2,5 m tersebut kapal memiliki nilai Amplitudo *Roll* signifikan 6,57 deg. Serta untuk nilai dari amplitudo



*Roll* rata-rata sebesar 4,10 deg, yang artinya kapal pada kondisi ini tidak memenuhi kriteria operasi untuk amplitudo *Roll* rata-rata yang kurang dari 3,75 deg.

Melihat dari gambar 4.34– 4.37 kondisi kapal *half load* yang memiliki variasi kecepatan dari 0-7 knot terlihat sedikit memberikan pengaruh perubahan grafik spektra respons *Roll* dan juga nilai stokastik dari masing-masing kecepatan pada semua  $H_s$  pada  $T_p = 8,5$  detik. Seperti contoh pada kondisi *half load* dengan kecepatan 3 knot yang akan ditunjukkan pada tabel 4.28 nilai stokastik dari spektra respons *Roll*, sebagai berikut :

**Tabel 4.28** Harga-harga stokastik respons gerakan *Roll Self Propelled Coal Barge* kondisi *half load* dengan kecepatan kapal 3 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 2,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

|                        |               |       |   |
|------------------------|---------------|-------|---|
| $m_0 =$                | 10,9309725791 |       |   |
| $m_1 =$                | 8,6801060893  |       |   |
| $m_2 =$                | 6,9706059595  |       |   |
| $m_4 =$                | 4,6577820333  |       |   |
| $\zeta_s =$            | 6,61240       | deg   | (Significant Roll amplitude)  |
| $T_0 =$                | 9,89065       | secs  | (Modal period)  |
| $T_p =$                | 9,60808       | secs  | (Peak period)   |
| $T_z =$                | 9,83524       | secs  | (Zero up-crossing period)   |
| $\omega_0 =$           | 0,63527       | rad/s | (Modal frequency)   |
| $\omega_p =$           | 0,65395       | rad/s | (Peak frequency)  |
| $\omega_z =$           | 0,63885       | rad/s | (Zero up-crossing frequency)  |
| $\zeta_{av} =$         | 4,13275       | deg   | (Average Roll amplitude)  |
| $\zeta_{1/10} =$       | 8,39775       | deg   | (One-tenth highest Roll amplitude)                                      |
| $\zeta_{ext} =$        | 12,56746      | deg   | (Most probable extreme Roll amplitude)                                  |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | 16,08164      | deg   | (Extreme Roll amplitude w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence) |

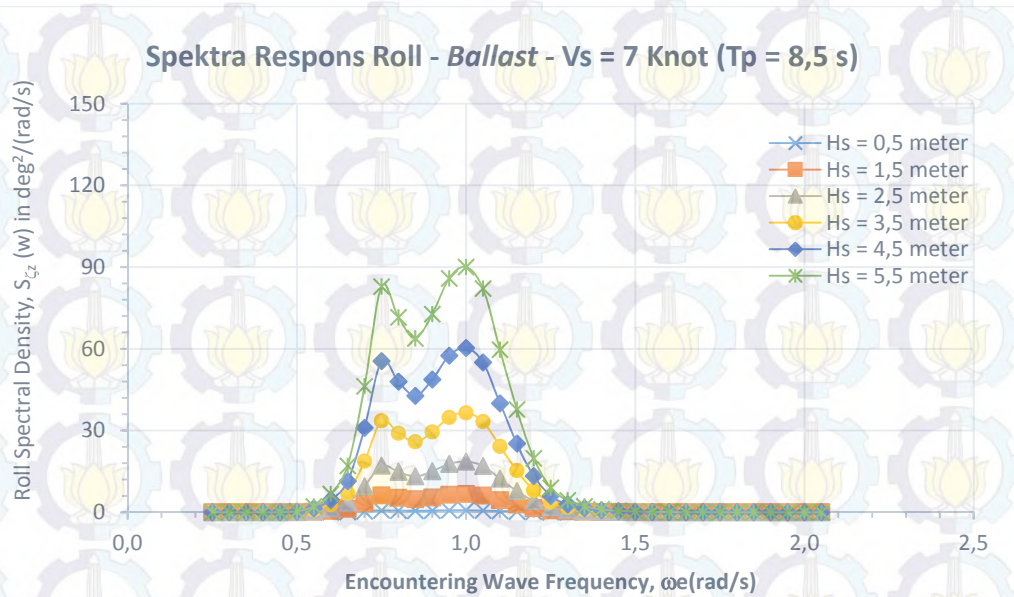
Terlihat pada tabel 4.28, nilai dari amplitudo *Roll* rata-rata sebesar 4,13 deg, sehingga pada kondisi gelombang signifikan 2,5 m nilai amplitudo *Roll* rata-rata masih diatas nilai kriteria operasi amplitudo *Roll* rata-rata 3,75 deg. Dan jika dilihat dengan semakin tingginya kecepatan kapal antara 3 knot dengan 7 knot



pada  $H_s = 2,5$  m, Dengan semakin naiknya kecepatan dari 3 knot – 7 knot maka semakin berkurangnya nilai amplitudo *Roll* rata-rata terlihat selisih 0,03 deg.

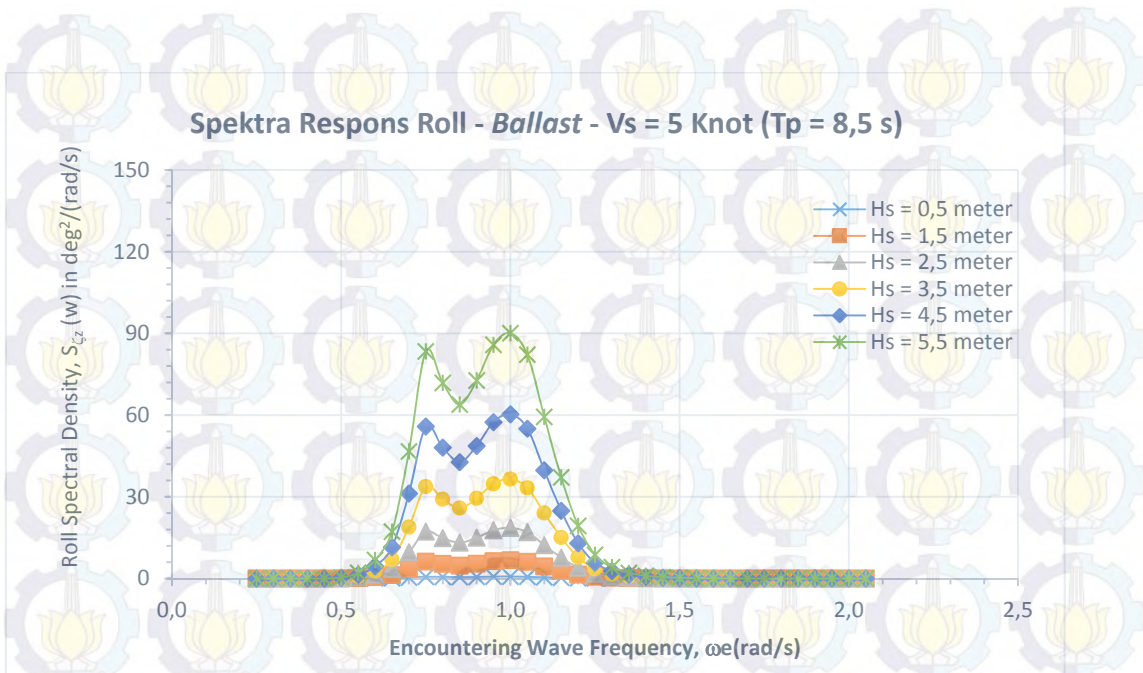
Jika dibandingkan antara kondisi *full load* dan *half load* maka dengan kecepatan 7 knot pada  $H_s = 2,5$  m dan  $T_p = 8,5$  s, nilai dari amplitudo *Roll* rata-rata untuk kondisi *full load* 1,77 deg dan untuk *half load* 4,10 deg. Hal ini berarti gerakan *Roll* digelombang acak kondisi *half load* lebih besar mengalami respon gerak *Roll* dibandingkan kondisi *full load*.

#### 4.5.6 Spektra Respons untuk Gerakan *Roll* pada Kondisi *Ballast*

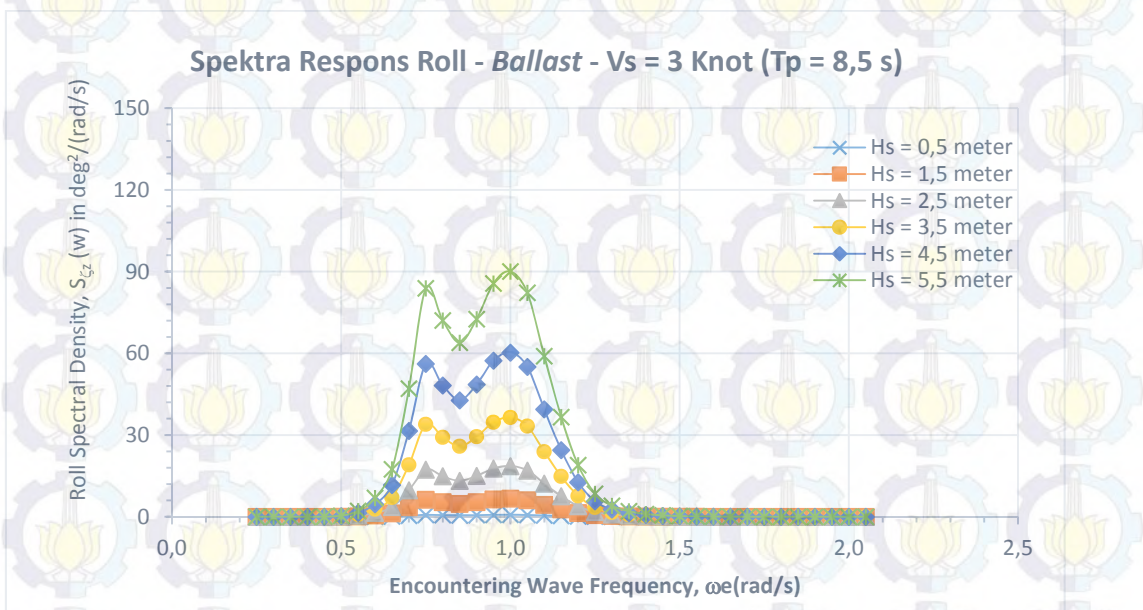


**Gambar 4.38** Spektra Respons *Roll* (*ballast*) dengan kecepatan kapal 7 knot.



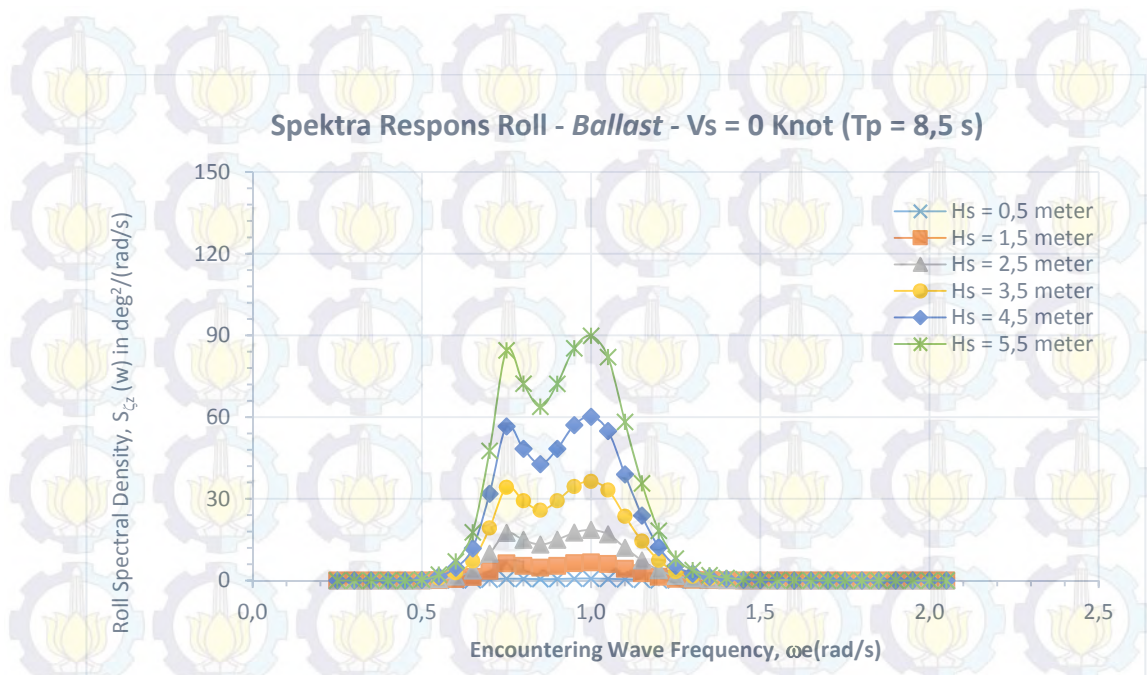


**Gambar 4.39** Spektra Respons *Roll (ballast)* dengan kecepatan kapal 5 knot.



**Gambar 4.40** Spektra Respons *Roll (ballast)* dengan kecepatan kapal 3 knot.





**Gambar 4.41** Spektra Respons *Roll* (*ballast*) dengan kecepatan kapal 0 knot.

Untuk spektra respons *Roll* digelombang acak dihitung dari gerakan *Roll* yang ekstrem terjadi akibat propagasi gelombang arah  $90^\circ$ , pola perubahan spektra respons *Roll* yang terjadi dua puncak spektra respons yang berbeda dengan pola perubahan spektra gelombangnya yang ditunjukkan pada gambar 4.16.C, dalam setiap gambar grafik terdapat 6 kurva spektra respons gerakan *Roll* yang dihitung menurut kenaikan tinggi gelombang signifikan mulai dari  $H_s = 0,5$  m sampai  $H_s = 5,5$  m untuk kondisi kapal *ballast* dengan variasi kecepatan mulai 0 knot – 7 knot yang tersaji dalam gambar 4.38 4.41. puncak pertama spektra respons *Roll* terjadi pada frekuensi gelombang insiden disekitar  $0,75$  rad/s sedangkan puncak kedua spektra respons *Roll* terjadi pada frekuensi gelombang insiden  $1$  rad/s yang diakibatkan resonansi gerakan *Roll* pertama dan resonansi gerakan *Roll* kedua. Dengan semakin tinggi nilai  $H_s$  maka respons puncak yang terjadi semakin tinggi pula untuk setiap kondisi, dengan nilai puncak spektra respons *Roll* relatif lebih tinggi jika dibanding dengan puncak spektra gelombang, pada kondisi kecepatan 7 knot pada  $H_s=5,5$  m, nilai puncak pertama spektra respons *Roll* sudah mendekati harga  $82,85 \text{ deg}^2/(\text{rad}/\text{det})$  dan nilai puncak kedua spektra respons *Roll* mendekati harga  $90 \text{ deg}^2/(\text{rad}/\text{det})$ , pada tinggi signifikan yang sama dan periode puncak 8,5 detik.



**Tabel 4.29** Harga-harga stokastik respons gerakan *Roll Self Propelled Coal Barge* kondisi *ballast* dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 5,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

|                        |                      |       |   |
|------------------------|----------------------|-------|---|
| $m_0 =$                | <b>37,6471815300</b> |       |   |
| $m_1 =$                | <b>34,9309203736</b> |       |   |
| $m_2 =$                | <b>33,3237553387</b> |       |   |
| $m_4 =$                | <b>32,7366594764</b> |       |   |
| $\zeta_s =$            | <b>12,27146</b>      | deg   | (Significant Roll amplitude)  |
| $T_0 =$                | <b>8,46473</b>       | secs  | (Modal period)  |
| $T_P =$                | <b>7,92411</b>       | secs  | (Peak period)   |
| $T_Z =$                | <b>8,34796</b>       | secs  | (Zero up-crossing period)   |
| $\omega_0 =$           | <b>0,74228</b>       | rad/s | (Modal frequency)   |
| $\omega_P =$           | <b>0,79292</b>       | rad/s | (Peak frequency)  |
| $\omega_Z =$           | <b>0,75266</b>       | rad/s | (Zero up-crossing frequency)  |
| $\zeta_{av} =$         | <b>7,66966</b>       | deg   | (Average Roll amplitude)  |
| $\zeta_{1/10} =$       | <b>15,58475</b>      | deg   | (One-tenth highest Roll amplitude)                                      |
| $\zeta_{ext} =$        | <b>23,58616</b>      | deg   | (Most probable extreme Roll amplitude)                                  |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | <b>30,05080</b>      | deg   | (Extreme Roll amplitude w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence) |

Dari tabel 4.29 dapat dibaca bahwa akibat eksitasi gelombang dengan tinggi 5,5 meter, mengakibatkan amplitudo *Roll* signifikan 12,27 deg. Untuk  $H_s$  dibawah 5,5 m memiliki nilai amplitudo *Roll* signifikan yang lebih rendah.

Terlihat pula nilai stokastik dari spektra respons *Roll* pada tabel 4.29, mempunyai nilai amplitudo *Roll* rata-rata sebesar 7,66 deg, maka dari itu jika dihubungkan dengan kriteria operasi kapal nilai amplitudo *Roll* rata-rata lebih dari 12 deg.

Melihat pada kondisi tersebut kapal akan mempunyai amplitudo *Roll* rata-rata yang lebih rendah dengan rendahnya nilai  $H_s$ , berikut ini merupakan contoh kapal yang beroperasi pada  $H_s = 2,5$  m terlihat pada tabel 4.30 nilai stokastik dari spektra respons.



**Tabel 4.30** Harga-harga stokastik respons gerakan *Roll Self Propelled Coal Barge* kondisi *ballast* dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 2,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

|                        |              |       |   |
|------------------------|--------------|-------|---|
| $m_0 =$                | 7,7783432913 |       |   |
| $m_1 =$                | 7,2171323086 |       |   |
| $m_2 =$                | 6,8850734171 |       |   |
| $m_4 =$                | 6,7637726191 |       |   |
| $\zeta_s =$            | 5,57794      | deg   | (Significant Roll amplitude)  |
| $T_0 =$                | 8,46473      | secs  | (Modal period)  |
| $T_P =$                | 7,92411      | secs  | (Peak period)   |
| $T_Z =$                | 8,34796      | secs  | (Zero up-crossing period)   |
| $\omega_0 =$           | 0,74228      | rad/s | (Modal frequency)   |
| $\omega_P =$           | 0,79292      | rad/s | (Peak frequency)  |
| $\omega_Z =$           | 0,75266      | rad/s | (Zero up-crossing frequency)  |
| $\zeta_{av} =$         | 3,48621      | deg   | (Average Roll amplitude)  |
| $\zeta_{1/10} =$       | 7,08398      | deg   | (One-tenth highest Roll amplitude)                                      |
| $\zeta_{ext} =$        | 10,72098     | deg   | (Most probable extreme Roll amplitude)                                  |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | 13,65945     | deg   | (Extreme Roll amplitude w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence) |

Pada kondisi kapal dengan tinggi gelombang signifikan 2,5 m tersebut kapal memiliki nilai Amplitudo *Roll* signifikan 5,57 deg. Serta untuk nilai dari amplitudo *Roll* rata-rata sebesar 3,48 deg, yang artinya kapal pada kondisi ini memenuhi kriteria operasi untuk amplitudo *Roll* rata-rata yang kurang dari 3,75 deg.

Melihat dari gambar 4.38– 4.41 kondisi kapal *ballast* yang memiliki variasi kecepatan dari 0-7 knot terlihat sedikit memberikan pengaruh perubahan grafik spektra respons *Roll* dan juga nilai stokastik dari masing-masing kecepatan pada semua  $H_s$  pada  $T_p = 8,5$  detik. Seperti contoh pada kondisi *ballast* dengan kecepatan 3 knot yang akan ditunjukkan pada tabel 4.31 nilai stokastik dari spektra respons *Roll*, sebagai berikut :



**Tabel 4.31** Harga-harga stokastik respons gerakan *Roll Self Propelled Coal Barge* kondisi *ballast* dengan kecepatan kapal 3 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 2,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

|                        |              |       |   |
|------------------------|--------------|-------|---|
| $m_0 =$                | 7,7647771869 |       |   |
| $m_1 =$                | 7,1878585599 |       |   |
| $m_2 =$                | 6,8408238768 |       |   |
| $m_4 =$                | 6,6871013123 |       |   |
| $\zeta_s =$            | 5,57307      | deg   | (Significant Roll amplitude)  |
| $T_0 =$                | 8,48439      | secs  | (Modal period)  |
| $T_P =$                | 7,94376      | secs  | (Peak period)   |
| $T_Z =$                | 8,36761      | secs  | (Zero up-crossing period)   |
| $\omega_0 =$           | 0,74056      | rad/s | (Modal frequency)   |
| $\omega_P =$           | 0,79096      | rad/s | (Peak frequency)  |
| $\omega_Z =$           | 0,75090      | rad/s | (Zero up-crossing frequency)  |
| $\zeta_{av} =$         | 3,48317      | deg   | (Average Roll amplitude)  |
| $\zeta_{1/10} =$       | 7,07780      | deg   | (One-tenth highest Roll amplitude)                                      |
| $\zeta_{ext} =$        | 10,70992     | deg   | (Most probable extreme Roll amplitude)                                  |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | 13,64620     | deg   | (Extreme Roll amplitude w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence) |

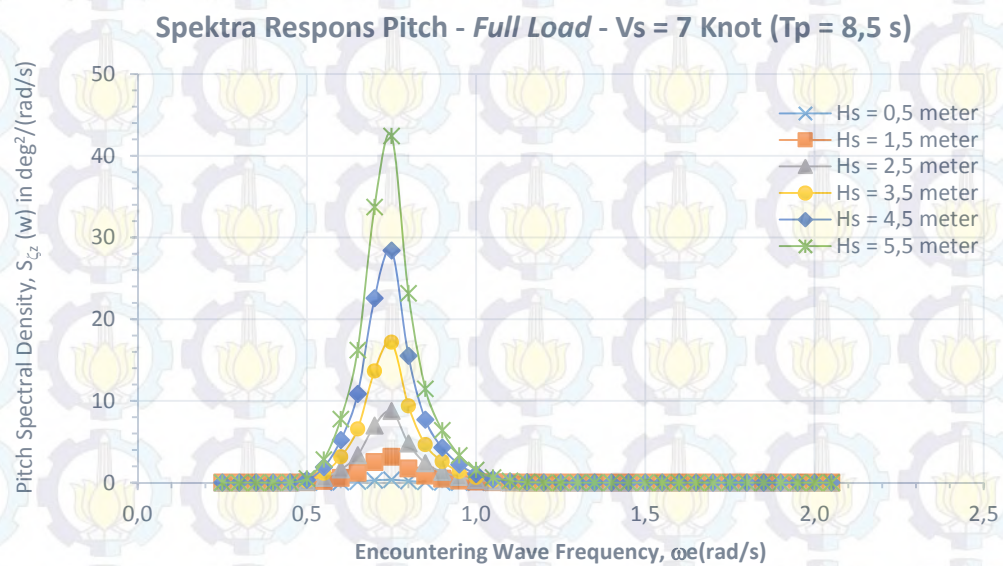
Terlihat pada tabel 4.31, nilai dari amplitudo *Roll* rata-rata sebesar 3,483 deg, sehingga pada kondisi gelombang signifikan 2,5 m nilai amplitudo *Roll* rata-rata masih dibawah nilai kriteria operasi amplitudo *Roll* rata-rata 3,75 deg. Dan jika dilihat dengan semakin tingginya kecepatan kapal antara 3 knot dengan 7 knot pada  $H_s = 2,5$  m, memiliki nilai amplitudo *Roll* rata-rata yang hampir sama dengan selisih 0,003 deg.

Jika dibandingkan antara kondisi *ballast*, *full load* dan *half load* maka dengan kecepatan 7 knot pada  $H_s = 2,5$  m dan  $T_p = 8,5$  s, nilai dari amplitudo *Roll* rata-rata untuk kondisi *ballast* 3,48 deg, sedangkan nilai dari amplitudo *Roll* rata-rata untuk kondisi *full load* 1,77 deg dan untuk *half load* 4,10 deg. Hal ini berarti gerakan *Roll* digelombang acak pada kondisi *ballast* lebih kecil mengalami respons gerak *Roll* dibandingkan pada kondisi *half load*, namun lebih besar mengalami respon gerak *Roll* jika dibandingkan dengan kondisi *full load*.

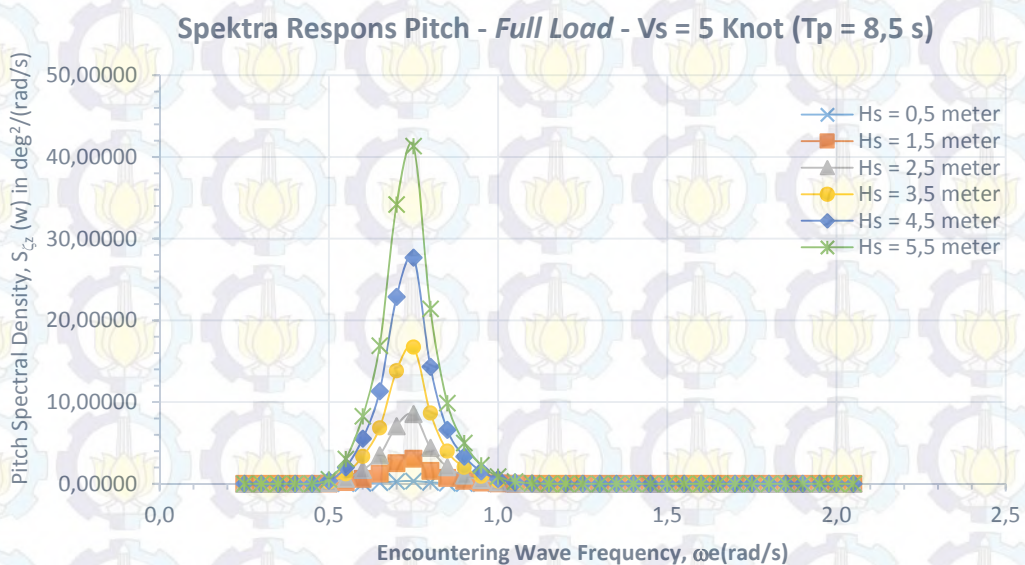


Untuk Periode puncak yang lainnya mulai dari  $T_p = 3,5$  s sampai 11,5 s akan dijelaskan menggunakan tabel batasan tinggi gelombang signifikan yang menyesuaikan dengan kriteria operasi untuk amplitudo *Roll* rata-rata yang termasuk dalam kriteria [1].

#### 4.5.7 Spektra Respons untuk Gerakan *Pitch* pada Kondisi *Full Load*

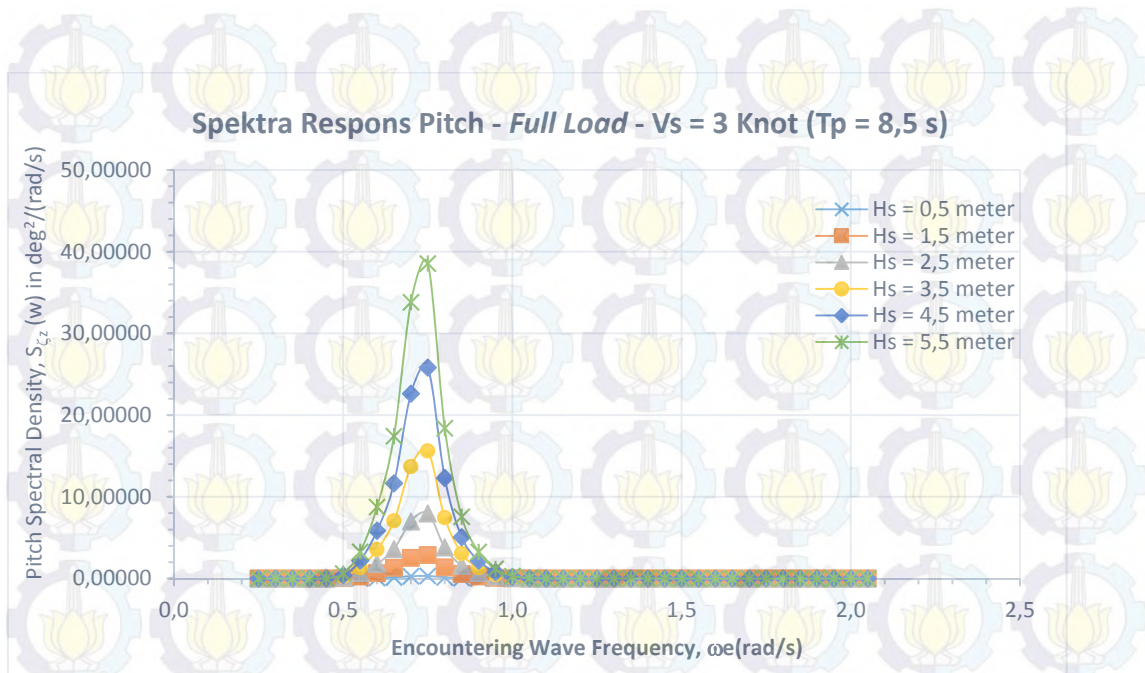


Gambar 4.42 Spektra Respons *Pitch* (*full load*) dengan kecepatan kapal 7 knot.

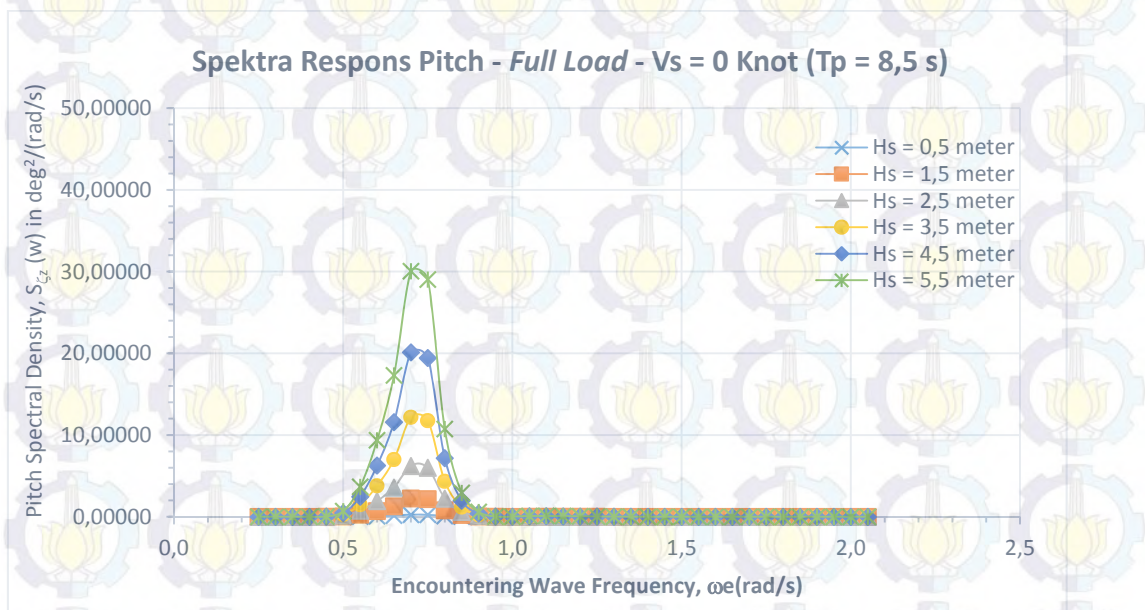


Gambar 4.43 Spektra Respons *Pitch* (*full load*) dengan kecepatan kapal 5 knot.





**Gambar 4.44** Spektra Respons *Pitch* (full load) dengan kecepatan kapal 3 knot.



**Gambar 4.45** Spektra Respons *Pitch* (full load) dengan kecepatan kapal 0 knot.

Untuk spektra respons *Pitch* digelombang acak dihitung dari gerakan *Pitch* yang ekstrem terjadi akibat propagasi gelombang arah  $180^\circ$ , pola perubahan spektra respons *Pitch* relatif sangat mirip dengan pola perubahan spektra gelombangnya yang ditunjukkan pada gambar 4.16.C, dalam setiap gambar grafik terdapat 6 kurva spektra respons gerakan *Pitch* yang dihitung menurut kenaikan tinggi gelombang



signifikan mulai dari  $H_s = 0,5$  m sampai  $H_s = 5,5$  m untuk kondisi kapal *full load* dengan variasi kecepatan mulai 0 knot – 7 knot yang tersaji dalam gambar 4.42 4.45. puncak spektra respons *Pitch* terjadi pada frekuensi gelombang insiden disekitar 0,75 rad/s. Dengan posisi masing-masing puncak spektra kurang lebih sama. Dengan semakin tinggi nilai  $H_s$  maka respons puncak yang terjadi semakin tinggi pula untuk setiap kondisi, dengan nilai puncak spektra respons *Pitch* relatif lebih tinggi jika dibanding dengan puncak spektra gelombang, pada kondisi kecepatan 7 knot pada  $H_s=5,5$  m, nilai puncak spektra respons *Pitch* sudah mendekati harga 42,43  $\text{deg}^2/(\text{rad}/\text{det})$ , pada kondisi kecepatan 5 knot pada  $H_s=5,5$  m, nilai puncak spektra respons *Pitch* sudah mendekati harga 41,34  $\text{deg}^2/(\text{rad}/\text{det})$ , pada kondisi kecepatan 3 knot pada  $H_s=5,5$  m, nilai puncak spektra respons *Pitch* sudah mendekati harga 38,56  $\text{deg}^2/(\text{rad}/\text{det})$ , pada kondisi kecepatan 0 knot pada  $H_s=5,5$  m, nilai puncak spektra respons *Pitch* sudah mendekati harga 30  $\text{deg}^2/(\text{rad}/\text{det})$ , maka semakin bertambahnya kecepatan untuk spektra respon juga semakin bertambah.

**Tabel 4.32** Harga-harga stokastik respons gerakan *Pitch Self Propelled Coal Barge* kondisi *full load* dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 5,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

|                        |              |       |  |
|------------------------|--------------|-------|--|
| $m_0 =$                | 7,4588371233 |       |  |
| $m_1 =$                | 5,5626186810 |       |  |
| $m_2 =$                | 4,2094595464 |       |  |
| $m_4 =$                | 2,5214852266 |       |  |
| $\zeta_s =$            | 5,46217      | deg   | (Significant Pitch amplitude)  |
| $T_0 =$                | 10,53132     | secs  | (Modal period)   |
| $T_p =$                | 10,14789     | secs  | (Peak period)  |
| $T_z =$                | 10,45474     | secs  | (Zero up-crossing period)  |
| $\omega_0 =$           | 0,59662      | rad/s | (Modal frequency)  |
| $\omega_p =$           | 0,61916      | rad/s | (Peak frequency)   |
| $\omega_z =$           | 0,60099      | rad/s | (Zero up-crossing frequency)   |
| $\zeta_{av} =$         | 3,41386      | deg   | (Average Pitch amplitude)  |
| $\zeta_{1/10} =$       | 6,93696      | deg   | (One-tenth highest Pitch amplitude)                                      |
| $\zeta_{ext} =$        | 10,33736     | deg   | (Most probable extreme Pitch amplitude)                                  |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | 13,24989     | deg   | (Extreme Pitch amplitude w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence) |



Dari tabel 4.32 dapat dibaca bahwa akibat eksitasi gelombang dengan tinggi 5,5 meter, mengakibatkan amplitudo *Pitch* signifikan 5,46 deg. Untuk  $H_s$  dibawah 5,5 m memiliki nilai amplitudo *Pitch* signifikan yang lebih rendah.

Terlihat pula nilai stokastik dari spektra respons *Pitch* pada tabel 4.32, mempunyai nilai amplitudo *Pitch* rata-rata sebesar 3,41 deg, maka dari itu jika dihubungkan dengan kriteria operasi kapal, nilai amplitudo *Pitch* rata-rata lebih dari 2,5 deg. Hal ini berarti kapal mengalami kegagalan operasi karena kriteria ini pada dasarnya mengindikasikan resiko terjadinya slamming pada kapal.

Melihat pada kondisi tersebut kapal akan mempunyai amplitudo *Pitch* rata-rata yang lebih rendah dengan rendahnya nilai  $H_s$ , berikut ini merupakan contoh kapal yang beroperasi pada  $H_s = 2,5$  m terlihat pada tabel 4.33 nilai stokastik dari spektra respons.

**Tabel 4.33** Harga-harga stokastik respons gerakan *Pitch Self Propelled Coal Barge* kondisi *full load* dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 2,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

|                        |                     |       |   |
|------------------------|---------------------|-------|---|
| $m_0 =$                | <b>1,5410820503</b> |       |   |
| $m_1 =$                | <b>1,1493013804</b> |       |   |
| $m_2 =$                | <b>0,8697230468</b> |       |   |
| $m_4 =$                | <b>0,5209680220</b> |       |   |
| $\zeta_s =$            | <b>2,48281</b>      | deg   | (Significant Pitch amplitude)   |
| $T_0 =$                | <b>10,53132</b>     | secs  | (Modal period)  |
| $T_p =$                | <b>10,14789</b>     | secs  | (Peak period)   |
| $T_z =$                | <b>10,45474</b>     | secs  | (Zero up-crossing period)   |
| $\omega_0 =$           | <b>0,59662</b>      | rad/s | (Modal frequency)   |
| $\omega_p =$           | <b>0,61916</b>      | rad/s | (Peak frequency)  |
| $\omega_z =$           | <b>0,60099</b>      | rad/s | (Zero up-crossing frequency)  |
| $\zeta_{av} =$         | <b>1,55175</b>      | deg   | (Average Pitch amplitude)   |
| $\zeta_{1/10} =$       | <b>3,15316</b>      | deg   | (One-tenth highest Pitch amplitude)   |
| $\zeta_{ext} =$        | <b>4,69880</b>      | deg   | (Most probable extreme Pitch amplitude)                                     |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | <b>6,02268</b>      | deg   | (Extreme Pitch amplitude w/ prob. of occ.<br>1% -> 99% level of confidence) |



Pada kondisi kapal dengan tinggi gelombang signifikan 2,5 m tersebut kapal memiliki nilai Amplitudo *Pitch* signifikan 2,48 deg. Serta untuk nilai dari amplitudo *Pitch* rata-rata sebesar 1,55 deg, yang artinya kapal pada kondisi ini memenuhi kriteria operasi untuk amplitudo *Pitch* rata-rata yang kurang dari 2,5 deg.

Melihat dari gambar 4.42 – 4.45 kondisi kapal *full load* yang memiliki variasi kecepatan dari 0-7 knot terlihat memberikan pengaruh perubahan grafik spektra respons *Pitch* dan juga nilai stokastik dari masing-masing kecepatan pada semua  $H_s$  pada  $T_p = 8,5$  detik. Seperti contoh pada kondisi *full load* dengan kecepatan 3 knot yang akan ditunjukkan pada tabel 4.34 nilai stokastik dari spektra respons *Pitch*, sebagai berikut :

**Tabel 4.34** Harga-harga stokastik respons gerakan *Pitch Self Propelled Coal Barge* kondisi *full load* dengan kecepatan kapal 3 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 2,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

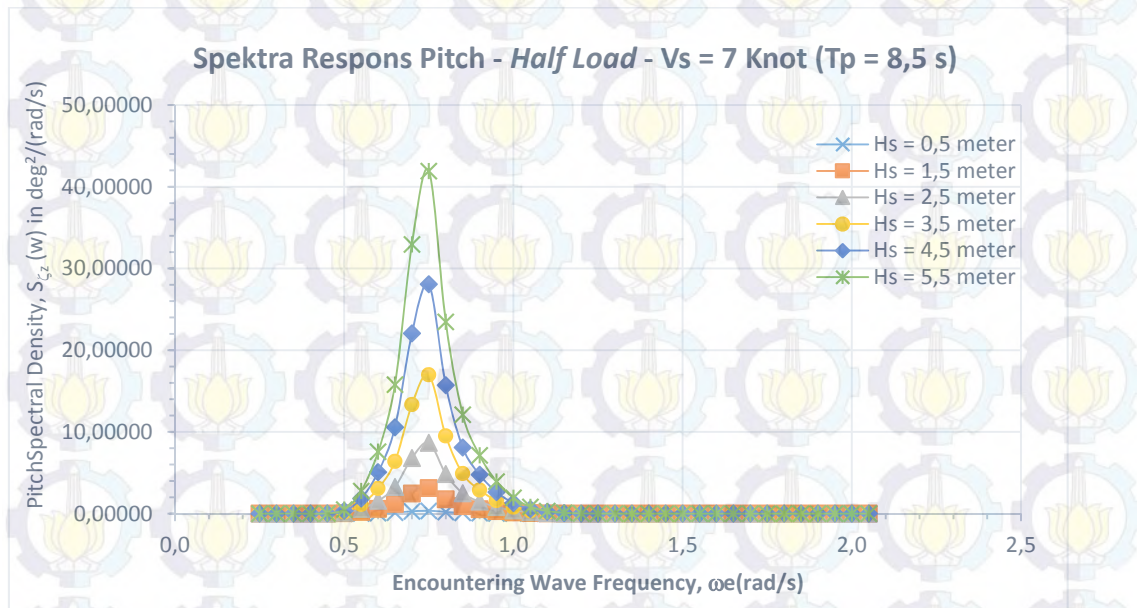
|                        |              |       |   |
|------------------------|--------------|-------|---|
| $m_0 =$                | 1,3670817589 |       |   |
| $m_1 =$                | 0,9930693927 |       |   |
| $m_2 =$                | 0,7302027222 |       |   |
| $m_4 =$                | 0,4097160320 |       |   |
| $\zeta_s =$            | 2,33845      | deg   | (Significant Pitch amplitude)   |
| $T_0 =$                | 10,81199     | secs  | (Modal period)  |
| $T_p =$                | 10,48507     | secs  | (Peak period)   |
| $T_z =$                | 10,74648     | secs  | (Zero up-crossing period)   |
| $\omega_0 =$           | 0,58113      | rad/s | (Modal frequency)   |
| $\omega_p =$           | 0,59925      | rad/s | (Peak frequency)  |
| $\omega_z =$           | 0,58467      | rad/s | (Zero up-crossing frequency)  |
| $\zeta_{av} =$         | 1,46153      | deg   | (Average Pitch amplitude)   |
| $\zeta_{1/10} =$       | 2,96983      | deg   | (One-tenth highest Pitch amplitude)   |
| $\zeta_{ext} =$        | 4,41708      | deg   | (Most probable extreme Pitch amplitude)                                     |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | 5,66586      | deg   | (Extreme Pitch amplitude w/ prob. of occ.<br>1% -> 99% level of confidence) |

Terlihat pada tabel 4.34, nilai dari amplitudo *Pitch* rata-rata sebesar 1,46 deg, sehingga pada kondisi gelombang signifikan 2,5 m nilai amplitudo *Pitch* rata-rata masih dibawah nilai kriteria operasi amplitudo *Pitch* rata-rata 2,5 deg. Dan jika

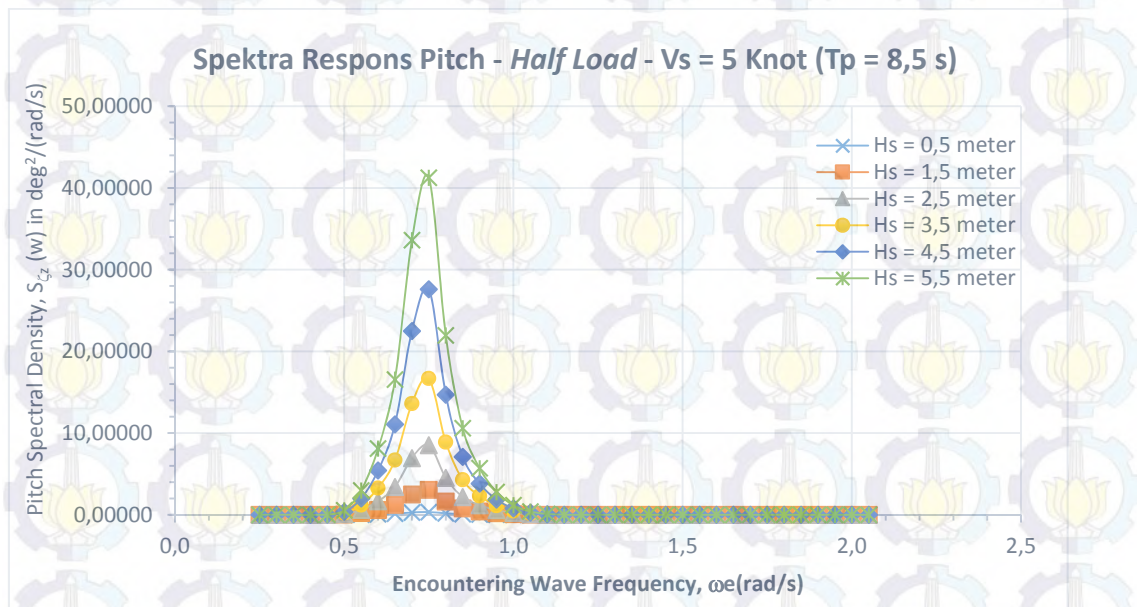


dilihat dengan semakin tingginya kecepatan kapal antara 3 knot dengan 7 knot pada  $H_s = 2,5$  m, memiliki nilai amplitudo *Pitch* rata-rata yang semakin tinggi dari 1,46 deg dan 1,55 selisih 0,09 deg. Hal ini berarti dengan bertambahnya kecepatan pada  $H_s=2,5$  m dan  $T_p = 8,5$  detik maka amplitudo *Pitch* rata-rata semakin tinggi.

#### 4.5.8 Spektra Respons untuk Gerakan *Pitch* pada Kondisi *Half Load*

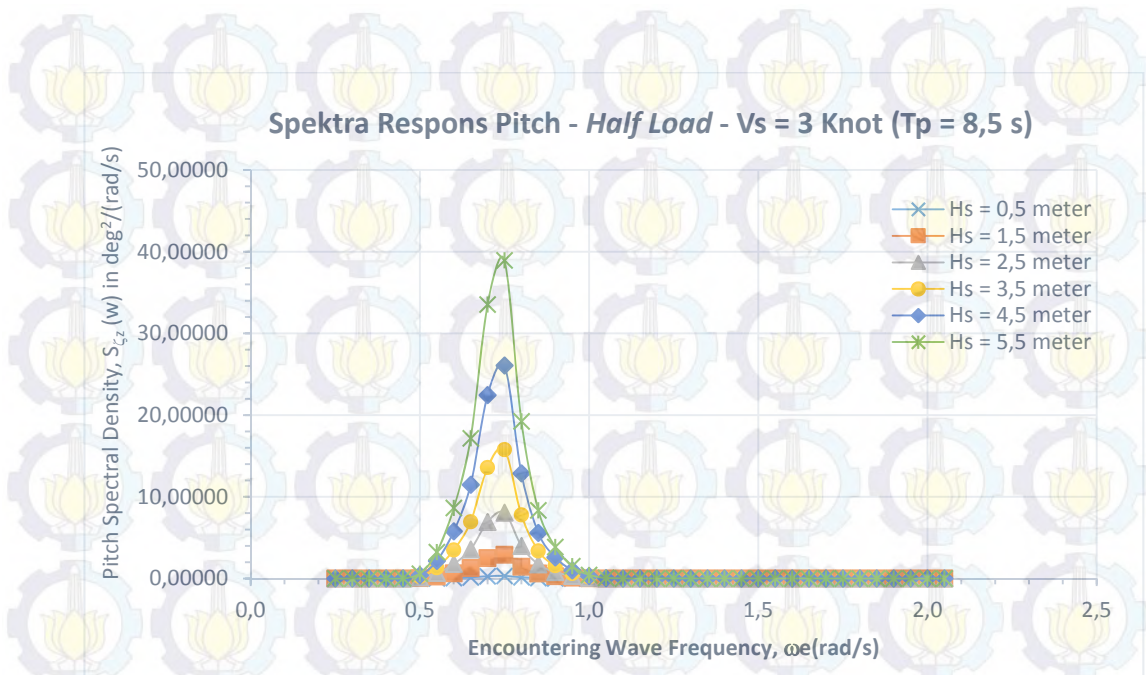


Gambar 4.46 Spektra Respons *Pitch* (*half load*) dengan kecepatan kapal 7 knot.

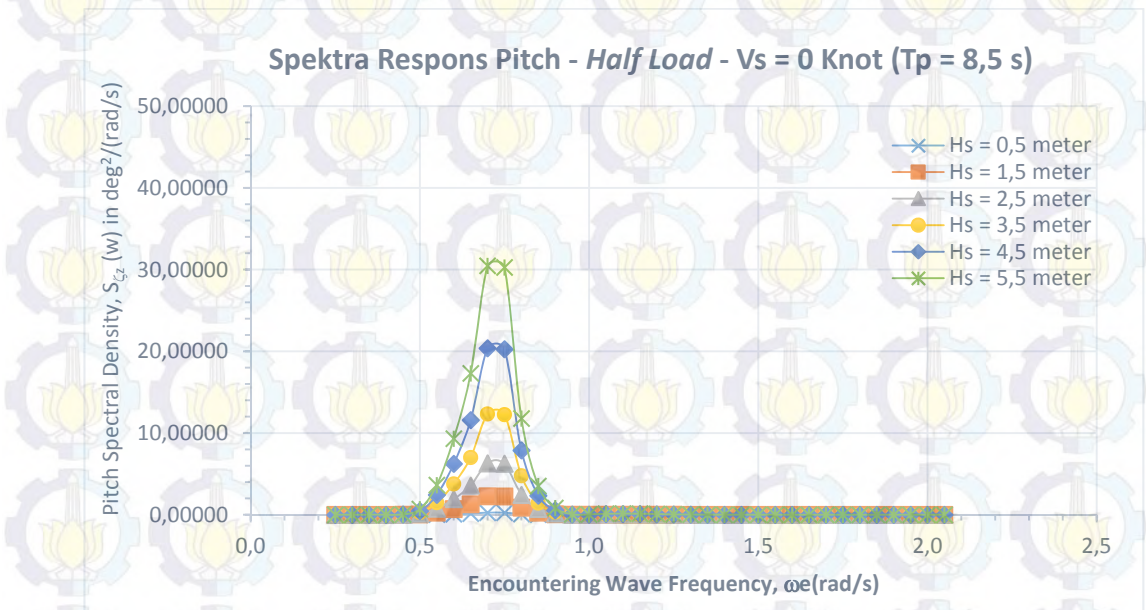


Gambar 4.47 Spektra Respons *Pitch* (*half load*) dengan kecepatan kapal 5 knot.





**Gambar 4.48** Spektra Respons *Pitch* (*half load*) dengan kecepatan kapal 3 knot.



**Gambar 4.49** Spektra Respons *Pitch* (*half load*) dengan kecepatan kapal 0 knot.

Untuk spektra respons *Pitch* digelombang acak dihitung dari gerakan *Pitch* yang ekstrem terjadi akibat propagasi gelombang arah  $180^\circ$ , pola perubahan spektra respons *Pitch* relatif sangat mirip dengan pola perubahan spektra gelombangnya yang ditunjukkan pada gambar 4.16.C, dalam setiap gambar grafik terdapat 6 kurva spektra respons gerakan *Pitch* yang dihitung menurut kenaikan tinggi gelombang



signifikan mulai dari  $H_s = 0,5$  m sampai  $H_s = 5,5$  m untuk kondisi kapal *half load* dengan variasi kecepatan mulai 0 knot – 7 knot yang tersaji dalam gambar 4.46 4.49. puncak spektra respons *Pitch* terjadi pada frekuensi gelombang insiden disekitar 0,75 rad/s. Dengan posisi masing-masing puncak spektra kurang lebih sama. Dengan semakin tinggi nilai  $H_s$  maka respons puncak yang terjadi semakin tinggi pula untuk setiap kondisi, dengan nilai puncak spektra respons *Pitch* relatif lebih tinggi jika dibanding dengan puncak spektra gelombang, pada kondisi kecepatan 7 knot pada  $H_s=5,5$  m, nilai puncak spektra respons *Pitch* sudah mendekati harga 41,92  $\text{deg}^2/(\text{rad}/\text{det})$ , pada kondisi kecepatan 5 knot pada  $H_s = 5,5$  m, nilai puncak spektra respons *Pitch* sudah mendekati harga 41,25  $\text{deg}^2/(\text{rad}/\text{det})$ , pada kondisi kecepatan 3 knot pada  $H_s=5,5$  m, nilai puncak spektra respons *Pitch* sudah mendekati harga 38,95  $\text{deg}^2/(\text{rad}/\text{det})$ , pada kondisi kecepatan 0 knot pada  $H_s=5,5$  m, nilai puncak spektra respons *Pitch* sudah mendekati harga 30,46  $\text{deg}^2/(\text{rad}/\text{det})$ , maka semakin bertambahnya kecepatan untuk spektra respon juga semakin bertambah.

**Tabel 4.35** Harga-harga stokastik respons gerakan *Pitch Self Propelled Coal*

*Barge* kondisi *half load* dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 5,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

|                        |              |       |  |
|------------------------|--------------|-------|--|
| $m_0 =$                | 7,5100177473 |       |  |
| $m_1 =$                | 5,6333724805 |       |  |
| $m_2 =$                | 4,2916792682 |       |  |
| $m_4 =$                | 2,6135343996 |       |  |
| $\zeta_s =$            | 5,48088      | deg   | (Significant Pitch amplitude)  |
| $T_0 =$                | 10,47040     | secs  | (Modal period)   |
| $T_P =$                | 10,06446     | secs  | (Peak period)  |
| $T_Z =$                | 10,38957     | secs  | (Zero up-crossing period)  |
| $\omega_0 =$           | 0,60009      | rad/s | (Modal frequency)  |
| $\omega_P =$           | 0,62430      | rad/s | (Peak frequency)   |
| $\omega_Z =$           | 0,60476      | rad/s | (Zero up-crossing frequency)   |
| $\zeta_{av} =$         | 3,42555      | deg   | (Average Pitch amplitude)  |
| $\zeta_{1/10} =$       | 6,96072      | deg   | (One-tenth highest Pitch amplitude)                                      |
| $\zeta_{ext} =$        | 10,37730     | deg   | (Most probable extreme Pitch amplitude)                                  |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | 13,29880     | deg   | (Extreme Pitch amplitude w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence) |



Dari tabel 4.35 dapat dibaca bahwa akibat eksitasi gelombang dengan tinggi 5,5 meter, mengakibatkan amplitudo *Pitch* signifikan 5,48 deg. Untuk  $H_s$  dibawah 5,5 m memiliki nilai amplitudo *Pitch* signifikan yang lebih rendah.

Terlihat pula nilai stokastik dari spektra respons *Pitch* pada tabel 4.35, mempunyai nilai amplitudo *Pitch* rata-rata sebesar 3,42 deg, maka dari itu jika dihubungkan dengan kriteria operasi kapal, nilai amplitudo *Pitch* rata-rata lebih dari 2,5 deg. Hal ini berarti kapal mengalami kegagalan operasi karena kriteria ini pada dasarnya mengindikasikan resiko terjadinya slamming pada kapal.

Melihat pada kondisi tersebut kapal akan mempunyai amplitudo *Pitch* rata-rata yang lebih rendah dengan rendahnya nilai  $H_s$ , berikut ini merupakan contoh kapal yang beroperasi pada  $H_s = 2,5$  m terlihat pada tabel 4.36 nilai stokastik dari spektra respons.

**Tabel 4.36** Harga-harga stokastik respons gerakan *Pitch Self Propelled Coal Barge* kondisi *Half load* dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 2,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

|                        |              |       |  |  |  |
|------------------------|--------------|-------|--|--|--|
| $m_0 =$                | 1,5516565594 |       |  |  |  |
| $m_1 =$                | 1,1639199340 |       |  |  |  |
| $m_2 =$                | 0,8867105926 |       |  |  |  |
| $m_4 =$                | 0,5399864462 |       |  |  |  |
| $\zeta_s =$            | 2,49131      | deg   | (Significant Pitch amplitude)  |  |  |
| $T_0 =$                | 10,47040     | secs  | (Modal period)   |  |  |
| $T_P =$                | 10,06446     | secs  | (Peak period)  |  |  |
| $T_Z =$                | 10,38957     | secs  | (Zero up-crossing period)  |  |  |
| $\omega_0 =$           | 0,60009      | rad/s | (Modal frequency)  |  |  |
| $\omega_P =$           | 0,62430      | rad/s | (Peak frequency)   |  |  |
| $\omega_Z =$           | 0,60476      | rad/s | (Zero up-crossing frequency)   |  |  |
| $\zeta_{av} =$         | 1,55707      | deg   | (Average Pitch amplitude)  |  |  |
| $\zeta_{1/10} =$       | 3,16396      | deg   | (One-tenth highest Pitch amplitude)                                      |  |  |
| $\zeta_{ext} =$        | 4,71695      | deg   | (Most probable extreme Pitch amplitude)                                  |  |  |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | 6,04491      | deg   | (Extreme Pitch amplitude w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence) |  |  |



Pada kondisi kapal dengan tinggi gelombang signifikan 2,5 m tersebut kapal memiliki nilai Amplitudo *Pitch* signifikan 2,49 deg. Serta untuk nilai dari amplitudo *Pitch* rata-rata sebesar 1,55 deg, yang artinya kapal pada kondisi ini memenuhi kriteria operasi untuk amplitudo *Pitch* rata-rata yang kurang dari 2,5 deg.

Melihat dari gambar 4.46 – 4.49 kondisi kapal *half load* yang memiliki variasi kecepatan dari 0-7 knot terlihat memberikan pengaruh perubahan grafik spektra respons *Pitch* dan juga nilai stokastik dari masing-masing kecepatan pada semua  $H_s$  pada  $T_p = 8,5$  detik. Seperti contoh pada kondisi *half load* dengan kecepatan 3 knot yang akan ditunjukkan pada tabel 4.37 nilai stokastik dari spektra respons *Pitch*, sebagai berikut :

**Tabel 4.37** Harga-harga stokastik respons gerakan *Pitch Self Propelled Coal Barge* kondisi *Half load* dengan kecepatan kapal 3 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 2,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

|                        |              |       |   |
|------------------------|--------------|-------|---|
| $m_0 =$                | 1,3922667266 |       |   |
| $m_1 =$                | 1,0162635759 |       |   |
| $m_2 =$                | 0,7513489813 |       |   |
| $m_4 =$                | 0,4272622461 |       |   |
| $\zeta_s =$            | 2,35989      | deg   | (Significant Pitch amplitude)   |
| $T_0 =$                | 10,75987     | secs  | (Modal period)  |
| $T_P =$                | 10,41513     | secs  | (Peak period)   |
| $T_Z =$                | 10,69132     | secs  | (Zero up-crossing period)   |
| $\omega_0 =$           | 0,58395      | rad/s | (Modal frequency)   |
| $\omega_P =$           | 0,60328      | rad/s | (Peak frequency)  |
| $\omega_Z =$           | 0,58769      | rad/s | (Zero up-crossing frequency)  |
| $\zeta_{av} =$         | 1,47493      | deg   | (Average Pitch amplitude)   |
| $\zeta_{1/10} =$       | 2,99706      | deg   | (One-tenth highest Pitch amplitude)   |
| $\zeta_{ext} =$        | 4,45919      | deg   | (Most probable extreme Pitch amplitude)                                     |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | 5,71906      | deg   | (Extreme Pitch amplitude w/ prob. of occ.<br>1% -> 99% level of confidence) |

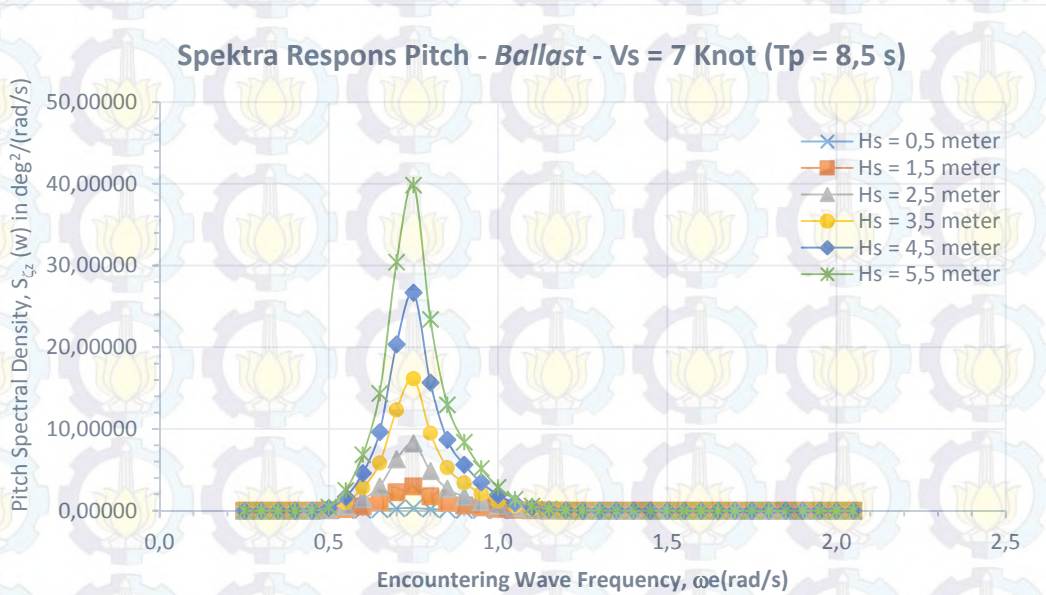
Terlihat pada tabel 4.37, nilai dari amplitudo *Pitch* rata-rata sebesar 1,47 deg, sehingga pada kondisi gelombang signifikan 2,5 m nilai amplitudo *Pitch* rata-rata masih dibawah nilai kriteria operasi amplitudo *Pitch* rata-rata 2,5 deg. Dan jika



dilihat dengan semakin tingginya kecepatan kapal antara 3 knot dengan 7 knot pada  $H_s = 2,5$  m, memiliki nilai amplitudo *Pitch* rata-rata yang semakin tinggi dari 1,47 deg dan 1,557 selisih 0,087 deg. Hal ini berarti dengan bertambahnya kecepatan pada  $H_s=2,5$  m dan  $T_p = 8,5$  detik maka amplitudo *Pitch* rata-rata semakin tinggi.

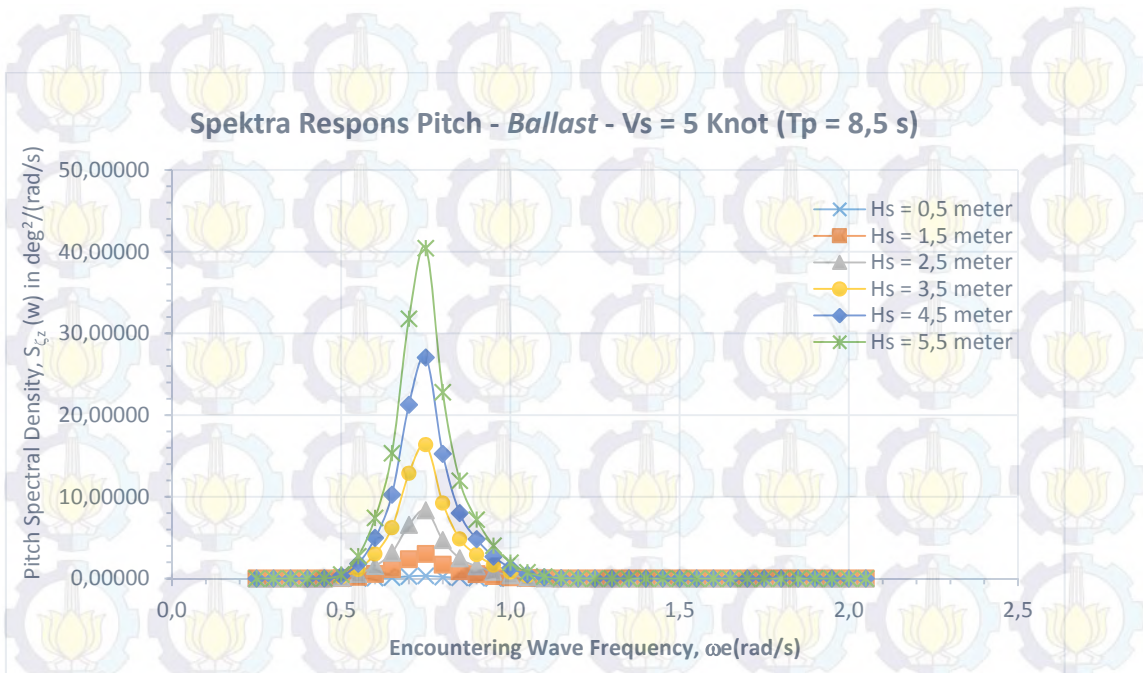
Jika dibandingkan antara kondisi *full load* dan *half load* maka dengan kecepatan 7 knot pada  $H_s = 2,5$  m dan  $T_p = 8,5$  s, nilai dari amplitudo *Pitch* rata-rata untuk kondisi *full load* 1,551 deg dan untuk *half load* 1,557 deg. Hal ini berarti gerakan *Pitch* digelombang acak kondisi *half load* lebih besar mengalami respon gerak *Pitch* dibandingkan kondisi *full load*.

#### 4.5.9 Spektra Respons untuk Gerakan *Pitch* pada Kondisi *Ballast*

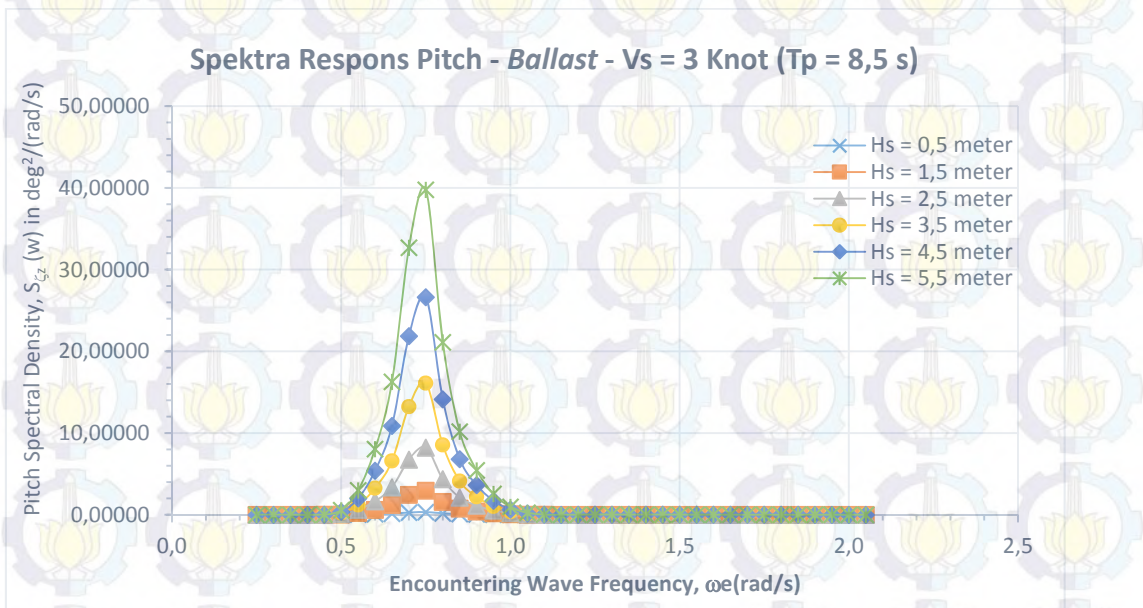


Gambar 4.50 Spektra Respons *Pitch* (*ballast*) dengan kecepatan kapal 7 knot.



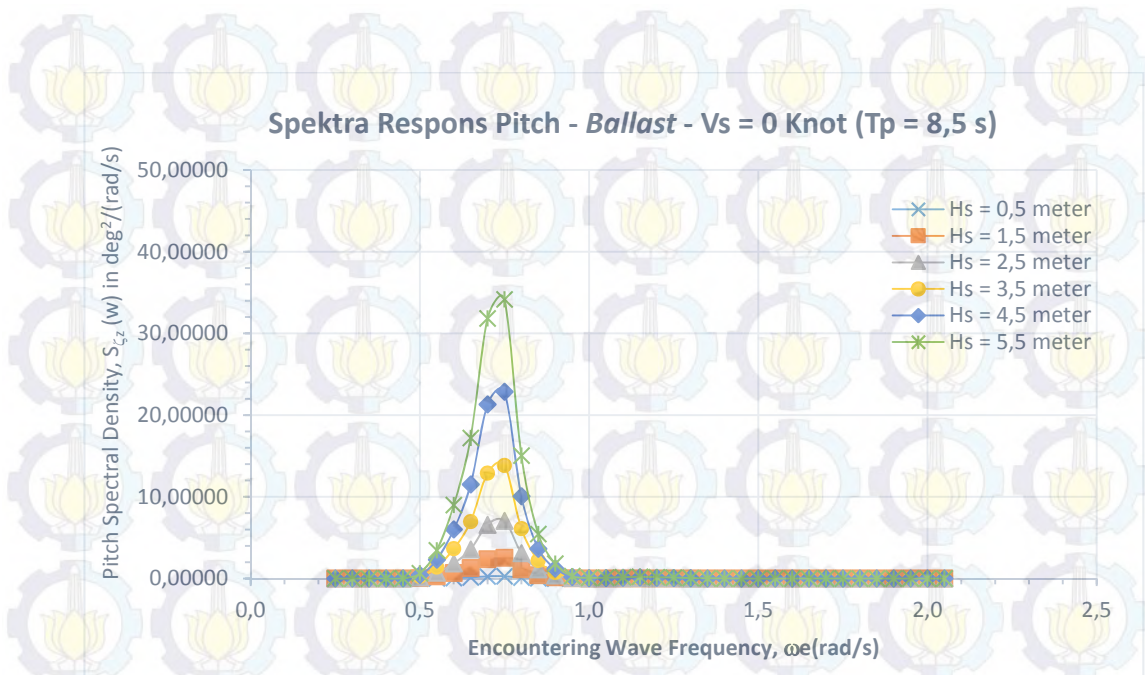


**Gambar 4.51** Spektra Respons *Pitch* (ballast) dengan kecepatan kapal 5 knot.



**Gambar 4.52** Spektra Respons *Pitch* (ballast) dengan kecepatan kapal 3 knot.





**Gambar 4.53** Spektra Respons *Pitch* (*ballast*) dengan kecepatan kapal 0 knot.

Untuk spektra respons *Pitch* digelombang acak dihitung dari gerakan *Pitch* yang ekstrem terjadi akibat propagasi gelombang arah  $180^\circ$ , pola perubahan spektra respons *Pitch* relatif sangat mirip dengan pola perubahan spektra gelombangnya yang ditunjukkan pada gambar 4.16.C, dalam setiap gambar grafik terdapat 6 kurva spektra respons gerakan *Pitch* yang dihitung menurut kenaikan tinggi gelombang signifikan mulai dari  $H_s = 0,5$  m sampai  $H_s = 5,5$  m untuk kondisi kapal *ballast* dengan variasi kecepatan mulai 0 knot – 7 knot yang tersaji dalam gambar 4.50 4.53. puncak spektra respons *Pitch* terjadi pada frekuensi gelombang insiden disekitar 0,75 rad/s. Dengan posisi masing-masing puncak spektra kurang lebih sama. Dengan semakin tinggi nilai  $H_s$  maka respons puncak yang terjadi semakin tinggi pula untuk setiap kondisi, dengan nilai puncak spektra respons *Pitch* relatif lebih tinggi jika dibanding dengan puncak spektra gelombang, pada kondisi kecepatan 7 knot pada  $H_s=5,5$  m, nilai puncak spektra respons *Pitch* sudah mendekati harga  $39,84 \text{ deg}^2/(\text{rad}/\text{det})$ , pada kondisi kecepatan 5 knot pada  $H_s = 5,5$  m, nilai puncak spektra respons *Pitch* sudah mendekati harga  $40,43 \text{ deg}^2/(\text{rad}/\text{det})$ , pada kondisi kecepatan 3 knot pada  $H_s=5,5$  m, nilai puncak spektra respons *Pitch* sudah mendekati harga  $39,77 \text{ deg}^2/(\text{rad}/\text{det})$ , pada kondisi kecepatan 0 knot pada



$H_s=5,5$  m, nilai puncak spektra respons *Pitch* sudah mendekati harga 34,15  $\text{deg}^2/(\text{rad}/\text{det})$ .

**Tabel 4.38** Harga-harga stokastik respons gerakan *Pitch Self Propelled Coal Barge* kondisi *ballast* dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 5,5$  meter dan  $T_p= 8,5$  detik

|                        |              |       |  |
|------------------------|--------------|-------|--|
| $m_0 =$                | 7,4183832685 |       |  |
| $m_1 =$                | 5,6415346287 |       |  |
| $m_2 =$                | 4,3657772288 |       |  |
| $m_4 =$                | 2,7615061855 |       |  |
| $\zeta_s =$            | 5,44734      | deg   | (Significant Pitch amplitude)  |
| $T_0 =$                | 10,32768     | secs  | (Modal period)   |
| $T_P =$                | 9,87526      | secs  | (Peak period)  |
| $T_Z =$                | 10,23799     | secs  | (Zero up-crossing period)  |
| $\omega_0 =$           | 0,60838      | rad/s | (Modal frequency)  |
| $\omega_P =$           | 0,63626      | rad/s | (Peak frequency)   |
| $\omega_Z =$           | 0,61371      | rad/s | (Zero up-crossing frequency)   |
| $\zeta_{av} =$         | 3,40459      | deg   | (Average Pitch amplitude)  |
| $\zeta_{1/10} =$       | 6,91812      | deg   | (One-tenth highest Pitch amplitude)                                      |
| $\zeta_{ext} =$        | 10,32436     | deg   | (Most probable extreme Pitch amplitude)                                  |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | 13,22566     | deg   | (Extreme Pitch amplitude w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence) |

Dari tabel 4.38 dapat dibaca bahwa akibat eksitasi gelombang dengan tinggi 5,5 meter, mengakibatkan amplitudo *Pitch* signifikan 5,44 deg. Untuk  $H_s$  dibawah 5,5 m memiliki nilai amplitudo *Pitch* signifikan yang lebih rendah.

Terlihat pula nilai stokastik dari spektra respons *Pitch* pada tabel 4.38, mempunyai nilai amplitudo *Pitch* rata-rata sebesar 3,40 deg, maka dari itu jika dihubungkan dengan kriteria operasi kapal, nilai amplitudo *Pitch* rata-rata lebih dari 2,5 deg. Hal ini berarti kapal mengalami kegagalan operasi karena kriteria ini pada dasarnya mengindikasikan resiko terjadinya slamming pada kapal.

Melihat pada kondisi tersebut kapal akan mempunyai amplitudo *Pitch* rata-rata yang lebih rendah dengan rendahnya nilai  $H_s$ , berikut ini merupakan contoh



kapal yang beroperasi pada  $H_s = 2,5$  m terlihat pada tabel 4.39 nilai stokastik dari spektra respons.

**Tabel 4.39** Harga-harga stokastik respons gerakan *Pitch Self Propelled Coal Barge* kondisi *Ballast* dengan kecepatan kapal 7 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 2,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

|                        |              |       |  |
|------------------------|--------------|-------|--|
| $m_0 =$                | 1,5327238158 |       |  |
| $m_1 =$                | 1,1656063282 |       |  |
| $m_2 =$                | 0,9020200886 |       |  |
| $m_4 =$                | 0,5705591292 |       |  |
| $\zeta_s =$            | 2,47606      | deg   | (Significant Pitch amplitude)  |
| $T_0 =$                | 10,32768     | secs  | (Modal period)   |
| $T_P =$                | 9,87526      | secs  | (Peak period)  |
| $T_Z =$                | 10,23799     | secs  | (Zero up-crossing period)  |
| $\omega_0 =$           | 0,60838      | rad/s | (Modal frequency)  |
| $\omega_P =$           | 0,63626      | rad/s | (Peak frequency)   |
| $\omega_Z =$           | 0,61371      | rad/s | (Zero up-crossing frequency)   |
| $\zeta_{av} =$         | 1,54754      | deg   | (Average Pitch amplitude)  |
| $\zeta_{1/10} =$       | 3,14460      | deg   | (One-tenth highest Pitch amplitude)                                      |
| $\zeta_{ext} =$        | 4,69289      | deg   | (Most probable extreme Pitch amplitude)                                  |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | 6,01167      | deg   | (Extreme Pitch amplitude w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence) |

Pada kondisi kapal dengan tinggi gelombang signifikan 2,5 m tersebut kapal memiliki nilai Amplitudo *Pitch* signifikan 2,47 deg. Serta untuk nilai dari amplitudo *Pitch* rata-rata sebesar 1,54 deg, yang artinya kapal pada kondisi ini memenuhi kriteria operasi untuk amplitudo *Pitch* rata-rata yang kurang dari 2,5 deg.

Melihat dari gambar 4.50 – 4.53 kondisi kapal *ballast* yang memiliki variasi kecepatan dari 0-7 knot terlihat memberikan pengaruh perubahan grafik spektra respons *Pitch* dan juga nilai stokastik dari masing-masing kecepatan pada semua  $H_s$  pada  $T_p = 8,5$  detik. Seperti contoh pada kondisi *ballast* dengan kecepatan 3 knot yang akan ditunjukkan pada tabel 4.40 nilai stokastik dari spektra respons *Pitch*, sebagai berikut :



**Tabel 4.40** Harga-harga stokastik respons gerakan *Pitch Self Propelled Coal Barge* kondisi *Ballast* dengan kecepatan kapal 3 knot pada tinggi gelombang  $H_s = 2,5$  meter dan  $T_p = 8,5$  detik

|                        |              |       |  |
|------------------------|--------------|-------|--|
| $m_0 =$                | 1,4455200642 |       |  |
| $m_1 =$                | 1,0688378226 |       |  |
| $m_2 =$                | 0,8015982426 |       |  |
| $m_4 =$                | 0,4715531410 |       |  |
| $\zeta_s =$            | 2,40460      | deg   | (Significant Pitch amplitude)  |
| $T_0 =$                | 10,62192     | secs  | (Modal period)   |
| $T_P =$                | 10,24009     | secs  | (Peak period)  |
| $T_Z =$                | 10,54689     | secs  | (Zero up-crossing period)  |
| $\omega_0 =$           | 0,59153      | rad/s | (Modal frequency)  |
| $\omega_P =$           | 0,61359      | rad/s | (Peak frequency)   |
| $\omega_Z =$           | 0,59574      | rad/s | (Zero up-crossing frequency)   |
| $\zeta_{av} =$         | 1,50287      | deg   | (Average Pitch amplitude)  |
| $\zeta_{1/10} =$       | 3,05384      | deg   | (One-tenth highest Pitch amplitude)                                      |
| $\zeta_{ext} =$        | 4,54800      | deg   | (Most probable extreme Pitch amplitude)                                  |
| $\zeta(\alpha=0.01) =$ | 5,83078      | deg   | (Extreme Pitch amplitude w/ prob. of occ. 1% -> 99% level of confidence) |

Terlihat pada tabel 4.40, nilai dari amplitudo *Pitch* rata-rata sebesar 1,50 deg, sehingga pada kondisi gelombang signifikan 2,5 m nilai amplitudo *Pitch* rata-rata masih dibawah nilai kriteria operasi amplitudo *Pitch* rata-rata 2,5 deg. Dan jika dilihat dengan semakin tingginya kecepatan kapal antara 3 knot dengan 7 knot pada  $H_s = 2,5$  m, memiliki nilai amplitudo *Pitch* rata-rata yang semakin tinggi dari 1,50 deg dan 1,547 selisih 0,047 deg. Hal ini berarti dengan bertambahnya kecepatan pada  $H_s = 2,5$  m dan  $T_p = 8,5$  detik maka amplitudo *Pitch* rata-rata semakin tinggi.

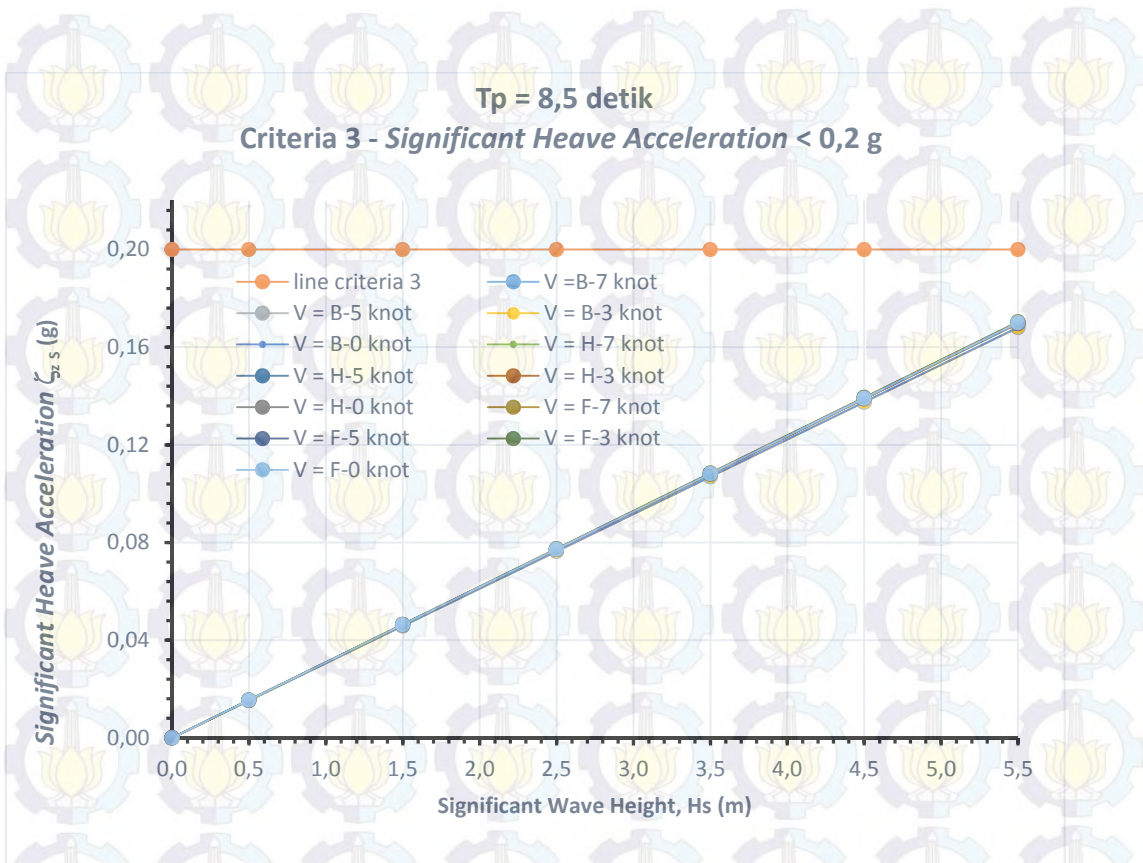
Jika dibandingkan antara kondisi *ballast*, *full load* dan *half load* maka dengan kecepatan 7 knot pada  $H_s = 2,5$  m dan  $T_p = 8,5$  s, nilai dari amplitudo *Pitch* rata-rata untuk kondisi *ballast* 1,547 deg nilai dari amplitudo *Pitch* rata-rata untuk kondisi *full load* 1,551 deg dan untuk *half load* 1,557 deg. Hal ini berarti gerakan *Pitch* digelombang acak kondisi *ballast* lebih kecil jika dibanding dengan pada saat kondisi *half load* dan kondisi *full load*.



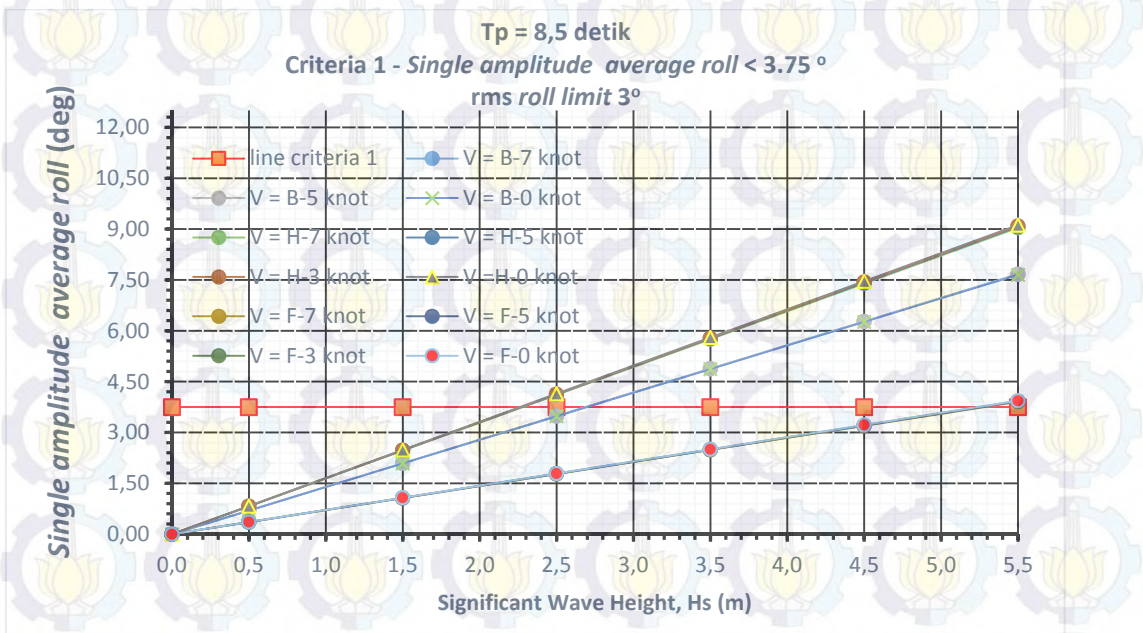
Spektra respons tersebut didapatkan dari hasil perhitungan *transfer function* pada persamaan (2.12), RAO yang dikorelasikan terhadap spektra gelombang JONSWAP, dalam spektra respons tersebut hanya dilakukan pada mode gerak vertikal (*Heave, Roll, Pitch*) yang sesuai dengan kebutuhan kriteria operasi. Luasan dibawah kurva spektra respons tiap gerakan atau disebut  $m_0$  perlu didapatkan untuk nantinya diperoleh nilai statistik tiap gerakan dengan mengaplikasikan persamaan (2.13) selanjutnya dengan menggunakan persamaan (2.15) dan (2.17), nilai amplitudo signifikan dan amplitudo rata-rata didapatkan. Nilai amplitudo respons rata-rata di tiap gerakan inilah yang dikorelasikan dengan operabilitas di tiap periode puncak dan tinggi gelombang signifikan. Gambar 4.54 s.d 4.56 ini adalah grafik kenaikan  $H_s$  sebagai fungsi kenaikan  $H_s$ .

Pada gambar 4.55 merupakan contoh kenaikan amplitudo *Roll* rata-rata sebagai fungsi kenaikan tinggi gelombang signifikan pada periode puncak  $T_p = 8,5$  detik kriteria operasi terlampaui pada aspek gerakan *Roll*, pada tinggi gelombang signifikan  $H_s = 2$  meter. SPCB mengalami amplitudo gerakan *Roll* rata-rata melebihi  $3,75^\circ$  yang merupakan kriteria operasi. Sedangkan untuk kriteria *Heave* dan *Pitch* terlihat pada gambar 4.54-4.56, harga percepatan *Heave* signifikan masih memenuhi kriteria operasi sampai tinggi gelombang 5,5 meter. Dan untuk amplitudo *Pitch* rata-rata melebihi nilai kriteria operasi amplitudo *pitch* rata-rata  $2,5^\circ$ .



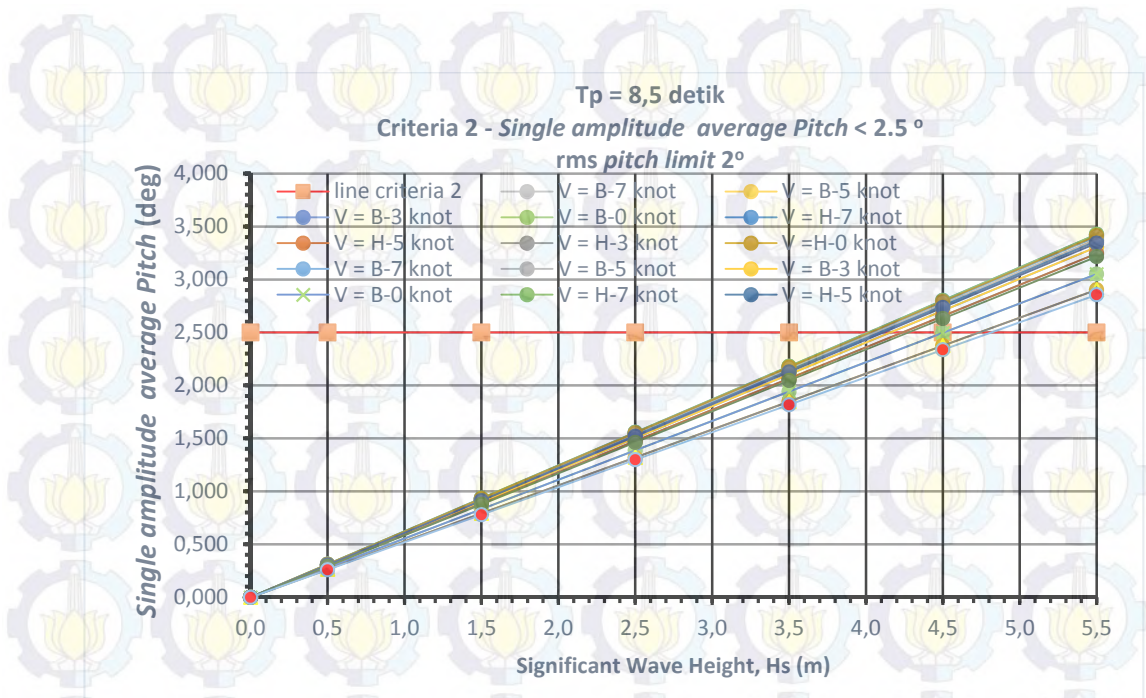


**Gambar 4.54** Kenaikan percepatan *Heave* signifikan sebagai fungsi kenaikan tinggi gelombang signifikan



**Gambar 4.55** Kenaikan amplitudo *Roll* rata-rata sebagai fungsi kenaikan tinggi gelombang signifikan





**Gambar 4.56.** Kenaikan amplitudo *Pitch* rata-rata sebagai fungsi kenaikan tinggi gelombang signifikan

Untuk kriteria operasi umum, pada semua kondisi pembebanan dan kecepatan, operasi SPCB akan dibatasi oleh kriteria-1. Besarnya batasan tinggi gelombang signifikan dimana kriteria-1 terlampaui adalah cukup bervariasi, bergantung pada kondisi pembebanan dan perubahan kecepatan serta tinggi gelombang signifikan dan periode puncak.



## 4.6 ANALISIS OPERABILITAS SPCB

### 4.6.1 Operabilitas SPCB (*Self Propelled Coal Barge SPCB*) Di Perairan

#### Dunia

Untuk melihat karakteristik operabilitas *SPCB* maka data harus dilakukan perbandingan antara harga stokastik dari spektra respons gerak terhadap kriteria operasi. Dengan kriteria operasi *SPCB* sebagai berikut :

Kriteria [1] adalah nilai amplitudo *Roll* rata-rata  $< 3,75$  deg.

Kriteria [2] adalah nilai amplitudo *Pitch* rata-rata  $< 2,5$  deg.

Kriteria [3] adalah nilai percepatan *Heave* signifikan  $< 0.2$  g.

Selanjutnya melihat harga stokastik tersebut dengan membandingkan terhadap kenaikan tinggi gelombang signifikan. Selanjutnya untuk kondisi pembebanan pada tiap kecepatan, akan dilihat sampai seberapa besar tinggi gelombang signifikan dimana kriteria operasi masih terpenuhi. Pertimbangan kriteria harus dilakukan secara inklusif, artinya untuk suatu mode kerja bilamana satu saja kriteria terlampaui maka pada tahap tersebutlah batasan operasi ditetapkan. Untuk memudahkan evaluasi maka telah disusun tabulasi batasan tinggi gelombang signifikan untuk keseluruhan periode puncak seperti dalam tabel 4.41 sampai dengan tabel 4.43.



**Tabel 4.41** Batasan Tinggi Gelombang Signifikan untuk Kondisi *Ballast*

| (Tp = 3,5 s)      |            |            |            |               | (Tp = 10,5 s)     |               |            |            |              |
|-------------------|------------|------------|------------|---------------|-------------------|---------------|------------|------------|--------------|
|                   | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot    |                   | V = 0 Knot    | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot   |
| <b>Kriteria 1</b> | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m      | <b>Kriteria 1</b> | 2,99 m        | 3,1 m      | 3,2 m      | 3,4 m        |
| <b>Kriteria 2</b> | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m      | <b>Kriteria 2</b> | <b>3,85 m</b> | 3,9 m      | 4,95 m     | 4 m          |
| <b>Kriteria 3</b> | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m      | <b>Kriteria 3</b> | > 4,49 m      | > 4,49 m   | > 4,49 m   | > 4,49 m     |
| (Tp = 4,5 s)      |            |            |            |               | (Tp = 11,5 s)     |               |            |            |              |
|                   | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot    |                   | V = 0 Knot    | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot   |
| <b>Kriteria 1</b> | > 1,49 m   | > 1,49 m   | > 1,49 m   | > 1,49 m      | <b>Kriteria 1</b> | 3,49 m        | 3,6 m      | 3,7 m      | 3,9 m        |
| <b>Kriteria 2</b> | > 1,49 m   | > 1,49 m   | > 1,49 m   | > 1,49 m      | <b>Kriteria 2</b> | <b>4,05 m</b> | 4,1 m      | 4,15 m     | 4,25 m       |
| <b>Kriteria 3</b> | > 1,49 m   | > 1,49 m   | > 1,49 m   | > 1,49 m      | <b>Kriteria 3</b> | > 5,49 m      | > 5,49 m   | > 5,49 m   | > 5,49 m     |
| (Tp = 5,5 s)      |            |            |            |               | (Tp = 12,5 s)     |               |            |            |              |
|                   | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot    |                   | V = 0 Knot    | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot   |
| <b>Kriteria 1</b> | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m      | <b>Kriteria 1</b> | 3,99 m        | 4,1 m      | 4,2 m      | 4,3 m        |
| <b>Kriteria 2</b> | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m      | <b>Kriteria 2</b> | 4,1 m         | 4,2 m      | 4,3 m      | <b>4,4 m</b> |
| <b>Kriteria 3</b> | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m      | <b>Kriteria 3</b> | > 5,5 m       | > 5,5 m    | > 5,5 m    | > 5,5 m      |
| (Tp = 6,5 s)      |            |            |            |               | (Tp = 13,5 s)     |               |            |            |              |
|                   | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot    |                   | V = 0 Knot    | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot   |
| <b>Kriteria 1</b> | 1,99 m     | > 1,99 m   | > 1,99 m   | 2,05 m        | <b>Kriteria 1</b> | 4,99 m        | 4,99 m     | 4,99 m     | 4,99 m       |
| <b>Kriteria 2</b> | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m      | <b>Kriteria 2</b> | <b>4,4 m</b>  | 4,5 m      | 4,6 m      | 4,8 m        |
| <b>Kriteria 3</b> | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m      | <b>Kriteria 3</b> | > 5,5 m       | > 5,5 m    | > 5,5 m    | > 5,5 m      |
| (Tp = 7,5 s)      |            |            |            |               | (Tp = 14,5 s)     |               |            |            |              |
|                   | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot    |                   | V = 0 Knot    | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot   |
| <b>Kriteria 1</b> | 1,99 m     | 2,05 m     | 2,1 m      | 2,3 m         | <b>Kriteria 1</b> | > 3,49 m      | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m     |
| <b>Kriteria 2</b> | > 2,99 m   | > 2,99 m   | > 2,99 m   | > 2,99 m      | <b>Kriteria 2</b> | > 3,49 m      | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m     |
| <b>Kriteria 3</b> | > 2,99 m   | > 2,99 m   | > 2,99 m   | > 2,99 m      | <b>Kriteria 3</b> | > 3,49 m      | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m     |
| (Tp = 8,5 s)      |            |            |            |               | (Tp = 15,5 s)     |               |            |            |              |
|                   | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot    |                   | V = 0 Knot    | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot   |
| <b>Kriteria 1</b> | 2,49 m     | 2,55 m     | 2,6 m      | 2,65 m        | <b>Kriteria 1</b> | > 3,49 m      | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m     |
| <b>Kriteria 2</b> | 4,5 m      | 4,4 m      | 4,3 m      | <b>4,25 m</b> | <b>Kriteria 2</b> | > 3,49 m      | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m     |
| <b>Kriteria 3</b> | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m      | <b>Kriteria 3</b> | > 3,49 m      | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m     |
| (Tp = 9,5 s)      |            |            |            |               | (Tp = 16,5 s)     |               |            |            |              |
|                   | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot    |                   | V = 0 Knot    | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot   |
| <b>Kriteria 1</b> | 2,99 m     | 3 m        | 3 m        | 3 m           | <b>Kriteria 1</b> | > 1,99 m      | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m     |
| <b>Kriteria 2</b> | 4,05 m     | 4 m        | 3,95 m     | <b>3,95 m</b> | <b>Kriteria 2</b> | > 1,99 m      | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m     |
| <b>Kriteria 3</b> | > 3,99 m   | > 3,99 m   | > 3,99 m   | > 3,99 m      | <b>Kriteria 3</b> | > 1,99 m      | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m     |



**Tabel 4.42** Batasan Tinggi Gelombang Signifikan untuk Kondisi *Half load*

|              |            |            |            |            |               |            |            |            |            |
|--------------|------------|------------|------------|------------|---------------|------------|------------|------------|------------|
| (Tp = 3,5 s) |            |            |            |            | (Tp = 10,5 s) |            |            |            |            |
|              | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot |               | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot |
| Kriteria 1   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | Kriteria 1    | 2,5 m      | 2,6 m      | 2,7 m      | 2,9 m      |
| Kriteria 2   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | Kriteria 2    | 3,9 m      | 3,9 m      | 3,9 m      | 3,9 m      |
| Kriteria 3   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | Kriteria 3    | > 4,49 m   | > 4,49 m   | > 4,49 m   | > 4,49 m   |
| (Tp = 4,5 s) |            |            |            |            | (Tp = 11,5 s) |            |            |            |            |
|              | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot |               | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot |
| Kriteria 1   | > 1,49 m   | > 1,49 m   | > 1,49 m   | > 1,49 m   | Kriteria 1    | 3 m        | 3,1 m      | 3,15 m     | 3,2 m      |
| Kriteria 2   | > 1,49 m   | > 1,49 m   | > 1,49 m   | > 1,49 m   | Kriteria 2    | 4,05 m     | 4,05 m     | 4,1 m      | 4,15 m     |
| Kriteria 3   | > 1,49 m   | > 1,49 m   | > 1,49 m   | > 1,49 m   | Kriteria 3    | > 5,49 m   | > 5,49 m   | > 5,49 m   | > 5,49 m   |
| (Tp = 5,5 s) |            |            |            |            | (Tp = 12,5 s) |            |            |            |            |
|              | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot |               | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot |
| Kriteria 1   | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m   | Kriteria 1    | 3,5 m      | 3,5 m      | 3,55 m     | 3,6 m      |
| Kriteria 2   | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m   | Kriteria 2    | 4,05 m     | 4,1 m      | 4,2 m      | 4,25 m     |
| Kriteria 3   | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m   | Kriteria 3    | > 5,5 m    | > 5,5 m    | > 5,5 m    | > 5,5 m    |
| (Tp = 6,5 s) |            |            |            |            | (Tp = 13,5 s) |            |            |            |            |
|              | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot |               | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot |
| Kriteria 1   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | Kriteria 1    | 4 m        | 4 m        | 4 m        | 4 m        |
| Kriteria 2   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | Kriteria 2    | 4,35 m     | 4,4 m      | 4,5 m      | 4,6 m      |
| Kriteria 3   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | Kriteria 3    | > 5,5 m    | > 5,5 m    | > 5,5 m    | > 5,5 m    |
| (Tp = 7,5 s) |            |            |            |            | (Tp = 14,5 s) |            |            |            |            |
|              | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot |               | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot |
| Kriteria 1   | 1,99 m     | 2 m        | 2,05 m     | 2,1 m      | Kriteria 1    | 3,49 m     | 3,55 m     | 3,6 m      | 3,6 m      |
| Kriteria 2   | > 2,99 m   | > 2,99 m   | > 2,99 m   | > 2,99 m   | Kriteria 2    | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m   |
| Kriteria 3   | > 2,99 m   | > 2,99 m   | > 2,99 m   | > 2,99 m   | Kriteria 3    | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m   |
| (Tp = 8,5 s) |            |            |            |            | (Tp = 15,5 s) |            |            |            |            |
|              | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot |               | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot |
| Kriteria 1   | 2 m        | 2,1 m      | 2,15 m     | 2,2 m      | Kriteria 1    | 3,49 m     | 3,55 m     | 3,6 m      | 3,6 m      |
| Kriteria 2   | 4,7 m      | 4,5 m      | 4,2 m      | 4 m        | Kriteria 2    | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m   |
| Kriteria 3   | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m   | Kriteria 3    | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m   |
| (Tp = 9,5 s) |            |            |            |            | (Tp = 16,5 s) |            |            |            |            |
|              | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot |               | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot |
| Kriteria 1   | 2,5 m      | 2,55 m     | 2,55 m     | 2,55 m     | Kriteria 1    | 1,99 m     | 2,05 m     | 2,1 m      | 2,15 m     |
| Kriteria 2   | 4,1 m      | 4 m        | 3,9 m      | 3,8 m      | Kriteria 2    | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m   |
| Kriteria 3   | > 3,99 m   | > 3,99 m   | > 3,99 m   | > 3,99 m   | Kriteria 3    | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m   |



**Tabel 4.43** Batasan Tinggi Gelombang Signifikan untuk Kondisi *Full load*

| (Tp = 3,5 s)      |            |            |            |              | (Tp = 10,5 s)     |              |            |            |              |
|-------------------|------------|------------|------------|--------------|-------------------|--------------|------------|------------|--------------|
|                   | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot   |                   | V = 0 Knot   | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot   |
| <b>Kriteria 1</b> | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m     | <b>Kriteria 1</b> | 2,49 m       | 2,6 m      | 2,7 m      | 2,8 m        |
| <b>Kriteria 2</b> | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m     | <b>Kriteria 2</b> | <b>3,9 m</b> | 3,9 m      | 3,85 m     | 3,8 m        |
| <b>Kriteria 3</b> | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m     | <b>Kriteria 3</b> | > 4,49 m     | > 4,49 m   | > 4,49 m   | > 4,49 m     |
| (Tp = 4,5 s)      |            |            |            |              | (Tp = 11,5 s)     |              |            |            |              |
|                   | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot   |                   | V = 0 Knot   | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot   |
| <b>Kriteria 1</b> | > 1,49 m   | > 1,49 m   | > 1,49 m   | > 1,49 m     | <b>Kriteria 1</b> | 2,5 m        | 2,7 m      | 2,8 m      | 3 m          |
| <b>Kriteria 2</b> | > 1,49 m   | > 1,49 m   | > 1,49 m   | > 1,49 m     | <b>Kriteria 2</b> | <b>4 m</b>   | 4,05 m     | 4,1 m      | 4,1 m        |
| <b>Kriteria 3</b> | > 1,49 m   | > 1,49 m   | > 1,49 m   | > 1,49 m     | <b>Kriteria 3</b> | > 5,49 m     | > 5,49 m   | > 5,49 m   | > 5,49 m     |
| (Tp = 5,5 s)      |            |            |            |              | (Tp = 12,5 s)     |              |            |            |              |
|                   | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot   |                   | V = 0 Knot   | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot   |
| <b>Kriteria 1</b> | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m     | <b>Kriteria 1</b> | 3 m          | 3,05 m     | 3,15 m     | 3,2 m        |
| <b>Kriteria 2</b> | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m     | <b>Kriteria 2</b> | 4 m          | 4,1 m      | 4,15 m     | <b>4,2 m</b> |
| <b>Kriteria 3</b> | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m     | <b>Kriteria 3</b> | > 5,5 m      | > 5,5 m    | > 5,5 m    | > 5,5 m      |
| (Tp = 6,5 s)      |            |            |            |              | (Tp = 13,5 s)     |              |            |            |              |
|                   | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot   |                   | V = 0 Knot   | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot   |
| <b>Kriteria 1</b> | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m     | <b>Kriteria 1</b> | 3,5 m        | 3,55 m     | 3,55 m     | 3,6 m        |
| <b>Kriteria 2</b> | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m     | <b>Kriteria 2</b> | <b>4,3 m</b> | 4,4 m      | 4,5 m      | 4,6 m        |
| <b>Kriteria 3</b> | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m   | > 2,49 m     | <b>Kriteria 3</b> | > 5,5 m      | > 5,5 m    | > 5,5 m    | > 5,5 m      |
| (Tp = 7,5 s)      |            |            |            |              | (Tp = 14,5 s)     |              |            |            |              |
|                   | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot   |                   | V = 0 Knot   | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot   |
| <b>Kriteria 1</b> | > 2,99 m   | > 2,99 m   | > 2,99 m   | > 2,99 m     | <b>Kriteria 1</b> | > 3,49 m     | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m     |
| <b>Kriteria 2</b> | > 2,99 m   | > 2,99 m   | > 2,99 m   | > 2,99 m     | <b>Kriteria 2</b> | > 3,49 m     | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m     |
| <b>Kriteria 3</b> | > 2,99 m   | > 2,99 m   | > 2,99 m   | > 2,99 m     | <b>Kriteria 3</b> | > 3,49 m     | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m     |
| (Tp = 8,5 s)      |            |            |            |              | (Tp = 15,5 s)     |              |            |            |              |
|                   | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot   |                   | V = 0 Knot   | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot   |
| <b>Kriteria 1</b> | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m     | <b>Kriteria 1</b> | > 3,49 m     | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m     |
| <b>Kriteria 2</b> | 4,8 m      | 4,6 m      | 4,3 m      | <b>4 m</b>   | <b>Kriteria 2</b> | > 3,49 m     | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m     |
| <b>Kriteria 3</b> | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m     | <b>Kriteria 3</b> | > 3,49 m     | > 3,49 m   | > 3,49 m   | > 3,49 m     |
| (Tp = 9,5 s)      |            |            |            |              | (Tp = 16,5 s)     |              |            |            |              |
|                   | V = 0 Knot | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot   |                   | V = 0 Knot   | V = 3 Knot | V = 5 Knot | V = 7 Knot   |
| <b>Kriteria 1</b> | 3 m        | 3, m       | 3 m        | 3,49 m       | <b>Kriteria 1</b> | > 1,99 m     | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m     |
| <b>Kriteria 2</b> | 4,1 m      | 4 m        | 3,9 m      | <b>3,8 m</b> | <b>Kriteria 2</b> | > 1,99 m     | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m     |
| <b>Kriteria 3</b> | > 3,99 m   | > 3,99 m   | > 3,99 m   | > 3,99 m     | <b>Kriteria 3</b> | > 1,99 m     | > 1,99 m   | > 1,99 m   | > 1,99 m     |

Dari tabel 4.41 sampai 4.43 dapat dilihat kriteria-3 pada semua kondisi pembebanan dan kecepatan untuk semua periode puncak mulai dari 3,5 detik sampai 11,5 detik, hampir tidak pernah terlampaui dibawah tinggi gelombang signifikan 5,5 meter. Untuk kriteria operasi umum, pada semua kondisi pembebanan dan kecepatan, operasi SPCB akan dibatasi oleh kriteria-1. Besarnya tinggi gelombang signifikan dimana kriteria-1 terlampaui adalah cukup bervariasi,



bergantung pada kondisi pembebanan dan perubahan kecepatan serta tinggi gelombang signifikan dan periode puncak.

Melihat pada kriteria pemuatan, operasi kapal kebanyakan dibatasi oleh kriteria-1. Untuk kriteria-1 terlampaui jika tinggi gelombang signifikan lebih besar dari 2 meter. Hal ini menarik juga untuk diamati adalah pola naik-turunnya batasan tinggi gelombang signifikan untuk tiap mode gerakan yang tidak selalu konsisten dengan kenaikan atau penurunan bobot kapal. Hal ini telah di indikasikan sebelumnya, dalam analisis hasil kajian SPCB diatas gelombang acak.

Lebih lanjut data dalam ketiga tabel tersebut juga perlu diperhatikan oleh operator, sebagai berikut :

Pada kondisi pembebanan *full load* dan pada saat stasioner, untuk operasi umum SPCB dapat dioperasikan sampai harga  $H_s$  sekitar 2,5 meter, Untuk kecepatan 7 knot batasan gelombang menaik, relatif hampir sama pada saat stasioner yakni pada  $H_s$  sekitar 3 m. Ini karena perubahan kecepatan yang tidak terlalu jauh antara 0 knot dengan 7 knot. Dengan demikian pada operasi umum penurunan batasan  $H_s$  relatif sedikit bersamaan dengan kenaikan kecepatan, yakni masing masing 0,2 m yang terjadi pada periode puncak  $T_p = 11,5$  detik.

Untuk operasi umum kondisi pembebanan *half load* pada stasioner batasan tinggi gelombang signifikan yakni pada  $H_s = 2$  meter yang terjadi pada periode puncak 7,5 detik, sedikit mengalami penurunan dari pada kondisi pembebanan *full load*. Untuk kecepatan 7 knot batasan gelombang naik dengan nilai yang tidak signifikan, menaik relatif hampir sama pada saat stasioner yakni pada  $H_s = 2,1$  m. Ini karena perubahan kecepatan yang tidak terlalu jauh antara 0 knot dengan 7 knot.

Pada kondisi pembebanan *ballast* batasan  $H_s$  bila mana kriteria [1] terlampaui, batasan tinggi gelombang signifikan terjadi pada  $H_s = 1,99$  meter pada periode puncak 7,5 detik,

Bila dikorelasikan dengan operasi umum maka pada operasi *full load* pada kondisi stasioner lebih aman karena harga batasan  $H_s$  relatif lebih tinggi dengan peningkatan 0,5 meter. Jadi secara garis besar kualitas *operasi* pada kondisi *full load* pada saat stasioner (*freefloating*) lebih baik dari pada kondisi pembebanan *ballast* dan *half load*.



Bila dikorelasikan dengan operasi umum maka pada operasi kondisi *ballast* dengan kecepatan 3 knot lebih aman karena harga batasan  $H_s$  relatif lebih tinggi dengan peningkatan 0,05 meter. Jadi secara garis besar kualitas operasi pada kondisi *ballast* dengan kecepatan 3 knot pada  $T_p = 7,5$  detik dibatasi pada  $H_s = 2,05$  meter lebih baik daripada kondisi *half load* dan *full load* yang dibatasi pada  $H_s = 2$  meter, namun untuk pengoprasian muatan pada saat kondisi *ballast* dengan kecepatan 5 knot dibatasi pada tinggi gelombang signifikan 2,1 meter yang terjadi pada  $T_p = 7,5$  detik.

Bila dikorelasikan dengan operasi umum maka pada operasi kondisi *half load* dan *full load* dengan kecepatan 7 knot lebih kritis, harga batasan  $H_s$  relatif lebih rendah dengan penurunan 0,05 meter dibanding pada saat kondisi *ballast*. Jadi secara garis besar kualitas operasi pada kondisi *ballast* dengan kecepatan 7 knot pada  $T_p = 7,5$  detik, dibatasi pada  $H_s = 2,3$  meter lebih baik daripada kondisi *half load* dan *full load* yang dibatasi pada  $H_s = 2,1$  meter.

Nilai operabilitas kapal secara keseluruhan akan dapat ditinjau dari nilai stokastik yang didapat dari spektra respon dengan mengkorelasikan data sebaran gelombang di perairan maritim dunia dimana batasan kriteria operasi ditentukan. Sebagai perancangan moda transportasi kapal pengangkut batubara direncanakan beroperasi dilaut Jawa, karena pada laut Jawa SPCB beroperasi hanya didapatkan data gelombang signifikan dan periode puncak saja tanpa adanya jumlah kejadian gelombang, dan belum pernah dilakukan pengukuran data sebaran gelombang dilaut Jawa maka dalam penelitian ini data dikorelasikan menggunakan data sebaran gelombang natuna dan data sebaran gelombang dunia dimana data sebaran tinggi gelombang maksimum ini diambil sebagai batasan tinggi gelombang signifikan 0,5 meter s.d 5,5 meter dan periode puncak dari 3,5 detik s.d 11,5 detik sampai 16,5 detik untuk menyesuaikan dengan data pengukuran gelombang di laut Jawa dengan tinggi gelombang ekstrem 5,4 m pada periode puncak 8,9 detik s.d 11,8 detik. Data gelombang dilaut Jawa pada tabel 4.44 dan Data sebaran gelombang perairan Dunia ditunjukkan pada tabel 4.45 sebagai berikut :



**Tabel 4.44** Merupakan Data Gelombang dilaut Jawa (PT. Kalvindo Utama -Fugro Indonesia)

| Parameter        |          |
|------------------|----------|
| Hs (m)           | 5,4      |
| Tp(s)            | 10,6     |
| Tp Range (s)     | 8,9-11,8 |
| Hmax (m)         | 10,2     |
| T-Hmax (s)       | 9,5      |
| T-Hmax Range (s) | 8,0-10,6 |
| JONSWAP $\gamma$ | 2,5      |

**Tabel 4.45** Data sebaran gelombang untuk perairan Dunia.

| Tp (s)                 | Hs (m) |       |       |       |       |       | sum Over<br>All Period | Peluang |
|------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------|---------|
|                        | 0,5    | 1,5   | 2,5   | 3,5   | 4,5   | 5,5   |                        |         |
| 3,5                    | 8      |       |       |       |       |       | 8                      | 0       |
| 4,5                    | 260    | 55    | 9     | 2     |       |       | 326                    | 0,004   |
| 5,5                    | 1344   | 1223  | 406   | 113   | 30    | 8     | 3124                   | 0,034   |
| 6,5                    | 2149   | 5349  | 3245  | 1332  | 469   | 156   | 12700                  | 0,139   |
| 7,5                    | 1349   | 7569  | 7844  | 4599  | 2101  | 858   | 24320                  | 0,266   |
| 8,5                    | 413    | 4788  | 7977  | 6488  | 3779  | 1867  | 25312                  | 0,277   |
| 9,5                    | 76     | 1698  | 4305  | 4716  | 3439  | 2030  | 16264                  | 0,178   |
| 10,5                   | 10     | 397   | 1458  | 2092  | 1876  | 1307  | 7140                   | 0,078   |
| 11,5                   | 1      | 69    | 351   | 642   | 696   | 564   | 2323                   | 0,025   |
| Sum Over<br>All Height | 5610   | 21148 | 25595 | 19984 | 12390 | 6790  | 91517                  | 1       |
| Peluang                | 0,061  | 0,231 | 0,28  | 0,218 | 0,135 | 0,074 | 1                      |         |

Maka langkah selanjutnya adalah menghitung peluang SPCB mampu melakukan operasi, hal ini dapat dilihat dari tabel 4.46 berikut :

**Tabel 4.46** Diagram Operabilitas SPCB di Perairan Dunia

| Tp (s)                 | Hs (m) |       |       |       |       |      | sum Over<br>All Period |
|------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|------|------------------------|
|                        | 0,5    | 1,5   | 2,5   | 3,5   | 4,5   | 5,5  |                        |
| 3,5                    | 8      |       |       |       |       |      | 8                      |
| 4,5                    | 260    | 55    | 9     | 2     |       |      | 326                    |
| 5,5                    | 1344   | 1223  | 406   | 113   | 30    | 8    | 3124                   |
| 6,5                    | 2149   | 5349  | 3245  | 1332  | 469   | 156  | 12700                  |
| 7,5                    | 1349   | 7569  | 7844  | 4599  | 2101  | 858  | 24320                  |
| 8,5                    | 413    | 4788  | 7977  | 6488  | 3779  | 1867 | 25312                  |
| 9,5                    | 76     | 1698  | 4305  | 4716  | 3439  | 2030 | 16264                  |
| 10,5                   | 10     | 397   | 1458  | 2092  | 1876  | 1307 | 7140                   |
| 11,5                   | 1      | 69    | 351   | 642   | 696   | 564  | 2323                   |
| Sum Over<br>All Height | 5610   | 21148 | 25595 | 19984 | 12390 | 6790 | 91517                  |

|          |   |         |
|----------|---|---------|
| Operable | = | 56,75 % |
| Downtime | = | 43,25 % |



Tabel 4.46 berikut ini hasil perhitungan peluang operabilitas di tiap tinggi dan di seluruh kejadian gelombang dalam rentan waktu 1 tahun. Dari tabel tersebut dapat di informasikan bahwa SPCB tidak akan beroperasi optimal diatas gelombang 2 meter.

**Tabel 4.47** Presentase Operabilitas SPCB di Perairan Dunia

| Hs (m)       | Operabilitas SPCB % | Downtime SPCB % |
|--------------|---------------------|-----------------|
| 0,5          | 6,13                | 0               |
| 1,5          | 23,11               | 0               |
| 2,5          | 27,51               | 0,45            |
| 3,5          | 0                   | 21,84           |
| 4,5          | 0                   | 13,54           |
| 5,5          | 0                   | 7,42            |
| <b>Total</b> | <b>56,75</b>        | <b>43,25</b>    |

Tabel 4.47 memberikan informasi bahwa presentase Operabilitas SPCB selama satu tahun adalah 56,75 % dan waktu tidak beroperasinya (*downtime*) adalah 43,25 %. Dengan itu dalam setahun (365 hari). SPCB mampu beroperasi selama 207 hari. Informasi lain yang dapat dilihat dari tabel bahwa SPCB tersebut mampu beroperasi sampai dibawah tinggi gelombang 2,5 meter tepatnya pada rata-rata ketinggian gelombang 2 meter. Untuk tinggi gelombang diatas nilai tersebut, SPCB tidak dapat beroperasi optimal. Melihat pada korelasi batasan kriteria operasi kapal terlampaui dikarenakan terlampauinya kriteria [1] amplitudo *roll* rata-raa  $< 3,75^\circ$ , kriteria mengindikasikan mengenai resiko kapal sehubungan dengan stabilitasnya, misalnya pengaruh naiknya air ke geladak terhadap degradasi stabilitasnya, dengan tinggi *freeboard* 2 meter.



#### 4.6.2 Operabilitas SPCB (*Self Propelled Coal Barge SPCB*) Di Perairan

##### Natuna

Operabilitas di perairan Natuna, karakteristik gerakan dilakukan seperti pada saat di gelombang perairan Dunia dengan meninjau karakteristik gerakan untuk semua  $H_s$  dan  $T_p$  yang ada pada keseluruhan data sebaran gelombang Natuna dengan mengambil nilai  $H_s$  dan  $T_p$  sama seperti pada perairan Dunia. didapatkan SPCB tersebut mampu beroperasi dibawah tinggi gelombang signifikan 2 m, untuk tinggi gelombang diatas nilai tersebut, SPCB tidak beroperasi optimal. Dengan melihat pada korelasi batasan kriteria operasi kapal terlampauinya kriteria [1] amplitudo *roll* rata-rata  $< 3,75^\circ$ , kriteria mengindikasikan mengenai resiko kapal sehubungan dengan stabilitasnya, misalnya pengaruh naiknya air ke geladak terhadap degradasi stabilitasnya, dengan tinggi *freeboard* 2 meter berbahaya terhadap muatan batubara. Berikut ini merupakan data sebaran gelombang Natuna dan diagram presentase operabilitas di perairan Natuna.



**Tabel 4.48** Data Sebaran Gelombang di Perairan Natuna (Metecean Belanak)

| Tp (det)           | 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 | 6.00-6.49 | Total Peluang periode |
|--------------------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|-----------|-----------------------|
| 0,5                | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0                     |
| 1,5                | 0,0008 | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0,0008                |
| 2,5                | 0,021  | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0,021                 |
| 3,5                | 0,1079 | 0,0863   | 0,005  | 0,0018   | 0,0002 | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0,2012                |
| 4,5                | 0,0183 | 0,1529   | 0,0143 | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0,1855                |
| 5,5                | 0,006  | 0,037    | 0,0771 | 0,0047   | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0,1248                |
| 6,5                | 0,0043 | 0,0177   | 0,0409 | 0,0257   | 0,001  | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0,0896                |
| 7,5                | 0,0023 | 0,0079   | 0,028  | 0,0382   | 0,0105 | 0,0002   | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0,0871                |
| 8,5                | 0,002  | 0,0058   | 0,0103 | 0,0247   | 0,0334 | 0,0119   | 0,0009 | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0,089                 |
| 9,5                | 0,0007 | 0,0041   | 0,0062 | 0,0158   | 0,0176 | 0,0255   | 0,0129 | 0,0012   | -      | -        | -      | -        | -         | 0,084                 |
| 10,5               | -      | 0,0037   | 0,0051 | 0,0067   | 0,0095 | 0,0113   | 0,0114 | 0,008    | 0,0017 | -        | -      | -        | -         | 0,0574                |
| 11,5               | 0,0001 | 0,0027   | 0,0034 | 0,0034   | 0,0043 | 0,0059   | 0,0047 | 0,0049   | 0,0025 | 0,0024   | 0,0003 | -        | -         | 0,0346                |
| 12,5               | -      | 0,002    | 0,0022 | 0,0016   | 0,0009 | 0,002    | 0,0019 | 0,0018   | 0,001  | 0,0009   | 0,0005 | 0,0003   | -         | 0,0151                |
| 13,5               | -      | 0,0007   | 0,001  | 0,0004   | 0,0006 | 0,0002   | 0,0004 | 0,0011   | 0,0003 | 0,0002   | 0,0002 | 0,0001   | -         | 0,0052                |
| 14,5               | -      | 0,0002   | 0,0009 | 0,0004   | 0,0004 | 0,0003   | 0,0001 | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0,0023                |
| 15,5               | 0,0001 | 0,0001   | 0,0002 | 0,0006   | 0,0004 | 0,0007   | 0,0001 | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0,0022                |
| 16,5               | -      | 0,0001   | -      | 0,0001   | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0,0002                |
| 17,5               | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0                     |
| 19,5               | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0                     |
| total Peluang High | 0,1635 | 0,3212   | 0,1946 | 0,1241   | 0,0788 | 0,058    | 0,0324 | 0,017    | 0,0055 | 0,0035   | 0,001  | 0,0004   | 0         | 1                     |



Tabel 4.49 Diagram Operabilitas untuk Perairan Natuna

| Tp (det)           | 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 | 6.00-6.49 | Total Peluang periode |
|--------------------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|-----------|-----------------------|
| 0,5                | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0                     |
| 1,5                | 0,0008 | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0,0008                |
| 2,5                | 0,021  | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0,021                 |
| 3,5                | 0,1079 | 0,0863   | 0,005  | 0,0018   | 0,0002 | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0,2012                |
| 4,5                | 0,0183 | 0,1529   | 0,0143 | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0,1855                |
| 5,5                | 0,006  | 0,037    | 0,0771 | 0,0047   | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0,1248                |
| 6,5                | 0,0043 | 0,0177   | 0,0409 | 0,0257   | 0,001  | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0,0896                |
| 7,5                | 0,0023 | 0,0079   | 0,028  | 0,0382   | 0,0105 | 0,0002   | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0,0871                |
| 8,5                | 0,002  | 0,0058   | 0,0103 | 0,0247   | 0,0334 | 0,0119   | 0,0009 | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0,089                 |
| 9,5                | 0,0007 | 0,0041   | 0,0062 | 0,0158   | 0,0176 | 0,0255   | 0,0129 | 0,0012   | -      | -        | -      | -        | -         | 0,084                 |
| 10,5               | -      | 0,0037   | 0,0051 | 0,0067   | 0,0095 | 0,0113   | 0,0114 | 0,008    | 0,0017 | -        | -      | -        | -         | 0,0574                |
| 11,5               | 0,0001 | 0,0027   | 0,0034 | 0,0034   | 0,0043 | 0,0059   | 0,0047 | 0,0049   | 0,0025 | 0,0024   | 0,0003 | -        | -         | 0,0346                |
| 12,5               | -      | 0,002    | 0,0022 | 0,0016   | 0,0009 | 0,002    | 0,0019 | 0,0018   | 0,001  | 0,0009   | 0,0005 | 0,0003   | -         | 0,0151                |
| 13,5               | -      | 0,0007   | 0,001  | 0,0004   | 0,0006 | 0,0002   | 0,0004 | 0,0011   | 0,0003 | 0,0002   | 0,0002 | 0,0001   | -         | 0,0052                |
| 14,5               | -      | 0,0002   | 0,0009 | 0,0004   | 0,0004 | 0,0003   | 0,0001 | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0,0023                |
| 15,5               | 0,0001 | 0,0001   | 0,0002 | 0,0006   | 0,0004 | 0,0007   | 0,0001 | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0,0022                |
| 16,5               | -      | 0,0001   | -      | 0,0001   | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0,0002                |
| 17,5               | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0                     |
| 19,5               | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -      | -        | -         | 0                     |
| total Peluang High | 0,1635 | 0,3212   | 0,1946 | 0,1241   | 0,0788 | 0,058    | 0,0324 | 0,017    | 0,0055 | 0,0035   | 0,001  | 0,0004   | 0         | 1                     |
| Operable           | =      |          |        |          |        |          |        |          |        |          |        |          |           | 84,07 %               |
| Downtime           | =      |          |        |          |        |          |        |          |        |          |        |          |           | 15,93 %               |

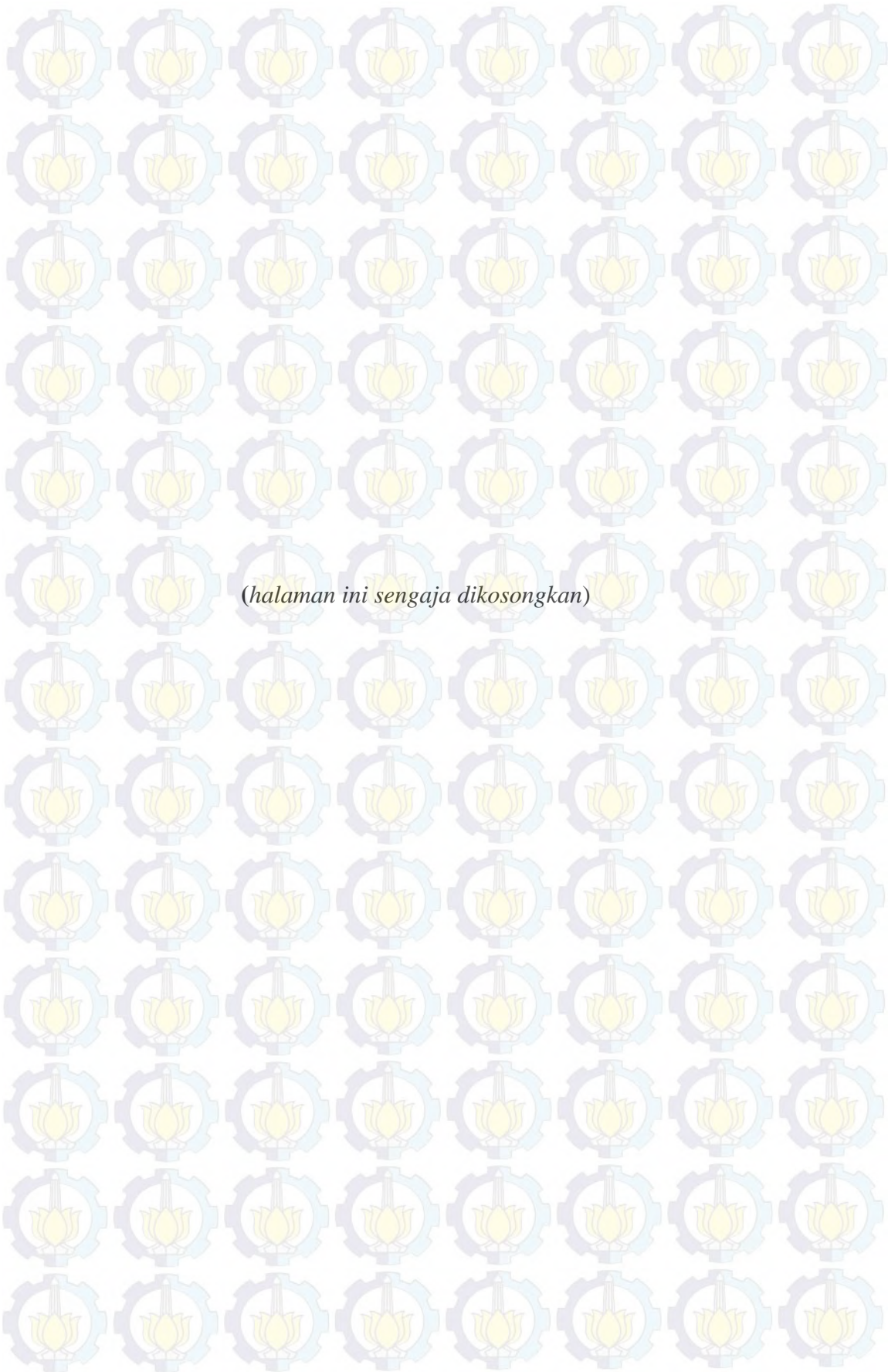


**Tabel 4.50** Presentase Operabilitas SPCB di perairan Natuna

| Hs (m)       | Operabilitas SPCB % | Downtime SPCB % |
|--------------|---------------------|-----------------|
| 0,49         | 16,35               | 0               |
| 0,5          | 32,12               | 0               |
| 1            | 19,46               | 0               |
| 1,5          | 12,41               | 0               |
| 2            | 3,39                | 4,49            |
| 2,5          | 0,32                | 5,48            |
| 3            | 0,02                | 3,22            |
| 3,5          | 0                   | 1,7             |
| 4            | 0                   | 0,55            |
| 4,5          | 0                   | 0,35            |
| 5            | 0                   | 0,1             |
| 5,5          | 0                   | 0,04            |
| <b>Total</b> | <b>84,07</b>        | <b>15,93</b>    |

Pada tabel 4.49 diagram operabilitas SPCB untuk perairan Natuna dapat dihitung presentasi kapal mampu beroperasi atau *operable* sebesar 84,07 % dan waktu tidak beroperasinya (*downtime*) adalah 15,93 %. Dengan itu jika SPCB dioperasikan selama setahun (365 hari) secara menerus, maka SPCB mampu beroperasi selama 303 hari.







## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan disampaikan kesimpulan dari kajian yang dilakukan, kesimpulan yang disampaikan untuk menjawab pada pertanyaan yang disampaikan pada rumusan masalah. Kesimpulan berada pada sub-bab 5.1. selain itu, akan disampaikan pada sub-bab 5.2. saran pada kajian ini disampaikan sebagai penyempurna untuk analisis yang lebih baik pada penelitian berikutnya :

#### 5.1. KESIMPULAN

Dari analisis-analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan yang sekaligus menjawab perumusan masalah penelitian tugas akhir ini. Berikut kesimpulan Tugas Akhir ini :

1. Dari komputasi dan analisis yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa karakteristik gerakan di gelombang reguler, gerakan *Heave* didominasi akibat propagasi gelombang  $90^\circ$  paling kritis terjadi pada saat kondisi *full load*. Jika dibandingkan dengan pengaruh perubahan kecepatan semakin tinggi kecepatan maka gerakan *Heave* juga semakin besar, nilai puncak RAO *Heave* terbesar terjadi pada kondisi *full load* dengan kecepatan 7 knot, dengan nilai RAO *Heave* 1,159 m/m yang terjadi pada frekuensi gelombang insiden 0,83 rad/s. Untuk kondisi *full load* pada saat stasioner memiliki nilai puncak RAO *Heave* sebesar 1,154 m/m yang terjadi pada frekuensi gelombang insiden 0,83 rad/s.

Karakteristik gerakan di gelombang reguler, gerakan *Roll* didominasi akibat propagasi gelombang  $90^\circ$  paling kritis terjadi pada saat kondisi *half load*. Jika dibandingkan dengan pengaruh perubahan kecepatan semakin tinggi kecepatan maka gerakan *Roll* akan semakin kecil, nilai puncak RAO *Roll* terbesar terjadi pada kondisi *half load* pada saat stasioner dengan nilai RAO *Roll* 8,405 deg/m yang terjadi pada frekuensi gelombang insiden 0,83 rad/s. Untuk kondisi *half load* pada saat melaju dengan kecepatan 7 knot memiliki nilai puncak RAO *Roll* sebesar 8,265 deg/m yang terjadi pada frekuensi gelombang insiden 0,83 rad/s.



Karakteristik gerakan di gelombang reguler, gerakan *Pitch* didominasi akibat propagasi gelombang  $180^\circ$  paling kritis terjadi pada saat kondisi tanpa muatan batubara. Jika dibandingkan dengan pengaruh perubahan kecepatan semakin tinggi kecepatan maka gerakan *Pitch* akan semakin kecil, nilai puncak RAO *Pitch* terbesar terjadi pada kondisi *ballast* (tanpa muatan batubara) saat stasioner dengan nilai RAO *Pitch* 2,51 deg/m yang terjadi pada frekuensi gelombang insiden 0,66 rad/s. Untuk kondisi *ballast* pada saat melaju dengan kecepatan 7 knot memiliki nilai puncak RAO *Pitch* sebesar 2,455 deg/m yang terjadi pada frekuensi gelombang insiden 0,73 rad/s.

2. Dalam analisis gerakan SPCB di gelombang acak didapat dari analisis spektra gelombang dan respons spektranya. Dari analisa ini didapatkan nilai puncak spektra gelombang JONSWAP tertinggi adalah sebesar  $9,09 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$  pada frekuensi gelombang 0,55 rad/s, pada  $H_s = 5,5$  meter dan  $T_p = 11,5$  detik.

Untuk spektra respons *Heave* digelombang acak memberikan nilai terbesar pada saat kapal kondisi *full load* dengan kecepatan 7 knot memiliki nilai puncak spektra respons *Heave* sebesar  $9,64 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$  pada frekuensi gelombang papasan 0,55 rad/s pada periode puncak 11,5 detik, dan untuk kapal kondisi *stasioner*  $9,45 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$  pada frekuensi gelombang papasan 0,55 rad/s pada periode puncak 11,5 detik.

Untuk spektra respons *Roll* digelombang acak memberikan nilai terbesar pada saat kapal kondisi *half load* dengan kecepatan 0 knot, memiliki nilai puncak spektra respons *Roll* sebesar  $393,8 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$  pada frekuensi gelombang insiden 0,85 rad/s pada periode puncak 7,5 detik. Dan untuk kapal kondisi melaju dengan kecepatan 7 knot memiliki nilai puncak spektra respons *Roll* sebesar  $383,08 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$  pada frekuensi gelombang papasan 0,85 rad/s pada periode puncak 7,5 detik.

Untuk spektra respons *Pitch* digelombang acak memberikan nilai terbesar pada saat kapal kondisi *ballast* dengan kecepatan 0 knot, memiliki nilai puncak spektra respons *Pitch* sebesar  $48,48 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$  pada frekuensi gelombang insiden 0,6 rad/s pada periode puncak 10,5 detik. Dan untuk kapal kondisi melaju



dengan kecepatan 7 knot memiliki nilai puncak spektra respons *Pitch* sebesar  $39,84 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$  pada frekuensi gelombang papasan  $0,75 \text{ rad/s}$  pada periode puncak 8,5 detik.

Dengan melihat harga statistik spektra respons, kecenderungan gerakan SPCB diatas gelombang acak tidak selalu sesuai dengan karakteristik gerakan di gelombang reguler. Ada korelasi kompleks antara spektra gelombang dengan RAO, sehingga kecenderungan perilaku gerakan digelombang acak tidak dapat dikatakan dengan pasti, namun bisa didapatkan batasan tinggi gelombang signifikan bila mana salah satu kriteria operasi terlampaui, dengan melihat harga stokastik diantaranya nilai percepatan *Heave* signifikan dengan kriteria operasi dibawah nilai  $0,2 \text{ g}$ , nilai amplitudo *Roll* rata-rata dengan kriteria operasi dibawah  $3,75^\circ$ , dan amplitudo *Pitch* rata-rata dengan kriteria operasi dibawah nilai  $2,5^\circ$ . Pada penelitian ini batasan tinggi gelombang karena terlampauinya kriteria operasi untuk amplitudo *Roll* rata-rata  $3,75^\circ$ , dibatasi SPCB mampu beroperasi hingga tinggi gelombang signifikan 2 m termasuk *sea state* 4, sehingga pada saat SPCB beroperasi diatas ketinggian gelombang 2 m dapat dipastikan tidak optimal dan berbahaya terhadap muatan batubara.

3. Kemampuan beroperasi SPCB mempunyai operabilitas yang cukup baik pada perairan Dunia dan perairan Natuna. Pada kondisi *full load* untuk operasi umum sebaiknya dilakukan pada ketinggian gelombang 2,5 meter, tetapi pada kondisi operasi pemuatan sebaiknya dilakukan pada  $H_s$  tidak lebih dari 2 meter pada sembarang kecepatan 0 knot s.d 7 knot. Operasi umum kondisi pembebanan *half load* memiliki batasan tinggi gelombang signifikan yang hampir sama dengan kondisi *full load*, namun untuk kondisi *ballast* untuk operasi umum dapat dilakukan pada ketinggian gelombang 2 meter, untuk operasi pengangkutan sebaiknya tidak dilakukan diatas  $H_s$  1,99 meter pada sembarang kecepatan 0 knot s.d 7 knot.

Dalam analisis karakteristik gerakan untuk presentase operabilitas SPCB pada perairan dunia sebesar 56,75 % dan waktu tidak beroperasinya (*downtime*)



sebesar 43,25 %. Dengan itu jika dalam setahun (365 hari) SPCB dioperasikan secara menerus maka SPCB mampu beroperasi selama 207 hari.

Sedangkan untuk presentase operabilitas SPCB pada perairan Natuna sebesar 84,07 % dan waktu tidak beroperasinya (*downtime*) sebesar 15,93 %.

Dengan itu jika dalam seetahun (365 hari) SPCB dioperasikan secara menerus maka SPCB mampu beroperasi selama 303 hari.

## 5.2 SARAN

Tugas Akhir ini dapat dilanjutkan untuk menambah ilmu pengetahuan menambah fakta-fakta yang baru yang dapat menjadi pertimbangan dalam perancangan struktur lepas pantai terapung, khususnya SPCB. Berikut adalah beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya, setelah penulis menemukan hal-hal yang menarik untuk dikaji lebih lanjut dalam proses penelitian ini :

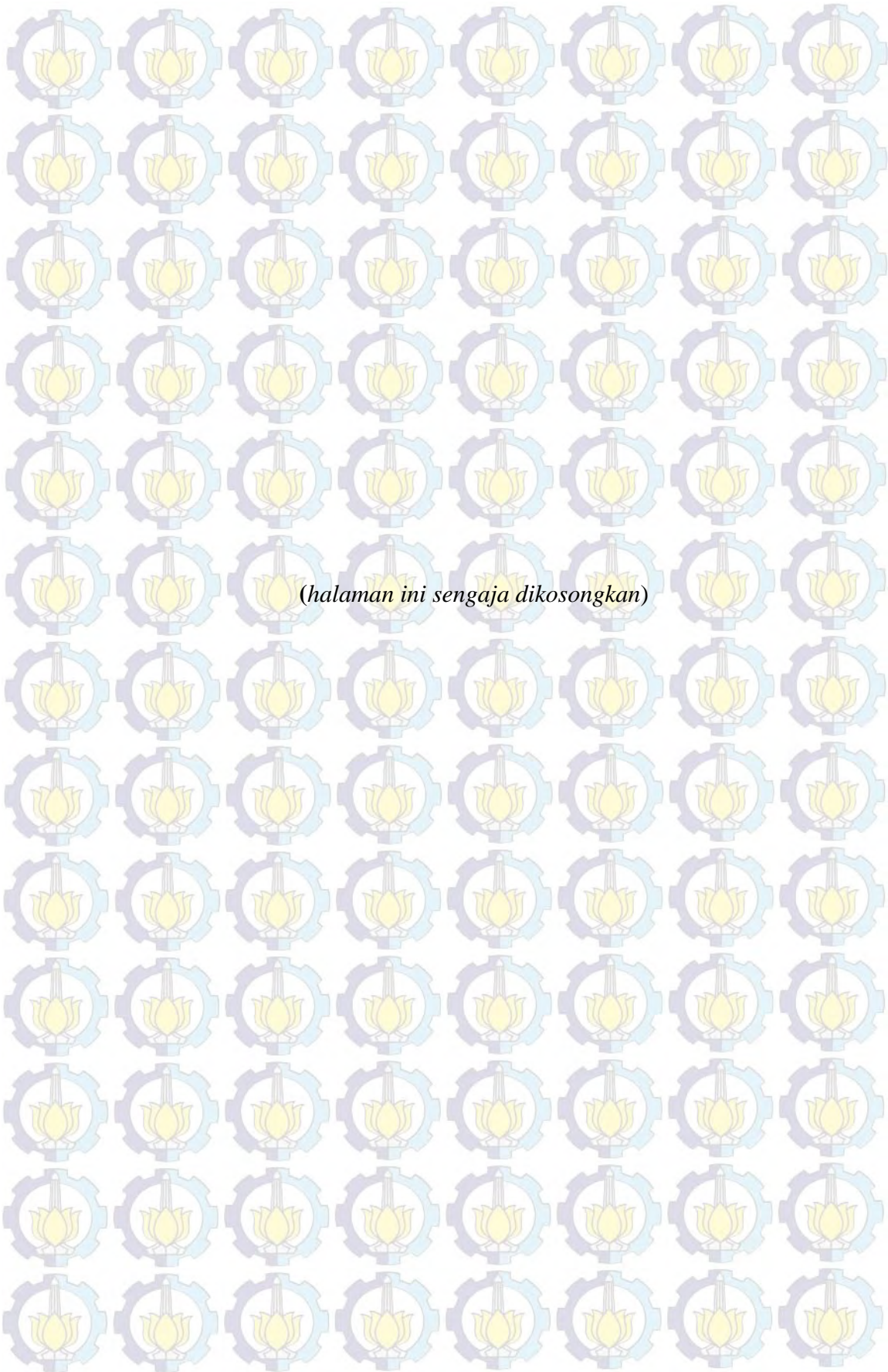
1. Dapat dilakukan analisis yang sama pada model SPCB dengan komponen struktur yang dapat mengurangi amplitudo gerakan, untuk menambah operabilitas SPCB.
2. Dapat dilakukan analisis yang sama pada model SPCB dengan memperhatikan kriteria *seakeeping of self propelled coal barge* lain, untuk mendapatkan operabilitas yang lebih sesuai.
3. Dapat dilakukan analisis spektra dengan data sebaran gelombang di perairan selain perairan Natuna dan perairan Dunia dengan dilakukan analisis spektra dengan formulasi spektra selain JONSWAP ( $\gamma = 2,5$ ), menyesuaikan dengan lautan yang akan menjadi dasar analisis.



## DAFTAR PUSTAKA

- Bhattacharyya, R., 1978. *Dynamic of Marine Vehicles*, John Wiley and Sons, New York.
- Chakrabarti, S.K. (1987), *Hydrodynamics of Offshore Structures*, Computational Mechanics Publications Southampton Boston, Springer-Verlag, Berlin
- Chan, H.S. (1990), "A Three-Dimensional Technique for Predicting First- and Second-Order Order Hydrodynamic Forces on a Marine Vehicle Advancing in Waves", *PhD Thesis*, Department of NA&OE, University of Glasgow, UK
- Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Kalimantan Tengah, 2006. Kajian Transportasi Batubara di Provinsi Kalimantan Tengah, Palangkaraya.
- Djarmiko, E.B. (2012), *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*, ITS Press, Surabaya
- Faltinsen, O.M (1990), "Sea Loads On Ships and Offshore Structures", Cambridge University Press, Cambridge
- Haskind, M.D. (1946a), "The Hydrodynamic Theory of a Ship in Rolling and Pitching", *Technical Research Bulletin*, No. 1-12. pp. 3-43, SNAME, New York
- Haskind, M.D. (1946b), "The Oscillation of a Ship in Still Water", *Technical Research Bulletin*, No. 1-12, pp. 45-60, SNAME, New York
- Journee, J.M.J and Pinkster, J. (2002), "Introduction in Ship Hydromechanics", *Lecture MT519*, Delft University of Technology, The Netherlands, Apr.
- Korvin-Kroukovsky, B.V. (1955), "Investigation of Ship Motions in Regular Waves", *Transactions of SNAME*, Vol. 63, pp. 386-435
- Korvin-Kroukovsky, B.V. and Jacobs, W.R. (1957), "Pitching and Heaving Motions of a Ship in Regular Waves", *Transactions of SNAME*, Vol. 65, pp. 590-632
- Moses Manual. (2008). Ultramarine Inc.
- Murtedjo, Mas dkk. 2013. "Analisis Sistem Distribusi Batubara dari *Coal Mining* hingga *Coal Mother vessel* di Provinsi Kalimantan".
- Murtedjo, Mas and Djarmiko E.B. 2004 "Prediction Of Motion Characteristics On Swath Type Floating Structure Using Two-dimensional Frank Close-fit Technique". Surabaya
- Peraturan Republik Indonesia, 2011, "Perubahan Kedua Atas Peraturan Presiden NOMOR 71 TAHUN 2006 Tentang Penugasan Kepada PT Perusahaan Listrik Negara (PERSERO) Untuk Melakukan Percepatan Pembangunan Pembangkit Tenaga Listrik Yang Menggunakan Batubara". Jakarta







## BIODATA PENULIS



Brian Putra Negara dilahirkan di Lumajang pada 29 Oktober 1992. Pendidikan di SD 1 Kalor dan lulus tahun 2005, SMPN 1 Jatiroto dan lulus tahun 2008 dan SMAN 2 Lumajang dan lulus tahun 2010. Setelah itu penulis mengikuti Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru melalui jalur PMDK Reguler dan diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama kuliah, penulis sempat aktif menjadi staff ahli Departemen Dalam Negeri HIMATEKLA 12/13. Penulis juga aktif menjadi panitia kegiatan kampus. Penulis juga aktif dalam pelatihan dan seminar di bidang maritim. Penulis juga pernah bekerja praktik di PT. TRIPATRA ENGINEERS AND CONSTRUCTOR pada bidang Konstruksi Perancangan Bangunan Lepas Pantai, dan PT. ZEE ENGINEERING pada bidang *Marine Operation*. Bidang studi yang dipilih oleh penulis adalah Hidrodinamika lepas pantai, sehingga Tugas Akhir yang diambil berhubungan dengan Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut.

Email : [brianjawa2@gmail.com](mailto:brianjawa2@gmail.com)





## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A. RAO MAKSIMUM DAN HARGA STATISTIK GERAK

LAMPIRAN B. Rencana Garis CANDIESVEGA SPCB 28

LAMPIRAN C. *General Arrangement* CANDIESVEGA SPCB 28

LAMPIRAN D. MODEL PANEL SPCB

LAMPIRAN E. TITIK BERAT SPCB

LAMPIRAN F. RADIUS GIRASI SPCB

LAMPIRAN G. GRAFIK SPEKTRA RESPONS

LAMPIRAN H. PERHITUNGAN SPEKTRA RESPONS

LAMPIRAN I. INPUT RAO MOSES DAN OUTPUT RAO MOSES



| RAO terbesar SPCB muatan ballast heading 180 |                       |       |                              |                       |       |                              |                       |       |                              |                       |       |                              |
|--|-----------------------|-------|------------------------------|-----------------------|-------|------------------------------|-----------------------|-------|------------------------------|-----------------------|-------|------------------------------|
| Moda gerak                                   | Kecepatan 0 Knot      |       |                              | Kecepatan 3 Knot      |       |                              | Kecepatan 5 Knot      |       |                              | Kecepatan 7 Knot      |       |                              |
|  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | $\zeta_{30}/\zeta_0$<br>unit | $\omega$<br>(rad/det) | harga | $\zeta_{30}/\zeta_0$<br>unit | $\omega$<br>(rad/det) | harga | $\zeta_{30}/\zeta_0$<br>unit | $\omega$<br>(rad/det) | harga | $\zeta_{30}/\zeta_0$<br>unit |
| heave  | 0,25                  | 0,961 | m/m                          | 0,25                  | 0,973 | m/m                          | 0,25                  | 0,98  | m/m                          | 0,25                  | 0,986 | m/m                          |
| roll   | 1,04                  | 0,007 | deg/m                        | 1,0472                | 0,014 | deg/m                        | 1,0472                | 0,014 | deg/m                        | 1,0472                | 0,011 | deg/m                        |
| pitch  | 0,6614                | 2,51  | deg/m                        | 0,6981                | 2,5   | deg/m                        | 0,7392                | 2,482 | deg/m                        | 0,7392                | 2,455 | deg/m                        |
| RAO terbesar SPCB muatan ballast heading 135 |                       |       |                              |                       |       |                              |                       |       |                              |                       |       |                              |
| Moda gerak                                   | Kecepatan 0 Knot      |       |                              | Kecepatan 3 Knot      |       |                              | Kecepatan 5 Knot      |       |                              | Kecepatan 7 Knot      |       |                              |
|  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | $\zeta_{30}/\zeta_0$<br>unit | $\omega$<br>(rad/det) | harga | $\zeta_{30}/\zeta_0$<br>unit | $\omega$<br>(rad/det) | harga | $\zeta_{30}/\zeta_0$<br>unit | $\omega$<br>(rad/det) | harga | $\zeta_{30}/\zeta_0$<br>unit |
| heave  | 0,2513                | 0,968 | m/m                          | 0,25                  | 0,976 | m/m                          | 0,25                  | 0,981 | m/m                          | 0,3142                | 0,987 | m/m                          |
| roll   | 1,0472                | 5,233 | deg/m                        | 1,1424                | 4,051 | deg/m                        | 1,1424                | 2,888 | deg/m                        | 1,2566                | 1,899 | deg/m                        |
| pitch  | 0,7392                | 2,2   | deg/m                        | 0,7392                | 2,109 | deg/m                        | 0,7854                | 2,069 | deg/m                        | 0,7854                | 2,026 | deg/m                        |
| RAO terbesar SPCB muatan ballast heading 90  |                       |       |                              |                       |       |                              |                       |       |                              |                       |       |                              |
| Moda gerak                                   | Kecepatan 0 Knot      |       |                              | Kecepatan 3 Knot      |       |                              | Kecepatan 5 Knot      |       |                              | Kecepatan 7 Knot      |       |                              |
|  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | $\zeta_{30}/\zeta_0$<br>unit | $\omega$<br>(rad/det) | harga | $\zeta_{30}/\zeta_0$<br>unit | $\omega$<br>(rad/det) | harga | $\zeta_{30}/\zeta_0$<br>unit | $\omega$<br>(rad/det) | harga | $\zeta_{30}/\zeta_0$<br>unit |
| heave  | 0,8378                | 1,035 | m/m                          | 0,8378                | 1,035 | m/m                          | 0,8378                | 1,035 | m/m                          | 0,8378                | 1,035 | m/m                          |
| roll   | 1,0472                | 8,502 | deg/m                        | 1,0472                | 8,504 | deg/m                        | 1,0472                | 8,504 | deg/m                        | 1,0472                | 8,504 | deg/m                        |
| pitch  | 0,5712                | 0,132 | deg/m                        | 0,5712                | 0,132 | deg/m                        | 0,6283                | 0,132 | deg/m                        | 0,5712                | 0,132 | deg/m                        |
| RAO terbesar SPCB muatan ballast heading 0   |                       |       |                              |                       |       |                              |                       |       |                              |                       |       |                              |
| Moda gerak                                   | Kecepatan 0 Knot      |       |                              | Kecepatan 3 Knot      |       |                              | Kecepatan 5 Knot      |       |                              | Kecepatan 7 Knot      |       |                              |
|  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | $\zeta_{30}/\zeta_0$<br>unit | $\omega$<br>(rad/det) | harga | $\zeta_{30}/\zeta_0$<br>unit | $\omega$<br>(rad/det) | harga | $\zeta_{30}/\zeta_0$<br>unit | $\omega$<br>(rad/det) | harga | $\zeta_{30}/\zeta_0$<br>unit |
| heave  | 0,25                  | 0,959 | m/m                          | 0,25                  | 0,944 | m/m                          | 0,25                  | 0,932 | m/m                          | 0,25                  | 0,918 | m/m                          |
| roll   | 1,04                  | 0,012 | deg/m                        | 1,0472                | 0,006 | deg/m                        | 1,0472                | 0,013 | deg/m                        | 1,0472                | 0,004 | deg/m                        |
| pitch  | 0,66                  | 2,523 | deg/m                        | 0,5984                | 2,491 | deg/m                        | 0,5712                | 2,45  | deg/m                        | 0,5236                | 2,418 | deg/m                        |



| RAO terbesar SPCB muatan Half Load heading 180 |                       |                               |       |                       |       |       |                       |       |       |                       |       |       |
|--|-----------------------|-------------------------------|-------|-----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|
| Moda gerak                                     | Kecepatan 0 Knot      |                               |       | Kecepatan 3 Knot      |       |       | Kecepatan 5 Knot      |       |       | Kecepatan 7 Knot      |       |       |
|  | $\omega$<br>(rad/det) | $\zeta_{20}/\zeta_0$<br>harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  |
| heave  | 0,25                  | 0,981                         | m/m   | 0,25                  | 0,994 | m/m   | 0,25                  | 1,001 | m/m   | 0,25                  | 1,007 | m/m   |
| roll   | 0,8378                | 0,007                         | deg/m | 0,8378                | 0,006 | deg/m | 0,8378                | 0,004 | deg/m | 0,8378                | 0,005 | deg/m |
| pitch  | 0,6614                | 2,506                         | deg/m | 0,6981                | 2,534 | deg/m | 0,6981                | 2,535 | deg/m | 0,7392                | 2,528 | deg/m |
| RAO terbesar SPCB muatan Half Load heading 135 |                       |                               |       |                       |       |       |                       |       |       |                       |       |       |
| Moda gerak                                     | Kecepatan 0 Knot      |                               |       | Kecepatan 3 Knot      |       |       | Kecepatan 5 Knot      |       |       | Kecepatan 7 Knot      |       |       |
|  | $\omega$<br>(rad/det) | $\zeta_{20}/\zeta_0$<br>harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  |
| heave  | 0,2513                | 0,989                         | m/m   | 0,25                  | 0,997 | m/m   | 0,2513                | 1,002 | m/m   | 0,3142                | 1,009 | m/m   |
| roll   | 0,7392                | 1,848                         | deg/m | 0,7854                | 3,149 | deg/m | 0,7854                | 3,545 | deg/m | 0,8378                | 3,764 | deg/m |
| pitch  | 0,7392                | 2,226                         | deg/m | 0,7392                | 2,179 | deg/m | 0,7392                | 2,144 | deg/m | 0,7392                | 2,106 | deg/m |
| RAO terbesar SPCB muatan Half Load heading 90  |                       |                               |       |                       |       |       |                       |       |       |                       |       |       |
| Moda gerak                                     | Kecepatan 0 Knot      |                               |       | Kecepatan 3 Knot      |       |       | Kecepatan 5 Knot      |       |       | Kecepatan 7 Knot      |       |       |
|  | $\omega$<br>(rad/det) | $\zeta_{20}/\zeta_0$<br>harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  |
| heave  | 0,8378                | 1,134                         | m/m   | 0,8378                | 1,134 | m/m   | 0,8378                | 1,134 | m/m   | 0,8378                | 1,134 | m/m   |
| roll   | 0,8378                | 8,508                         | deg/m | 0,8378                | 8,508 | deg/m | 0,8378                | 8,508 | deg/m | 0,8378                | 8,508 | deg/m |
| pitch  | 0,9666                | 0,072                         | deg/m | 0,9666                | 0,072 | deg/m | 0,9666                | 0,072 | deg/m | 0,9666                | 0,072 | deg/m |
| RAO terbesar SPCB muatan Half Load heading 0   |                       |                               |       |                       |       |       |                       |       |       |                       |       |       |
| Moda gerak                                     | Kecepatan 0 Knot      |                               |       | Kecepatan 3 Knot      |       |       | Kecepatan 5 Knot      |       |       | Kecepatan 7 Knot      |       |       |
|  | $\omega$<br>(rad/det) | $\zeta_{20}/\zeta_0$<br>harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  |
| heave  | 0,25                  | 0,981                         | m/m   | 0,25                  | 0,966 | m/m   | 0,25                  | 0,953 | m/m   | 0,25                  | 0,939 | m/m   |
| roll   | 1,5708                | 0,007                         | deg/m | 1,5708                | 0,002 | deg/m | 0,8378                | 0,008 | deg/m | 0,8378                | 0,01  | deg/m |
| pitch  | 0,6283                | 2,472                         | deg/m | 0,5984                | 2,432 | deg/m | 0,5464                | 2,388 | deg/m | 0,5027                | 2,336 | deg/m |



| RAO terbesar SPCB muatan Full Load heading 180 |                       |                               |       |                       |       |       |                       |       |       |                       |       |       |
|--|-----------------------|-------------------------------|-------|-----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|
| Moda gerak                                     | Kecepatan 0 Knot      |                               |       | Kecepatan 3 Knot      |       |       | Kecepatan 5 Knot      |       |       | Kecepatan 7 Knot      |       |       |
|  | $\omega$<br>(rad/det) | $\zeta_{z0}/\zeta_0$<br>harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  |
| heave  | 0,25                  | 0,979                         | m/m   | 0,25                  | 0,992 | m/m   | 0,25                  | 0,999 | m/m   | 0,25                  | 1,006 | m/m   |
| roll   | <b>0,5712</b>         | 0,003                         | deg/m | <b>0,5712</b>         | 0,006 | deg/m | <b>0,5712</b>         | 0,008 | deg/m | <b>0,5712</b>         | 0,01  | deg/m |
| pitch  | <b>0,6283</b>         | 2,51                          | deg/m | <b>0,6981</b>         | 2,545 | deg/m | <b>0,6981</b>         | 2,557 | deg/m | <b>0,7392</b>         | 2,548 | deg/m |
| RAO terbesar SPCB muatan Full Load heading 135 |                       |                               |       |                       |       |       |                       |       |       |                       |       |       |
| Moda gerak                                     | Kecepatan 0 Knot      |                               |       | Kecepatan 3 Knot      |       |       | Kecepatan 5 Knot      |       |       | Kecepatan 7 Knot      |       |       |
|  | $\omega$<br>(rad/det) | $\zeta_{z0}/\zeta_0$<br>harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  |
| heave  | 0,2513                | 0,987                         | m/m   | 0,25                  | 0,995 | m/m   | 0,2513                | 1     | m/m   | <b>0,3142</b>         | 1,007 | m/m   |
| roll   | <b>0,5712</b>         | 4,404                         | deg/m | <b>0,5712</b>         | 4,27  | deg/m | <b>0,5712</b>         | 4,148 | deg/m | <b>0,5712</b>         | 4,029 | deg/m |
| pitch  | <b>0,6981</b>         | 2,236                         | deg/m | <b>0,7392</b>         | 2,191 | deg/m | <b>0,7392</b>         | 2,162 | deg/m | <b>0,7392</b>         | 2,13  | deg/m |
| RAO terbesar SPCB muatan Full Load heading 90  |                       |                               |       |                       |       |       |                       |       |       |                       |       |       |
| Moda gerak                                     | Kecepatan 0 Knot      |                               |       | Kecepatan 3 Knot      |       |       | Kecepatan 5 Knot      |       |       | Kecepatan 7 Knot      |       |       |
|  | $\omega$<br>(rad/det) | $\zeta_{z0}/\zeta_0$<br>harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  |
| heave  | <b>0,8378</b>         | 1,185                         | m/m   | <b>0,8378</b>         | 1,185 | m/m   | <b>0,8378</b>         | 1,185 | m/m   | <b>0,8378</b>         | 1,185 | m/m   |
| roll   | <b>0,5712</b>         | 6,658                         | deg/m | <b>0,5712</b>         | 6,658 | deg/m | <b>0,5712</b>         | 6,658 | deg/m | <b>0,5712</b>         | 6,658 | deg/m |
| pitch  | <b>0,8976</b>         | 0,106                         | deg/m | <b>0,8976</b>         | 0,106 | deg/m | <b>0,8976</b>         | 0,106 | deg/m | <b>0,8976</b>         | 0,106 | deg/m |
| RAO terbesar SPCB muatan Full Load heading 0   |                       |                               |       |                       |       |       |                       |       |       |                       |       |       |
| Moda gerak                                     | Kecepatan 0 Knot      |                               |       | Kecepatan 3 Knot      |       |       | Kecepatan 5 Knot      |       |       | Kecepatan 7 Knot      |       |       |
|  | $\omega$<br>(rad/det) | $\zeta_{z0}/\zeta_0$<br>harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  | $\omega$<br>(rad/det) | harga | unit  |
| heave  | 0,25                  | 0,98                          | m/m   | 0,25                  | 0,964 | m/m   | 0,25                  | 0,952 | m/m   | 0,25                  | 0,937 | m/m   |
| roll   | <b>0,5712</b>         | 0,004                         | deg/m | <b>0,5712</b>         | 0,002 | deg/m | <b>0,5712</b>         | 0,003 | deg/m | <b>0,5712</b>         | 0,011 | deg/m |
| pitch  | <b>0,6283</b>         | 2,477                         | deg/m | <b>0,5984</b>         | 2,425 | deg/m | <b>0,5464</b>         | 2,376 | deg/m | <b>0,5027</b>         | 2,317 | deg/m |



| Percepatan Heave Signifikan kondisi Ballast kecepatan 0       |            |            |            |            |            |            |            |            |            |  |  |  |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|--|--|
| Hs (m)  | Tp (s)     |            |            |            |            |            |            |            |            |  |  |  |
|   | 3,5        | 4,5        | 5,5        | 6,5        | 7,5        | 8,5        | 9,5        | 10,5       | 11,5       |  |  |  |
| 0,5   | 0,0026 (g) | 0,0087 (g) | 0,0148 (g) | 0,0175 (g) | 0,0168 (g) | 0,0153 (g) | 0,0138 (g) | 0,0124 (g) | 0,0111 (g) |  |  |  |
| 1,5   |            | 0,0262 (g) | 0,0444 (g) | 0,0525 (g) | 0,0504 (g) | 0,0458 (g) | 0,0413 (g) | 0,0373 (g) | 0,0332 (g) |  |  |  |
| 2,5   |            | 0,0437 (g) | 0,0740 (g) | 0,0874 (g) | 0,0839 (g) | 0,0764 (g) | 0,0689 (g) | 0,0622 (g) | 0,0554 (g) |  |  |  |
| 3,5   |            | 0,0611 (g) | 0,1036 (g) | 0,1224 (g) | 0,1175 (g) | 0,1069 (g) | 0,0954 (g) | 0,0871 (g) | 0,0775 (g) |  |  |  |
| 4,5   |            |            | 0,1332 (g) | 0,1574 (g) | 0,1511 (g) | 0,1375 (g) | 0,1240 (g) | 0,1119 (g) | 0,0997 (g) |  |  |  |
| 5,5   |            |            | 0,1628 (g) | 0,1923 (g) | 0,1847 (g) | 0,1680 (g) | 0,1515 (g) | 0,1368 (g) | 0,1218 (g) |  |  |  |
| Percepatan Heave Signifikan kondisi Ballast kecepatan 3 Knots |            |            |            |            |            |            |            |            |            |  |  |  |
| Hs (m)  | Tp (s)     |            |            |            |            |            |            |            |            |  |  |  |
|   | 3,5        | 4,5        | 5,5        | 6,5        | 7,5        | 8,5        | 9,5        | 10,5       | 11,5       |  |  |  |
| 0,5   | 0,0026 (g) | 0,0088 (g) | 0,0147 (g) | 0,0174 (g) | 0,0168 (g) | 0,0153 (g) | 0,0138 (g) | 0,0124 (g) | 0,0111 (g) |  |  |  |
| 1,5   |            | 0,0264 (g) | 0,0442 (g) | 0,0523 (g) | 0,0503 (g) | 0,0458 (g) | 0,0413 (g) | 0,0373 (g) | 0,0333 (g) |  |  |  |
| 2,5   |            | 0,0440 (g) | 0,0737 (g) | 0,0871 (g) | 0,0838 (g) | 0,0764 (g) | 0,0689 (g) | 0,0622 (g) | 0,0554 (g) |  |  |  |
| 3,5   |            | 0,0616 (g) | 0,1032 (g) | 0,1220 (g) | 0,1174 (g) | 0,1069 (g) | 0,0965 (g) | 0,0871 (g) | 0,0776 (g) |  |  |  |
| 4,5   |            |            | 0,1327 (g) | 0,1569 (g) | 0,1509 (g) | 0,1375 (g) | 0,1240 (g) | 0,1120 (g) | 0,0998 (g) |  |  |  |
| 5,5   |            |            | 0,1622 (g) | 0,1917 (g) | 0,1845 (g) | 0,1680 (g) | 0,1516 (g) | 0,1369 (g) | 0,1219 (g) |  |  |  |
| Percepatan Heave Signifikan kondisi Ballast kecepatan 5 Knots |            |            |            |            |            |            |            |            |            |  |  |  |
| Hs (m)  | Tp (s)     |            |            |            |            |            |            |            |            |  |  |  |
|   | 3,5        | 4,5        | 5,5        | 6,5        | 7,5        | 8,5        | 9,5        | 10,5       | 11,5       |  |  |  |
| 0,5   | 0,0027 (g) | 0,0088 (g) | 0,0147 (g) | 0,0174 (g) | 0,0168 (g) | 0,0153 (g) | 0,0138 (g) | 0,0125 (g) | 0,0111 (g) |  |  |  |
| 1,5   |            | 0,0265 (g) | 0,0441 (g) | 0,0522 (g) | 0,0503 (g) | 0,0458 (g) | 0,0414 (g) | 0,0374 (g) | 0,0333 (g) |  |  |  |
| 2,5   |            | 0,0442 (g) | 0,0735 (g) | 0,0870 (g) | 0,0838 (g) | 0,0764 (g) | 0,0689 (g) | 0,0623 (g) | 0,0555 (g) |  |  |  |
| 3,5   |            | 0,0619 (g) | 0,1030 (g) | 0,1218 (g) | 0,1173 (g) | 0,1069 (g) | 0,0965 (g) | 0,0872 (g) | 0,0777 (g) |  |  |  |
| 4,5   |            |            | 0,1324 (g) | 0,1566 (g) | 0,1509 (g) | 0,1375 (g) | 0,1241 (g) | 0,1121 (g) | 0,0999 (g) |  |  |  |
| 5,5   |            |            | 0,1618 (g) | 0,1914 (g) | 0,1844 (g) | 0,1681 (g) | 0,1517 (g) | 0,1370 (g) | 0,1220 (g) |  |  |  |
| Percepatan Heave Signifikan kondisi Ballast kecepatan 7 Knots |            |            |            |            |            |            |            |            |            |  |  |  |
| Hs (m)  | Tp (s)     |            |            |            |            |            |            |            |            |  |  |  |
|   | 3,5        | 4,5        | 5,5        | 6,5        | 7,5        | 8,5        | 9,5        | 10,5       | 11,5       |  |  |  |
| 0,5   | 0,0027 (g) | 0,0089 (g) | 0,0147 (g) | 0,0174 (g) | 0,0168 (g) | 0,0153 (g) | 0,0138 (g) | 0,0125 (g) | 0,0111 (g) |  |  |  |
| 1,5   |            | 0,0266 (g) | 0,0440 (g) | 0,0521 (g) | 0,0503 (g) | 0,0458 (g) | 0,0414 (g) | 0,0374 (g) | 0,0333 (g) |  |  |  |
| 2,5   |            | 0,0443 (g) | 0,0734 (g) | 0,0869 (g) | 0,0838 (g) | 0,0764 (g) | 0,0690 (g) | 0,0623 (g) | 0,0555 (g) |  |  |  |
| 3,5   |            | 0,0621 (g) | 0,1027 (g) | 0,1217 (g) | 0,1173 (g) | 0,1070 (g) | 0,0966 (g) | 0,0873 (g) | 0,0777 (g) |  |  |  |
| 4,5   |            |            | 0,1320 (g) | 0,1564 (g) | 0,1508 (g) | 0,1375 (g) | 0,1241 (g) | 0,1122 (g) | 0,0999 (g) |  |  |  |
| 5,5   |            |            | 0,1614 (g) | 0,1912 (g) | 0,1843 (g) | 0,1681 (g) | 0,1517 (g) | 0,1371 (g) | 0,1221 (g) |  |  |  |



| Percepatan Heave Signifikan kondisi Half Load kecepatan 0 Knots |     |  |            |     |  |            |     |  |            |     |  |            |     |  |            |     |  |            |     |  |            |      |  |            |      |  |            |  |  |            |
|---|-----|--|------------|-----|--|------------|-----|--|------------|-----|--|------------|-----|--|------------|-----|--|------------|-----|--|------------|------|--|------------|------|--|------------|--|--|------------|
| Hs (m)  | 3,5 |  |            | 4,5 |  |            | 5,5 |  |            | 6,5 |  |            | 7,5 |  |            | 8,5 |  |            | 9,5 |  |            | 10,5 |  |            | 11,5 |  |            |  |  |            |
|   |     |  | (g)        |     |  | (g)        |     |  | (g)        |     |  | (g)        |     |  | (g)        |     |  | (g)        |     |  | (g)        |      |  | (g)        |      |  | (g)        |  |  | (g)        |
| 0,5   |     |  | 0,0018 (g) |     |  | 0,0067 (g) |     |  | 0,0127 (g) |     |  | 0,0167 (g) |     |  | 0,0168 (g) |     |  | 0,0154 (g) |     |  | 0,0140 (g) |      |  | 0,0127 (g) |      |  | 0,0113 (g) |  |  | 0,0113 (g) |
| 1,5   |     |  |            |     |  | 0,0202 (g) |     |  | 0,0380 (g) |     |  | 0,0501 (g) |     |  | 0,0504 (g) |     |  | 0,0463 (g) |     |  | 0,0419 (g) |      |  | 0,0380 (g) |      |  | 0,0339 (g) |  |  | 0,0339 (g) |
| 2,5   |     |  |            |     |  | 0,0337 (g) |     |  | 0,0633 (g) |     |  | 0,0834 (g) |     |  | 0,0841 (g) |     |  | 0,0771 (g) |     |  | 0,0698 (g) |      |  | 0,0633 (g) |      |  | 0,0565 (g) |  |  | 0,0565 (g) |
| 3,5   |     |  |            |     |  | 0,0472 (g) |     |  | 0,0886 (g) |     |  | 0,1168 (g) |     |  | 0,1177 (g) |     |  | 0,1080 (g) |     |  | 0,0978 (g) |      |  | 0,0886 (g) |      |  | 0,0791 (g) |  |  | 0,0791 (g) |
| 4,5   |     |  |            |     |  |            |     |  | 0,1139 (g) |     |  | 0,1502 (g) |     |  | 0,1513 (g) |     |  | 0,1388 (g) |     |  | 0,1257 (g) |      |  | 0,1139 (g) |      |  | 0,1017 (g) |  |  | 0,1017 (g) |
| 5,5   |     |  |            |     |  |            |     |  | 0,1392 (g) |     |  | 0,1835 (g) |     |  | 0,1850 (g) |     |  | 0,1697 (g) |     |  | 0,1537 (g) |      |  | 0,1393 (g) |      |  | 0,1243 (g) |  |  | 0,1243 (g) |

| Percepatan Heave Signifikan kondisi Half Load kecepatan 3 Knots |     |  |            |     |  |            |     |  |            |     |  |            |     |  |            |     |  |            |     |  |            |      |  |            |      |  |            |  |  |            |
|---|-----|--|------------|-----|--|------------|-----|--|------------|-----|--|------------|-----|--|------------|-----|--|------------|-----|--|------------|------|--|------------|------|--|------------|--|--|------------|
| Hs (m)  | 3,5 |  |            | 4,5 |  |            | 5,5 |  |            | 6,5 |  |            | 7,5 |  |            | 8,5 |  |            | 9,5 |  |            | 10,5 |  |            | 11,5 |  |            |  |  |            |
|   |     |  | (g)        |     |  | (g)        |     |  | (g)        |     |  | (g)        |     |  | (g)        |     |  | (g)        |     |  | (g)        |      |  | (g)        |      |  | (g)        |  |  | (g)        |
| 0,5   |     |  | 0,0019 (g) |     |  | 0,0068 (g) |     |  | 0,0126 (g) |     |  | 0,0166 (g) |     |  | 0,0168 (g) |     |  | 0,0154 (g) |     |  | 0,0140 (g) |      |  | 0,0127 (g) |      |  | 0,0113 (g) |  |  | 0,0113 (g) |
| 1,5   |     |  |            |     |  | 0,0204 (g) |     |  | 0,0378 (g) |     |  | 0,0499 (g) |     |  | 0,0504 (g) |     |  | 0,0463 (g) |     |  | 0,0419 (g) |      |  | 0,0380 (g) |      |  | 0,0339 (g) |  |  | 0,0339 (g) |
| 2,5   |     |  |            |     |  | 0,0339 (g) |     |  | 0,0630 (g) |     |  | 0,0831 (g) |     |  | 0,0840 (g) |     |  | 0,0771 (g) |     |  | 0,0699 (g) |      |  | 0,0634 (g) |      |  | 0,0566 (g) |  |  | 0,0566 (g) |
| 3,5   |     |  |            |     |  | 0,0475 (g) |     |  | 0,0882 (g) |     |  | 0,1164 (g) |     |  | 0,1176 (g) |     |  | 0,1080 (g) |     |  | 0,0978 (g) |      |  | 0,0887 (g) |      |  | 0,0792 (g) |  |  | 0,0792 (g) |
| 4,5   |     |  |            |     |  |            |     |  | 0,1134 (g) |     |  | 0,1497 (g) |     |  | 0,1512 (g) |     |  | 0,1388 (g) |     |  | 0,1258 (g) |      |  | 0,1140 (g) |      |  | 0,1018 (g) |  |  | 0,1018 (g) |
| 5,5   |     |  |            |     |  |            |     |  | 0,1385 (g) |     |  | 0,1829 (g) |     |  | 0,1848 (g) |     |  | 0,1697 (g) |     |  | 0,1537 (g) |      |  | 0,1394 (g) |      |  | 0,1244 (g) |  |  | 0,1244 (g) |

| Percepatan Heave Signifikan kondisi Half Load kecepatan 5 Knots |     |  |            |     |  |            |     |  |            |     |  |            |     |  |            |     |  |            |     |  |            |      |  |            |      |  |            |  |  |            |
|---|-----|--|------------|-----|--|------------|-----|--|------------|-----|--|------------|-----|--|------------|-----|--|------------|-----|--|------------|------|--|------------|------|--|------------|--|--|------------|
| Hs (m)  | 3,5 |  |            | 4,5 |  |            | 5,5 |  |            | 6,5 |  |            | 7,5 |  |            | 8,5 |  |            | 9,5 |  |            | 10,5 |  |            | 11,5 |  |            |  |  |            |
|   |     |  | (g)        |     |  | (g)        |     |  | (g)        |     |  | (g)        |     |  | (g)        |     |  | (g)        |     |  | (g)        |      |  | (g)        |      |  | (g)        |  |  | (g)        |
| 0,5   |     |  | 0,0019 (g) |     |  | 0,0068 (g) |     |  | 0,0126 (g) |     |  | 0,0166 (g) |     |  | 0,0168 (g) |     |  | 0,0154 (g) |     |  | 0,0140 (g) |      |  | 0,0127 (g) |      |  | 0,0113 (g) |  |  | 0,0113 (g) |
| 1,5   |     |  |            |     |  | 0,0205 (g) |     |  | 0,0377 (g) |     |  | 0,0498 (g) |     |  | 0,0504 (g) |     |  | 0,0463 (g) |     |  | 0,0420 (g) |      |  | 0,0381 (g) |      |  | 0,0340 (g) |  |  | 0,0340 (g) |
| 2,5   |     |  |            |     |  | 0,0341 (g) |     |  | 0,0628 (g) |     |  | 0,0830 (g) |     |  | 0,0840 (g) |     |  | 0,0772 (g) |     |  | 0,0699 (g) |      |  | 0,0634 (g) |      |  | 0,0566 (g) |  |  | 0,0566 (g) |
| 3,5   |     |  |            |     |  | 0,0478 (g) |     |  | 0,0880 (g) |     |  | 0,1162 (g) |     |  | 0,1175 (g) |     |  | 0,1080 (g) |     |  | 0,0979 (g) |      |  | 0,0888 (g) |      |  | 0,0793 (g) |  |  | 0,0793 (g) |
| 4,5   |     |  |            |     |  |            |     |  | 0,1131 (g) |     |  | 0,1494 (g) |     |  | 0,1511 (g) |     |  | 0,1389 (g) |     |  | 0,1259 (g) |      |  | 0,1142 (g) |      |  | 0,1019 (g) |  |  | 0,1019 (g) |
| 5,5   |     |  |            |     |  |            |     |  | 0,1382 (g) |     |  | 0,1826 (g) |     |  | 0,1847 (g) |     |  | 0,1698 (g) |     |  | 0,1538 (g) |      |  | 0,1395 (g) |      |  | 0,1246 (g) |  |  | 0,1246 (g) |

| Percepatan Heave Signifikan kondisi Half Load kecepatan 7 Knots |     |  |            |     |  |            |     |  |            |     |  |            |     |  |            |     |  |            |     |  |            |      |  |            |      |  |            |  |  |            |
|---|-----|--|------------|-----|--|------------|-----|--|------------|-----|--|------------|-----|--|------------|-----|--|------------|-----|--|------------|------|--|------------|------|--|------------|--|--|------------|
| Hs (m)  | 3,5 |  |            | 4,5 |  |            | 5,5 |  |            | 6,5 |  |            | 7,5 |  |            | 8,5 |  |            | 9,5 |  |            | 10,5 |  |            | 11,5 |  |            |  |  |            |
|   |     |  | (g)        |     |  | (g)        |     |  | (g)        |     |  | (g)        |     |  | (g)        |     |  | (g)        |     |  | (g)        |      |  | (g)        |      |  | (g)        |  |  | (g)        |
| 0,5   |     |  | 0,0020 (g) |     |  | 0,0068 (g) |     |  | 0,0125 (g) |     |  | 0,0166 (g) |     |  | 0,0168 (g) |     |  | 0,0154 (g) |     |  | 0,0140 (g) |      |  | 0,0127 (g) |      |  | 0,0113 (g) |  |  | 0,0113 (g) |
| 1,5   |     |  |            |     |  | 0,0205 (g) |     |  | 0,0376 (g) |     |  | 0,0498 (g) |     |  | 0,0504 (g) |     |  | 0,0463 (g) |     |  | 0,0420 (g) |      |  | 0,0381 (g) |      |  | 0,0340 (g) |  |  | 0,0340 (g) |
| 2,5   |     |  |            |     |  | 0,0342 (g) |     |  | 0,0627 (g) |     |  | 0,0829 (g) |     |  | 0,0840 (g) |     |  | 0,0772 (g) |     |  | 0,0700 (g) |      |  | 0,0635 (g) |      |  | 0,0567 (g) |  |  | 0,0567 (g) |
| 3,5   |     |  |            |     |  | 0,0479 (g) |     |  | 0,0877 (g) |     |  | 0,1161 (g) |     |  | 0,1176 (g) |     |  | 0,1081 (g) |     |  | 0,0980 (g) |      |  | 0,0889 (g) |      |  | 0,0794 (g) |  |  | 0,0794 (g) |
| 4,5   |     |  |            |     |  |            |     |  | 0,1128 (g) |     |  | 0,1493 (g) |     |  | 0,1512 (g) |     |  | 0,1390 (g) |     |  | 0,1260 (g) |      |  | 0,1143 (g) |      |  | 0,1021 (g) |  |  | 0,1021 (g) |
| 5,5   |     |  |            |     |  |            |     |  | 0,1378 (g) |     |  | 0,1824 (g) |     |  | 0,1848 (g) |     |  | 0,1699 (g) |     |  | 0,1541 (g) |      |  | 0,1397 (g) |      |  | 0,1248 (g) |  |  | 0,1248 (g) |

| Percepatan Heave Signifikan kondisi Full Load kecepatan 0 Knots |            |            |            |            |            |            |            |              |            |  |  |  |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|------------|--|--|--|
| Hs (m)  | Tp (s)     |            |            |            |            |            |            |              |            |  |  |  |
|   | 3,5        | 4,5        | 5,5        | 6,5        | 7,5        | 8,5        | 9,5        | 10,5         | 11,5       |  |  |  |
| 0,5   | 0,0015 (g) | 0,0058 (g) | 0,0115 (g) | 0,0161 (g) | 0,0168 (g) | 0,0155 (g) | 0,0140 (g) | 0,012702 (g) | 0,0113 (g) |  |  |  |
| 1,5   |            | 0,0175 (g) | 0,0346 (g) | 0,0484 (g) | 0,0504 (g) | 0,0464 (g) | 0,0420 (g) | 0,038105 (g) | 0,0340 (g) |  |  |  |
| 2,5   |            | 0,0292 (g) | 0,0577 (g) | 0,0807 (g) | 0,0839 (g) | 0,0773 (g) | 0,0700 (g) | 0,063508 (g) | 0,0567 (g) |  |  |  |
| 3,5   |            | 0,0409 (g) | 0,0808 (g) | 0,1130 (g) | 0,1175 (g) | 0,1082 (g) | 0,0980 (g) | 0,088912 (g) | 0,0794 (g) |  |  |  |
| 4,5   |            |            | 0,1039 (g) | 0,1452 (g) | 0,1511 (g) | 0,1391 (g) | 0,1260 (g) | 0,114315 (g) | 0,1021 (g) |  |  |  |
| 5,5   |            |            | 0,1270 (g) | 0,1775 (g) | 0,1846 (g) | 0,1700 (g) | 0,1540 (g) | 0,139719 (g) | 0,1248 (g) |  |  |  |
| Percepatan Heave Signifikan kondisi Full Load kecepatan 3 Knots |            |            |            |            |            |            |            |              |            |  |  |  |
| Hs (m)  | Tp (s)     |            |            |            |            |            |            |              |            |  |  |  |
|   | 3,5        | 4,5        | 5,5        | 6,5        | 7,5        | 8,5        | 9,5        | 10,5         | 11,5       |  |  |  |
| 0,5   | 0,0016 (g) | 0,0059 (g) | 0,0115 (g) | 0,0161 (g) | 0,0168 (g) | 0,0155 (g) | 0,0140 (g) | 0,012722 (g) | 0,0114 (g) |  |  |  |
| 1,5   |            | 0,0177 (g) | 0,0345 (g) | 0,0483 (g) | 0,0503 (g) | 0,0464 (g) | 0,0421 (g) | 0,038165 (g) | 0,0341 (g) |  |  |  |
| 2,5   |            | 0,0294 (g) | 0,0575 (g) | 0,0805 (g) | 0,0839 (g) | 0,0773 (g) | 0,0701 (g) | 0,063608 (g) | 0,0568 (g) |  |  |  |
| 3,5   |            | 0,0412 (g) | 0,0805 (g) | 0,1126 (g) | 0,1174 (g) | 0,1083 (g) | 0,0981 (g) | 0,089051 (g) | 0,0795 (g) |  |  |  |
| 4,5   |            |            | 0,1035 (g) | 0,1448 (g) | 0,1510 (g) | 0,1392 (g) | 0,1262 (g) | 0,114494 (g) | 0,1023 (g) |  |  |  |
| 5,5   |            |            | 0,1265 (g) | 0,1770 (g) | 0,1846 (g) | 0,1701 (g) | 0,1542 (g) | 0,139937 (g) | 0,1250 (g) |  |  |  |
| Percepatan Heave Signifikan kondisi Full Load kecepatan 5 Knots |            |            |            |            |            |            |            |              |            |  |  |  |
| Hs (m)  | Tp (s)     |            |            |            |            |            |            |              |            |  |  |  |
|   | 3,5        | 4,5        | 5,5        | 6,5        | 7,5        | 8,5        | 9,5        | 10,5         | 11,5       |  |  |  |
| 0,5   | 0,0016 (g) | 0,0059 (g) | 0,0115 (g) | 0,0161 (g) | 0,0168 (g) | 0,0155 (g) | 0,0140 (g) | 0,012736 (g) | 0,0114 (g) |  |  |  |
| 1,5   |            | 0,0178 (g) | 0,0344 (g) | 0,0482 (g) | 0,0503 (g) | 0,0464 (g) | 0,0421 (g) | 0,038209 (g) | 0,0341 (g) |  |  |  |
| 2,5   |            | 0,0296 (g) | 0,0574 (g) | 0,0803 (g) | 0,0839 (g) | 0,0774 (g) | 0,0702 (g) | 0,063681 (g) | 0,0569 (g) |  |  |  |
| 3,5   |            | 0,0414 (g) | 0,0803 (g) | 0,1125 (g) | 0,1174 (g) | 0,1083 (g) | 0,0982 (g) | 0,089154 (g) | 0,0796 (g) |  |  |  |
| 4,5   |            |            | 0,1033 (g) | 0,1446 (g) | 0,1510 (g) | 0,1393 (g) | 0,1263 (g) | 0,114627 (g) | 0,1024 (g) |  |  |  |
| 5,5   |            |            | 0,1262 (g) | 0,1767 (g) | 0,1845 (g) | 0,1702 (g) | 0,1544 (g) | 0,140099 (g) | 0,1252 (g) |  |  |  |
| Percepatan Heave Signifikan kondisi Full Load kecepatan 7 Knots |            |            |            |            |            |            |            |              |            |  |  |  |
| Hs (m)  | Tp (s)     |            |            |            |            |            |            |              |            |  |  |  |
|   | 3,5        | 4,5        | 5,5        | 6,5        | 7,5        | 8,5        | 9,5        | 10,5         | 11,5       |  |  |  |
| 0,5   | 0,0016 (g) | 0,0059 (g) | 0,0114 (g) | 0,0161 (g) | 0,0168 (g) | 0,0155 (g) | 0,0141 (g) | 0,012757 (g) | 0,0114 (g) |  |  |  |
| 1,5   |            | 0,0178 (g) | 0,0343 (g) | 0,0482 (g) | 0,0504 (g) | 0,0465 (g) | 0,0422 (g) | 0,038271 (g) | 0,0342 (g) |  |  |  |
| 2,5   |            | 0,0296 (g) | 0,0572 (g) | 0,0803 (g) | 0,0839 (g) | 0,0775 (g) | 0,0703 (g) | 0,063785 (g) | 0,0570 (g) |  |  |  |
| 3,5   |            | 0,0415 (g) | 0,0801 (g) | 0,1124 (g) | 0,1175 (g) | 0,1085 (g) | 0,0984 (g) | 0,0893 (g)   | 0,0798 (g) |  |  |  |
| 4,5   |            |            | 0,1030 (g) | 0,1445 (g) | 0,1511 (g) | 0,1394 (g) | 0,1265 (g) | 0,114814 (g) | 0,1026 (g) |  |  |  |
| 5,5   |            |            | 0,1259 (g) | 0,1766 (g) | 0,1847 (g) | 0,1704 (g) | 0,1546 (g) | 0,140328 (g) | 0,1254 (g) |  |  |  |



| Amplitudo Roll rata-rata kondisi Ballast kecepatan 0 Knot |            |            |            |            |            |            |            |            |            |      |      |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------|------|
| Hs (m)  | Tp (s)     |            |            |            |            |            |            |            |            |      | 11,5 |
|   | 3,5        | 4,5        | 5,5        | 6,5        | 7,5        | 8,5        | 9,5        | 10,5       | 10,5       | 11,5 |      |
| 0,5   | 0,0859 deg | 0,3886 deg | 0,7820 deg | 0,8880 deg | 0,7886 deg | 0,6956 deg | 0,6149 deg | 0,5454 deg | 0,4800 deg |      |      |
| 1,5   |            | 1,1658 deg | 2,3461 deg | 2,6641 deg | 2,3657 deg | 2,0868 deg | 1,8447 deg | 1,6361 deg | 1,4400 deg |      |      |
| 2,5   |            | 1,9430 deg | 3,9102 deg | 4,4401 deg | 3,9428 deg | 3,4780 deg | 3,0745 deg | 2,7268 deg | 2,4000 deg |      |      |
| 3,5   |            | 2,7202 deg | 5,4743 deg | 6,2162 deg | 5,5199 deg | 4,8692 deg | 4,3043 deg | 3,8175 deg | 3,3600 deg |      |      |
| 4,5   |            |            | 7,0384 deg | 7,9923 deg | 7,0970 deg | 6,2603 deg | 5,5341 deg | 4,9082 deg | 4,3200 deg |      |      |
| 5,5   |            |            | 8,6025 deg | 9,7683 deg | 8,6741 deg | 7,6515 deg | 6,7639 deg | 5,9990 deg | 5,2801 deg |      |      |
| Amplitudo Roll rata-rata kondisi Ballast kecepatan 3 Knot |            |            |            |            |            |            |            |            |            |      |      |
| Hs (m)  | Tp (s)     |            |            |            |            |            |            |            |            |      | 11,5 |
|   | 3,5        | 4,5        | 5,5        | 6,5        | 7,5        | 8,5        | 9,5        | 10,5       | 10,5       | 11,5 |      |
| 0,5   | 0,0873 deg | 0,3934 deg | 0,7879 deg | 0,8912 deg | 0,7907 deg | 0,6966 deg | 0,6153 deg | 0,5453 deg | 0,4797 deg |      |      |
| 1,5   |            | 1,1802 deg | 2,3637 deg | 2,6737 deg | 2,3721 deg | 2,0899 deg | 1,8458 deg | 1,6358 deg | 1,4391 deg |      |      |
| 2,5   |            | 1,9669 deg | 3,9395 deg | 4,4562 deg | 3,9535 deg | 3,4832 deg | 3,0763 deg | 2,7263 deg | 2,3985 deg |      |      |
| 3,5   |            | 2,7537 deg | 5,5153 deg | 6,2386 deg | 5,5349 deg | 4,8764 deg | 4,3069 deg | 3,8168 deg | 3,3579 deg |      |      |
| 4,5   |            |            | 7,0911 deg | 8,0211 deg | 7,1163 deg | 6,2697 deg | 5,5374 deg | 4,9073 deg | 4,3173 deg |      |      |
| 5,5   |            |            | 8,6669 deg | 9,8036 deg | 8,6977 deg | 7,6630 deg | 6,7679 deg | 5,9978 deg | 5,2767 deg |      |      |
| Amplitudo Roll rata-rata kondisi Ballast kecepatan 5 Knot |            |            |            |            |            |            |            |            |            |      |      |
| Hs (m)  | Tp (s)     |            |            |            |            |            |            |            |            |      | 11,5 |
|   | 3,5        | 4,5        | 5,5        | 6,5        | 7,5        | 8,5        | 9,5        | 10,5       | 10,5       | 11,5 |      |
| 0,5   | 0,0884 deg | 0,3967 deg | 0,7915 deg | 0,8929 deg | 0,7918 deg | 0,6970 deg | 0,6153 deg | 0,5450 deg | 0,4793 deg |      |      |
| 1,5   |            | 1,1902 deg | 2,3746 deg | 2,6788 deg | 2,3753 deg | 2,0911 deg | 1,8458 deg | 1,6350 deg | 1,4380 deg |      |      |
| 2,5   |            | 1,9837 deg | 3,9577 deg | 4,4646 deg | 3,9589 deg | 3,4852 deg | 3,0764 deg | 2,7250 deg | 2,3967 deg |      |      |
| 3,5   |            | 2,7772 deg | 5,5408 deg | 6,2505 deg | 5,5424 deg | 4,8793 deg | 4,3069 deg | 3,8151 deg | 3,3554 deg |      |      |
| 4,5   |            |            | 7,1238 deg | 8,0363 deg | 7,1260 deg | 6,2733 deg | 5,5375 deg | 4,9051 deg | 4,3141 deg |      |      |
| 5,5   |            |            | 8,7069 deg | 9,8222 deg | 8,7095 deg | 7,6674 deg | 6,7680 deg | 5,9951 deg | 5,2728 deg |      |      |
| Amplitudo Roll rata-rata kondisi Ballast kecepatan 7 Knot |            |            |            |            |            |            |            |            |            |      |      |
| Hs (m)  | Tp (s)     |            |            |            |            |            |            |            |            |      | 11,5 |
|   | 3,5        | 4,5        | 5,5        | 6,5        | 7,5        | 8,5        | 9,5        | 10,5       | 10,5       | 11,5 |      |
| 0,5   | 0,0884 deg | 0,3967 deg | 0,7915 deg | 0,8929 deg | 0,7918 deg | 0,6970 deg | 0,6153 deg | 0,5450 deg | 0,4793 deg |      |      |
| 1,5   |            | 1,1902 deg | 2,3746 deg | 2,6788 deg | 2,3753 deg | 2,0911 deg | 1,8458 deg | 1,6350 deg | 1,4380 deg |      |      |
| 2,5   |            | 1,9837 deg | 3,9577 deg | 4,4646 deg | 3,9589 deg | 3,4852 deg | 3,0764 deg | 2,7250 deg | 2,3967 deg |      |      |
| 3,5   |            | 2,7772 deg | 5,5408 deg | 6,2505 deg | 5,5424 deg | 4,8793 deg | 4,3069 deg | 3,8151 deg | 3,3554 deg |      |      |
| 4,5   |            |            | 7,1238 deg | 8,0363 deg | 7,1260 deg | 6,2733 deg | 5,5375 deg | 4,9051 deg | 4,3141 deg |      |      |
| 5,5   |            |            | 8,7069 deg | 9,8222 deg | 8,7095 deg | 7,6674 deg | 6,7680 deg | 5,9951 deg | 5,2728 deg |      |      |

Amplitudo *Roll/rata-rata* kondisi Half Load kecepatan 0 Knot

| Hs (m) | Tp (s)      |             |            |            |            |            |            |            |            |  |
|--------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|
|        | 3,5         | 4,5         | 5,5        | 6,5        | 7,5        | 8,5        | 9,5        | 10,5       | 11,5       |  |
| 0,5    | 0,01805 deg | 0,10992 deg | 0,3245 deg | 0,6296 deg | 0,8639 deg | 0,8294 deg | 0,7285 deg | 0,6495 deg | 0,5776 deg |  |
| 1,5    |             | 0,31177 deg | 0,9735 deg | 1,8889 deg | 2,5916 deg | 2,4881 deg | 2,1854 deg | 1,9484 deg | 1,7328 deg |  |
| 2,5    |             | 0,51962 deg | 1,6226 deg | 3,1482 deg | 4,3193 deg | 4,1469 deg | 3,6423 deg | 3,2473 deg | 2,8880 deg |  |
| 3,5    |             | 0,72746 deg | 2,2716 deg | 4,4075 deg | 6,0470 deg | 5,8056 deg | 5,0993 deg | 4,5462 deg | 4,0432 deg |  |
| 4,5    |             |             | 2,9206 deg | 5,6667 deg | 7,7747 deg | 7,4644 deg | 6,5562 deg | 5,8451 deg | 5,1984 deg |  |
| 5,5    |             |             | 3,5697 deg | 6,9260 deg | 9,5024 deg | 9,1232 deg | 8,0131 deg | 7,1440 deg | 6,3536 deg |  |

Amplitudo *Roll/rata-rata* kondisi Half Load kecepatan 3 Knot

| Hs (m) | Tp (s)      |             |            |            |            |            |            |            |            |  |
|--------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|
|        | 3,5         | 4,5         | 5,5        | 6,5        | 7,5        | 8,5        | 9,5        | 10,5       | 11,5       |  |
| 0,5    | 0,01853 deg | 0,10637 deg | 0,3284 deg | 0,6327 deg | 0,8622 deg | 0,8266 deg | 0,7260 deg | 0,6470 deg | 0,5752 deg |  |
| 1,5    |             | 0,31910 deg | 0,9851 deg | 1,8981 deg | 2,5866 deg | 2,4797 deg | 2,1780 deg | 1,9409 deg | 1,7257 deg |  |
| 2,5    |             | 0,53184 deg | 1,6419 deg | 3,1635 deg | 4,3110 deg | 4,1328 deg | 3,6300 deg | 3,2348 deg | 2,8761 deg |  |
| 3,5    |             | 0,74457 deg | 2,2986 deg | 4,4289 deg | 6,0354 deg | 5,7859 deg | 5,0820 deg | 4,5288 deg | 4,0266 deg |  |
| 4,5    |             |             | 2,9554 deg | 5,6943 deg | 7,7597 deg | 7,4390 deg | 6,5340 deg | 5,8227 deg | 5,1770 deg |  |
| 5,5    |             |             | 3,6121 deg | 6,9597 deg | 9,4841 deg | 9,0921 deg | 7,9860 deg | 7,1166 deg | 6,3274 deg |  |

Amplitudo *Roll/rata-rata* kondisi Half Load kecepatan 5 Knot

| Hs (m) | Tp (s)      |             |            |            |            |            |            |            |            |  |
|--------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|
|        | 3,5         | 4,5         | 5,5        | 6,5        | 7,5        | 8,5        | 9,5        | 10,5       | 11,5       |  |
| 0,5    | 0,01891 deg | 0,10801 deg | 0,3304 deg | 0,6335 deg | 0,8602 deg | 0,8242 deg | 0,7239 deg | 0,6449 deg | 0,5733 deg |  |
| 1,5    |             | 0,32404 deg | 0,9913 deg | 1,9006 deg | 2,5805 deg | 2,4726 deg | 2,1718 deg | 1,9348 deg | 1,7200 deg |  |
| 2,5    |             | 0,54006 deg | 1,6521 deg | 3,1676 deg | 4,3008 deg | 4,1210 deg | 3,6196 deg | 3,2247 deg | 2,8667 deg |  |
| 3,5    |             | 0,75609 deg | 2,3129 deg | 4,4347 deg | 6,0211 deg | 5,7694 deg | 5,0675 deg | 4,5146 deg | 4,0134 deg |  |
| 4,5    |             |             | 2,9738 deg | 5,7018 deg | 7,7414 deg | 7,4178 deg | 6,5153 deg | 5,8044 deg | 5,1600 deg |  |
| 5,5    |             |             | 3,6346 deg | 6,9688 deg | 9,4617 deg | 9,0661 deg | 7,9632 deg | 7,0943 deg | 6,3067 deg |  |

Amplitudo *Roll/rata-rata* kondisi Half Load kecepatan 7 Knot

| Hs (m) | Tp (s)      |             |             |            |            |            |            |            |            |  |
|--------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|
|        | 3,5         | 4,5         | 5,5         | 6,5        | 7,5        | 8,5        | 9,5        | 10,5       | 11,5       |  |
| 0,5    | 0,01935 deg | 0,10966 deg | 0,33226 deg | 0,6341 deg | 0,8579 deg | 0,8222 deg | 0,7216 deg | 0,6428 deg | 0,6074 deg |  |
| 1,5    |             | 0,32897 deg | 0,99677 deg | 1,9022 deg | 2,5736 deg | 2,4643 deg | 2,1649 deg | 1,9283 deg | 1,7200 deg |  |
| 2,5    |             | 0,54828 deg | 1,66129 deg | 3,1703 deg | 4,2894 deg | 4,1055 deg | 3,6082 deg | 3,2138 deg | 2,8667 deg |  |
| 3,5    |             | 0,76759 deg | 2,32580 deg | 4,4384 deg | 6,0051 deg | 5,7465 deg | 5,0515 deg | 4,4994 deg | 4,0134 deg |  |
| 4,5    |             |             | 2,99032 deg | 5,7066 deg | 7,7208 deg | 7,4108 deg | 6,4948 deg | 5,7849 deg | 5,1600 deg |  |
| 5,5    |             |             | 3,65483 deg | 6,9747 deg | 9,4366 deg | 9,0490 deg | 7,9381 deg | 7,0704 deg | 6,3067 deg |  |



| Amplitudo Roll rata-rata kondisi Full Load kecepatan 0 Knot |             |             |             |            |            |            |            |            |            |  |
|---|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|
| Hs (m)  | Tp (s)      |             |             |            |            |            |            |            |            |  |
|   | 3,5         | 4,5         | 5,5         | 6,5        | 7,5        | 8,5        | 9,5        | 10,5       | 11,5       |  |
| 0,5   | 0,00416 deg | 0,01165 deg | 0,03493 deg | 0,0952 deg | 0,2085 deg | 0,3581 deg | 0,5186 deg | 0,6648 deg | 0,6301 deg |  |
| 1,5   |             | 0,03495 deg | 0,10479 deg | 0,2855 deg | 0,6254 deg | 1,0743 deg | 1,5559 deg | 1,9944 deg | 1,8904 deg |  |
| 2,5   |             | 0,05825 deg | 0,17466 deg | 0,4758 deg | 1,0423 deg | 1,7905 deg | 2,5931 deg | 3,3241 deg | 3,1507 deg |  |
| 3,5   |             | 0,08155 deg | 0,24452 deg | 0,6661 deg | 1,4592 deg | 2,5067 deg | 3,6303 deg | 4,6537 deg | 4,4110 deg |  |
| 4,5   |             |             | 0,31438 deg | 0,8565 deg | 1,8761 deg | 3,2229 deg | 4,6676 deg | 5,9833 deg | 5,6713 deg |  |
| 5,5   |             |             | 0,38424 deg | 1,0468 deg | 2,2931 deg | 3,9391 deg | 5,7048 deg | 7,3129 deg | 6,9316 deg |  |

| Amplitudo Roll rata-rata kondisi Full Load kecepatan 3 Knot |             |             |             |            |            |            |            |            |            |  |
|---|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|
| Hs (m)  | Tp (s)      |             |             |            |            |            |            |            |            |  |
|   | 3,5         | 4,5         | 5,5         | 6,5        | 7,5        | 8,5        | 9,5        | 10,5       | 11,5       |  |
| 0,5   | 0,00415 deg | 0,01199 deg | 0,03623 deg | 0,0967 deg | 0,2090 deg | 0,3572 deg | 0,5160 deg | 0,6602 deg | 0,6257 deg |  |
| 1,5   |             | 0,03597 deg | 0,10870 deg | 0,2900 deg | 0,6271 deg | 1,0717 deg | 1,5479 deg | 1,9807 deg | 1,8770 deg |  |
| 2,5   |             | 0,05996 deg | 0,18117 deg | 0,4834 deg | 1,0451 deg | 1,7862 deg | 2,5798 deg | 3,3012 deg | 3,1284 deg |  |
| 3,5   |             | 0,08394 deg | 0,25364 deg | 0,6767 deg | 1,4632 deg | 2,5007 deg | 3,6117 deg | 4,6217 deg | 4,3797 deg |  |
| 4,5   |             |             | 0,32611 deg | 0,8701 deg | 1,8812 deg | 3,2151 deg | 4,6436 deg | 5,9422 deg | 5,6311 deg |  |
| 5,5   |             |             | 0,39858 deg | 1,0634 deg | 2,2993 deg | 3,9296 deg | 5,6755 deg | 7,2627 deg | 6,8824 deg |  |

| Amplitudo Roll rata-rata kondisi Full Load kecepatan 5 Knot |             |             |             |            |            |            |            |            |            |  |
|---|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|
| Hs (m)  | Tp (s)      |             |             |            |            |            |            |            |            |  |
|   | 3,5         | 4,5         | 5,5         | 6,5        | 7,5        | 8,5        | 9,5        | 10,5       | 11,5       |  |
| 0,5   | 0,00413 deg | 0,01220 deg | 0,03708 deg | 0,0976 deg | 0,2090 deg | 0,3559 deg | 0,5128 deg | 0,6550 deg | 0,6214 deg |  |
| 1,5   |             | 0,03660 deg | 0,11124 deg | 0,2928 deg | 0,6270 deg | 1,0676 deg | 1,5385 deg | 1,9650 deg | 1,8641 deg |  |
| 2,5   |             | 0,06099 deg | 0,18540 deg | 0,4880 deg | 1,0451 deg | 1,7793 deg | 2,5641 deg | 3,2750 deg | 3,1069 deg |  |
| 3,5   |             | 0,08539 deg | 0,25956 deg | 0,6831 deg | 1,4631 deg | 2,4910 deg | 3,5897 deg | 4,5850 deg | 4,3497 deg |  |
| 4,5   |             |             | 0,33372 deg | 0,8783 deg | 1,8811 deg | 3,2027 deg | 4,6154 deg | 5,8950 deg | 5,5924 deg |  |
| 5,5   |             |             | 0,40789 deg | 1,0735 deg | 2,2991 deg | 3,9144 deg | 5,6410 deg | 7,2050 deg | 6,8352 deg |  |

| Amplitudo Roll rata-rata kondisi Full Load kecepatan 7 Knot |             |             |             |            |            |            |            |            |             |  |
|---|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|--|
| Hs (m)  | Tp (s)      |             |             |            |            |            |            |            |             |  |
|   | 3,5         | 4,5         | 5,5         | 6,5        | 7,5        | 8,5        | 9,5        | 10,5       | 11,5        |  |
| 0,5   | 0,00413 deg | 0,01245 deg | 0,03793 deg | 0,0985 deg | 0,2091 deg | 0,3549 deg | 0,5103 deg | 0,6516 deg | 0,61827 deg |  |
| 1,5   |             | 0,03736 deg | 0,11379 deg | 0,2954 deg | 0,6272 deg | 1,0646 deg | 1,5310 deg | 1,9549 deg | 1,85482 deg |  |
| 2,5   |             | 0,06226 deg | 0,18965 deg | 0,4923 deg | 1,0454 deg | 1,7743 deg | 2,5517 deg | 3,2581 deg | 3,09136 deg |  |
| 3,5   |             | 0,08717 deg | 0,26551 deg | 0,6892 deg | 1,4636 deg | 2,4840 deg | 3,5724 deg | 4,5614 deg | 4,32791 deg |  |
| 4,5   |             |             | 0,34137 deg | 0,8861 deg | 1,8817 deg | 3,1938 deg | 4,5931 deg | 5,8646 deg | 5,56445 deg |  |
| 5,5   |             |             | 0,41723 deg | 1,0830 deg | 2,2999 deg | 3,9035 deg | 5,6138 deg | 7,1679 deg | 6,80099 deg |  |

| Amplitudo Pitch rata-rata kondisi Ballast kecepatan 0 Knot |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |  |  |  |  |
|--|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--|--|--|--|
| Hs (m)   | 3,5    |     | 4,5    |     | 5,5    |     | 6,5    |     | 7,5    |     | 8,5    |     | 9,5    |     | 10,5   |     | 11,5   |     |  |  |  |  |
|  |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |  |  |  |  |
| 0,5  | 0,0097 | deg | 0,0338 | deg | 0,0664 | deg | 0,1229 | deg | 0,2123 | deg | 0,2774 | deg | 0,3071 | deg | 0,3206 | deg | 0,3076 | deg |  |  |  |  |
| 1,5  |        |     | 0,1014 | deg | 0,1993 | deg | 0,3686 | deg | 0,6369 | deg | 0,8322 | deg | 0,9213 | deg | 0,9619 | deg | 0,9229 | deg |  |  |  |  |
| 2,5  |        |     | 0,1690 | deg | 0,3322 | deg | 0,6143 | deg | 1,0615 | deg | 1,3870 | deg | 1,5355 | deg | 1,6032 | deg | 1,5382 | deg |  |  |  |  |
| 3,5  |        |     | 0,2366 | deg | 0,4651 | deg | 0,8600 | deg | 1,4862 | deg | 1,9418 | deg | 2,1497 | deg | 2,2445 | deg | 2,1535 | deg |  |  |  |  |
| 4,5  |        |     |        |     | 0,5979 | deg | 1,1057 | deg | 1,9108 | deg | 2,4965 | deg | 2,7639 | deg | 2,8857 | deg | 2,7687 | deg |  |  |  |  |
| 5,5  |        |     |        |     | 0,7308 | deg | 1,3514 | deg | 2,3354 | deg | 3,0513 | deg | 3,3781 | deg | 3,5270 | deg | 3,3840 | deg |  |  |  |  |
| Amplitudo Pitch rata-rata kondisi Ballast kecepatan 3 Knot |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |  |  |  |  |
| Hs (m)   | 3,5    |     | 4,5    |     | 5,5    |     | 6,5    |     | 7,5    |     | 8,5    |     | 9,5    |     | 10,5   |     | 11,5   |     |  |  |  |  |
|  |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |  |  |  |  |
| 0,5  | 0,0107 | deg | 0,0308 | deg | 0,0787 | deg | 0,1699 | deg | 0,2547 | deg | 0,3006 | deg | 0,3162 | deg | 0,3201 | deg | 0,3030 | deg |  |  |  |  |
| 1,5  |        |     | 0,0923 | deg | 0,2360 | deg | 0,5097 | deg | 0,7640 | deg | 0,9017 | deg | 0,9485 | deg | 0,9602 | deg | 0,9089 | deg |  |  |  |  |
| 2,5  |        |     | 0,1538 | deg | 0,3934 | deg | 0,8494 | deg | 1,2734 | deg | 1,5029 | deg | 1,5808 | deg | 1,6003 | deg | 1,5149 | deg |  |  |  |  |
| 3,5  |        |     | 0,2153 | deg | 0,5507 | deg | 1,1892 | deg | 1,7827 | deg | 2,1040 | deg | 2,2132 | deg | 2,2404 | deg | 2,1209 | deg |  |  |  |  |
| 4,5  |        |     |        |     | 0,7081 | deg | 1,5290 | deg | 2,2920 | deg | 2,7052 | deg | 2,8455 | deg | 2,8805 | deg | 2,7268 | deg |  |  |  |  |
| 5,5  |        |     |        |     | 0,8655 | deg | 1,8687 | deg | 2,8014 | deg | 3,3063 | deg | 3,4778 | deg | 3,5206 | deg | 3,3328 | deg |  |  |  |  |
| Amplitudo Pitch rata-rata kondisi Ballast kecepatan 5 Knot |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |  |  |  |  |
| Hs (m)   | 3,5    |     | 4,5    |     | 5,5    |     | 6,5    |     | 7,5    |     | 8,5    |     | 9,5    |     | 10,5   |     | 11,5   |     |  |  |  |  |
|  |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |  |  |  |  |
| 0,5  | 0,0069 | deg | 0,0310 | deg | 0,0979 | deg | 0,1950 | deg | 0,2710 | deg | 0,3073 | deg | 0,3166 | deg | 0,3163 | deg | 0,2977 | deg |  |  |  |  |
| 1,5  |        |     | 0,0929 | deg | 0,2939 | deg | 0,5849 | deg | 0,8131 | deg | 0,9218 | deg | 0,9498 | deg | 0,9490 | deg | 0,8930 | deg |  |  |  |  |
| 2,5  |        |     | 0,1548 | deg | 0,4896 | deg | 0,9748 | deg | 1,3552 | deg | 1,5363 | deg | 1,5830 | deg | 1,5816 | deg | 1,4883 | deg |  |  |  |  |
| 3,5  |        |     | 0,2167 | deg | 0,6858 | deg | 1,3647 | deg | 1,8973 | deg | 2,1508 | deg | 2,2162 | deg | 2,2143 | deg | 2,0837 | deg |  |  |  |  |
| 4,5  |        |     |        |     | 0,8817 | deg | 1,7547 | deg | 2,4394 | deg | 2,7653 | deg | 2,8494 | deg | 2,8469 | deg | 2,6790 | deg |  |  |  |  |
| 5,5  |        |     |        |     | 1,0769 | deg | 2,1446 | deg | 2,9815 | deg | 3,3798 | deg | 3,4826 | deg | 3,4796 | deg | 3,2743 | deg |  |  |  |  |
| Amplitudo Pitch rata-rata kondisi Ballast kecepatan 7 Knot |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |  |  |  |  |
| Hs (m)   | 3,5    |     | 4,5    |     | 5,5    |     | 6,5    |     | 7,5    |     | 8,5    |     | 9,5    |     | 10,5   |     | 11,5   |     |  |  |  |  |
|  |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |        | deg |  |  |  |  |
| 0,5  | 0,0047 | deg | 0,0382 | deg | 0,1167 | deg | 0,2135 | deg | 0,2809 | deg | 0,3095 | deg | 0,3142 | deg | 0,3109 | deg | 0,2913 | deg |  |  |  |  |
| 1,5  |        |     | 0,1147 | deg | 0,3501 | deg | 0,6404 | deg | 0,8426 | deg | 0,9285 | deg | 0,9427 | deg | 0,9328 | deg | 0,8739 | deg |  |  |  |  |
| 2,5  |        |     | 0,1911 | deg | 0,5835 | deg | 1,0673 | deg | 1,4044 | deg | 1,5475 | deg | 1,5712 | deg | 1,5547 | deg | 1,4565 | deg |  |  |  |  |
| 3,5  |        |     | 0,2676 | deg | 0,8169 | deg | 1,4943 | deg | 1,9661 | deg | 2,1666 | deg | 2,1996 | deg | 2,1766 | deg | 2,0391 | deg |  |  |  |  |
| 4,5  |        |     |        |     | 1,0503 | deg | 1,9212 | deg | 2,5278 | deg | 2,7856 | deg | 2,8281 | deg | 2,7985 | deg | 2,6217 | deg |  |  |  |  |
| 5,5  |        |     |        |     | 1,2837 | deg | 2,3481 | deg | 3,0896 | deg | 3,4046 | deg | 3,4565 | deg | 3,4203 | deg | 3,2043 | deg |  |  |  |  |



| Amplitudo Pitch rata-rata kondisi Half Load kecepatan 0 Knot |            |             |             |            |            |            |            |            |            |        |  |  |
|--|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|--|--|
| Hs (m)   | 3,5        |             |             | 4,5        |            |            | 5,5        |            |            | Tp (s) |  |  |
|  | 3,5        | 4,5         | 5,5         | 6,5        | 7,5        | 8,5        | 9,5        | 10,5       | 11,5       |        |  |  |
| 0,5  | 0,0053 deg | 0,0223 deg  | 0,05158 deg | 0,1038 deg | 0,1912 deg | 0,2639 deg | 0,3007 deg | 0,3192 deg | 0,3085 deg |        |  |  |
| 1,5  | 0,0668 deg | 0,15473 deg | 0,15473 deg | 0,3113 deg | 0,5735 deg | 0,7918 deg | 0,9021 deg | 0,9577 deg | 0,9256 deg |        |  |  |
| 2,5  | 0,1114 deg | 0,25788 deg | 0,25788 deg | 0,5189 deg | 0,9558 deg | 1,3197 deg | 1,5035 deg | 1,5962 deg | 1,5426 deg |        |  |  |
| 3,5  | 0,1560 deg | 0,36103 deg | 0,36103 deg | 0,7265 deg | 1,3381 deg | 1,8476 deg | 2,1050 deg | 2,2346 deg | 2,1596 deg |        |  |  |
| 4,5  |            | 0,46418 deg | 0,46418 deg | 0,9340 deg | 1,7205 deg | 2,3755 deg | 2,7064 deg | 2,8731 deg | 2,7767 deg |        |  |  |
| 5,5  |            | 0,56733 deg | 0,56733 deg | 1,1416 deg | 2,1028 deg | 2,9034 deg | 3,3078 deg | 3,5116 deg | 3,3937 deg |        |  |  |

| Amplitudo Pitch rata-rata kondisi Half Load kecepatan 3 Knot |            |            |             |            |            |            |            |            |            |        |  |  |
|--|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|--|--|
| Hs (m)   | 3,5        |            |             | 4,5        |            |            | 5,5        |            |            | Tp (s) |  |  |
|  | 3,5        | 4,5        | 5,5         | 6,5        | 7,5        | 8,5        | 9,5        | 10,5       | 11,5       |        |  |  |
| 0,5  | 0,0053 deg | 0,0053 deg | 0,00532 deg | 0,1495 deg | 0,2398 deg | 0,2950 deg | 0,3165 deg | 0,3240 deg | 0,3082 deg |        |  |  |
| 1,5  |            | 0,0160 deg | 0,01597 deg | 0,4485 deg | 0,7193 deg | 0,8850 deg | 0,9495 deg | 0,9721 deg | 0,9246 deg |        |  |  |
| 2,5  |            | 0,0266 deg | 0,02661 deg | 0,7475 deg | 1,1988 deg | 1,4749 deg | 1,5824 deg | 1,6201 deg | 1,5410 deg |        |  |  |
| 3,5  |            | 0,0373 deg | 0,03725 deg | 1,0464 deg | 1,6783 deg | 2,0649 deg | 2,2154 deg | 2,2682 deg | 2,1574 deg |        |  |  |
| 4,5  |            |            | 0,04790 deg | 1,3454 deg | 2,1578 deg | 2,6549 deg | 2,8484 deg | 2,9163 deg | 2,7739 deg |        |  |  |
| 5,5  |            |            | 0,05854 deg | 1,6444 deg | 2,6373 deg | 3,2448 deg | 3,4814 deg | 3,5643 deg | 3,3903 deg |        |  |  |

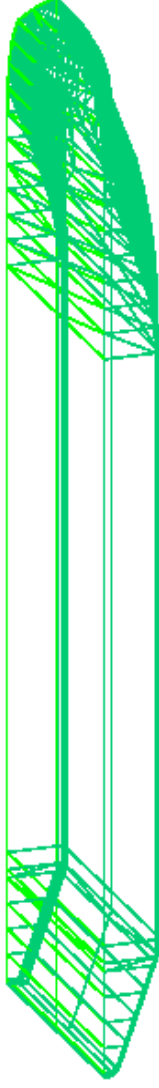
| Amplitudo Pitch rata-rata kondisi Half Load kecepatan 5 Knot |            |            |             |            |            |            |            |            |            |        |  |  |
|--|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|--|--|
| Hs (m)   | 3,5        |            |             | 4,5        |            |            | 5,5        |            |            | Tp (s) |  |  |
|  | 3,5        | 4,5        | 5,5         | 6,5        | 7,5        | 8,5        | 9,5        | 10,5       | 11,5       |        |  |  |
| 0,5  | 0,0053 deg | 0,0240 deg | 0,08251 deg | 0,1756 deg | 0,2602 deg | 0,3057 deg | 0,3202 deg | 0,3230 deg | 0,3051 deg |        |  |  |
| 1,5  |            | 0,0721 deg | 0,24753 deg | 0,5268 deg | 0,7805 deg | 0,9172 deg | 0,9607 deg | 0,9689 deg | 0,9152 deg |        |  |  |
| 2,5  |            | 0,1202 deg | 0,41255 deg | 0,8780 deg | 1,3008 deg | 1,5286 deg | 1,6012 deg | 1,6148 deg | 1,5254 deg |        |  |  |
| 3,5  |            | 0,1683 deg | 0,57758 deg | 1,2292 deg | 1,8212 deg | 2,1401 deg | 2,2417 deg | 2,2607 deg | 2,1355 deg |        |  |  |
| 4,5  |            |            | 0,74260 deg | 1,5805 deg | 2,3415 deg | 2,7515 deg | 2,8822 deg | 2,9066 deg | 2,7457 deg |        |  |  |
| 5,5  |            |            | 0,90762 deg | 1,9317 deg | 2,8618 deg | 3,3630 deg | 3,5227 deg | 3,5525 deg | 3,3559 deg |        |  |  |

| Amplitudo Pitch rata-rata kondisi Half Load kecepatan 7 Knot |            |            |             |            |             |            |            |            |            |        |  |  |
|--|------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|--------|--|--|
| Hs (m)   | 3,5        |            |             | 4,5        |             |            | 5,5        |            |            | Tp (s) |  |  |
|  | 3,5        | 4,5        | 5,5         | 6,5        | 7,5         | 8,5        | 9,5        | 10,5       | 11,5       |        |  |  |
| 0,5  | 0,3240 deg | 0,3240 deg | 0,09967 deg | 0,1958 deg | 0,27370 deg | 0,3114 deg | 0,3207 deg | 0,3198 deg | 0,3006 deg |        |  |  |
| 1,5  |            | 0,9721 deg | 0,29902 deg | 0,5875 deg | 0,82111 deg | 0,9342 deg | 0,9620 deg | 0,9595 deg | 0,9017 deg |        |  |  |
| 2,5  |            | 1,6201 deg | 0,49837 deg | 0,9791 deg | 1,36852 deg | 1,5571 deg | 1,6034 deg | 1,5992 deg | 1,5029 deg |        |  |  |
| 3,5  |            | 2,2682 deg | 0,69772 deg | 1,3708 deg | 1,91593 deg | 2,1799 deg | 2,2448 deg | 2,2388 deg | 2,1041 deg |        |  |  |
| 4,5  |            |            | 0,89707 deg | 1,7624 deg | 2,46333 deg | 2,8027 deg | 2,8861 deg | 2,8785 deg | 2,7052 deg |        |  |  |
| 5,5  |            |            | 1,09642 deg | 2,1541 deg | 3,01074 deg | 3,4256 deg | 3,5275 deg | 3,5182 deg | 3,3064 deg |        |  |  |

| Amplitudo Pitch rata-rata kondisi Full Load kecepatan 0 Knot |            |  |            |  |             |  |            |  |             |  |            |  |            |  |            |  |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|------------|--|------------|--|-------------|--|------------|--|-------------|--|------------|--|------------|--|------------|--|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Hs (m)   | 3,5        |  | 4,5        |  | 5,5         |  | 6,5        |  | 7,5         |  | 8,5        |  | 9,5        |  | 10,5       |  | 11,5       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |            |  |            |  |             |  |            |  |             |  |            |  |            |  |            |  |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0,5  | 0,0048 deg |  | 0,0196 deg |  | 0,04587 deg |  | 0,0979 deg |  | 0,18443 deg |  | 0,2596 deg |  | 0,2984 deg |  | 0,3181 deg |  | 0,3078 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1,5  |            |  | 0,0589 deg |  | 0,13760 deg |  | 0,2937 deg |  | 0,55329 deg |  | 0,7789 deg |  | 0,8953 deg |  | 0,9544 deg |  | 0,9235 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2,5  |            |  | 0,0981 deg |  | 0,22934 deg |  | 0,4895 deg |  | 0,92215 deg |  | 1,2981 deg |  | 1,4922 deg |  | 1,5906 deg |  | 1,5391 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3,5  |            |  | 0,1374 deg |  | 0,32108 deg |  | 0,6853 deg |  | 1,29101 deg |  | 1,8173 deg |  | 2,0891 deg |  | 2,2269 deg |  | 2,1547 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4,5  |            |  |            |  | 0,41281 deg |  | 0,8812 deg |  | 1,65988 deg |  | 2,3366 deg |  | 2,6860 deg |  | 2,8631 deg |  | 2,7704 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5,5  |            |  |            |  | 0,50455 deg |  | 1,0770 deg |  | 2,02874 deg |  | 2,8558 deg |  | 3,2829 deg |  | 3,4994 deg |  | 3,3860 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Amplitudo Pitch rata-rata kondisi Full Load kecepatan 3 Knot |            |  |            |  |             |  |            |  |             |  |            |  |            |  |            |  |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Hs (m)   | 3,5        |  | 4,5        |  | 5,5         |  | 6,5        |  | 7,5         |  | 8,5        |  | 9,5        |  | 10,5       |  | 11,5       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |            |  |            |  |             |  |            |  |             |  |            |  |            |  |            |  |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0,5  | 0,0072 deg |  | 0,0204 deg |  | 0,06018 deg |  | 0,1415 deg |  | 0,23336 deg |  | 0,2923 deg |  | 0,3158 deg |  | 0,3242 deg |  | 0,3085 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1,5  |            |  | 0,0613 deg |  | 0,18054 deg |  | 0,4245 deg |  | 0,70008 deg |  | 0,8769 deg |  | 0,9474 deg |  | 0,9725 deg |  | 0,9256 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2,5  |            |  | 0,1022 deg |  | 0,30091 deg |  | 0,7075 deg |  | 1,16681 deg |  | 1,4615 deg |  | 1,5789 deg |  | 1,6209 deg |  | 1,5426 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3,5  |            |  | 0,1431 deg |  | 0,42127 deg |  | 0,9906 deg |  | 1,63353 deg |  | 2,0461 deg |  | 2,2105 deg |  | 2,2692 deg |  | 2,1596 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4,5  |            |  |            |  | 0,54163 deg |  | 1,2736 deg |  | 2,10025 deg |  | 2,6308 deg |  | 2,8421 deg |  | 2,9176 deg |  | 2,7767 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5,5  |            |  |            |  | 0,66199 deg |  | 1,5566 deg |  | 2,56698 deg |  | 3,2154 deg |  | 3,4736 deg |  | 3,5659 deg |  | 3,3937 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Amplitudo Pitch rata-rata kondisi Full Load kecepatan 5 Knot |            |  |            |  |             |  |            |  |             |  |            |  |            |  |            |  |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Hs (m)   | 3,5        |  | 4,5        |  | 5,5         |  | 6,5        |  | 7,5         |  | 8,5        |  | 9,5        |  | 10,5       |  | 11,5       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |            |  |            |  |             |  |            |  |             |  |            |  |            |  |            |  |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0,5  | 0,0047 deg |  | 0,0209 deg |  | 0,07596 deg |  | 0,1666 deg |  | 0,25436 deg |  | 0,3039 deg |  | 0,3203 deg |  | 0,3237 deg |  | 0,3059 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1,5  |            |  | 0,0628 deg |  | 0,22787 deg |  | 0,4999 deg |  | 0,76309 deg |  | 0,9117 deg |  | 0,9608 deg |  | 0,9712 deg |  | 0,9178 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2,5  |            |  | 0,1046 deg |  | 0,37978 deg |  | 0,8331 deg |  | 1,27182 deg |  | 1,5195 deg |  | 1,6014 deg |  | 1,6186 deg |  | 1,5297 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3,5  |            |  | 0,1465 deg |  | 0,53169 deg |  | 1,1664 deg |  | 1,78054 deg |  | 2,1273 deg |  | 2,2420 deg |  | 2,2661 deg |  | 2,1415 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4,5  |            |  |            |  | 0,68360 deg |  | 1,4996 deg |  | 2,28927 deg |  | 2,7351 deg |  | 2,8825 deg |  | 2,9135 deg |  | 2,7534 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5,5  |            |  |            |  | 0,83552 deg |  | 1,8329 deg |  | 2,79800 deg |  | 3,3429 deg |  | 3,5231 deg |  | 3,5610 deg |  | 3,3653 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Amplitudo Pitch rata-rata kondisi Full Load kecepatan 7 Knot |            |  |            |  |             |  |            |  |             |  |            |  |            |  |            |  |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Hs (m)   | 3,5        |  | 4,5        |  | 5,5         |  | 6,5        |  | 7,5         |  | 8,5        |  | 9,5        |  | 10,5       |  | 11,5       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |            |  |            |  |             |  |            |  |             |  |            |  |            |  |            |  |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0,5  | 0,0030 deg |  | 0,0264 deg |  | 0,09175 deg |  | 0,1865 deg |  | 0,26859 deg |  | 0,3104 deg |  | 0,3214 deg |  | 0,3212 deg |  | 0,3019 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1,5  |            |  | 0,0793 deg |  | 0,27524 deg |  | 0,5594 deg |  | 0,80577 deg |  | 0,9311 deg |  | 0,9641 deg |  | 0,9635 deg |  | 0,9057 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2,5  |            |  | 0,1322 deg |  | 0,45874 deg |  | 0,9323 deg |  | 1,34295 deg |  | 1,5518 deg |  | 1,6068 deg |  | 1,6058 deg |  | 1,5095 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3,5  |            |  | 0,1850 deg |  | 0,64223 deg |  | 1,3052 deg |  | 1,88013 deg |  | 2,1725 deg |  | 2,2495 deg |  | 2,2481 deg |  | 2,1132 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4,5  |            |  |            |  | 0,82572 deg |  | 1,6781 deg |  | 2,41731 deg |  | 2,7932 deg |  | 2,8922 deg |  | 2,8904 deg |  | 2,7170 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5,5  |            |  |            |  | 1,00922 deg |  | 2,0510 deg |  | 2,95449 deg |  | 3,4139 deg |  | 3,5349 deg |  | 3,5327 deg |  | 3,3208 deg |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |



CAIDIESVEGA SPCB28  
CASE : LIGHTSHIP CONDITION

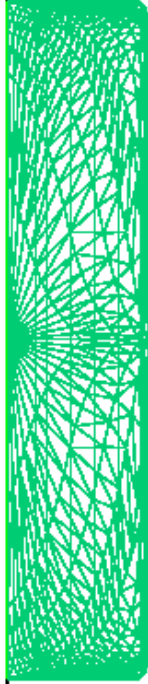


CAIDIESVEGA SPCE28  
CASE : LIGHTSHIP CONDITION

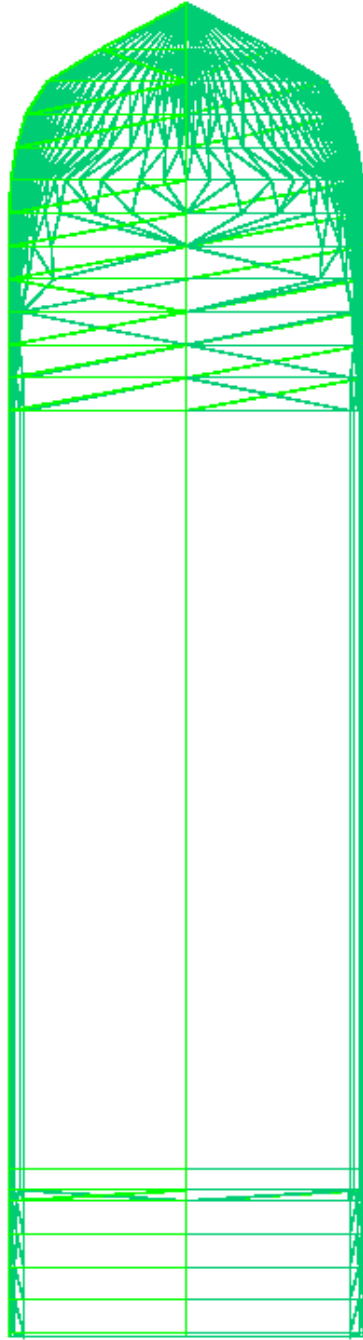




CAIDJESVEGA\_SPCB28  
CASE : LIGHTSHIP CONDITION



CAIDIESVEGA SPCE28  
CASE : LIGHTSHIP COIDITION





| Perhitungan Titik Berat Pada Kondisi Ballast |                            |             |                |             |             |             |                   |         |        |                              |           |          |           |
|--|----------------------------|-------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|---------|--------|------------------------------|-----------|----------|-----------|
| No.  | Nama Struktur              | Luasan (m2) | Tebal Plat (m) | Volume (m3) | Massa Jenis | Berat (Ton) | Center Of Gravity |         |        | Moment                       |           |          |           |
|  |                            |             |                |             |             |             | X                 | Y       | Z      | Mx                           | My        | Mz       |           |
| 1  | Navigation room            |             |                |             |             | 8,050       | 35,680            | -0,233  | 12,400 | 287,224                      | -1,876    | 99,820   |           |
| 2  | Accommodation Room         | 235,472     | 0,006          | 1,413       | 7,860       | 11,105      | 35,650            | 0,165   | 9,710  | 395,889                      | 1,832     | 107,828  |           |
| 3  | Forecastle Deck            | 108,290     | 0,006          | 0,650       | 7,860       | 5,107       | 42,600            | 0,000   | 9,700  | 217,556                      | 0,000     | 49,537   |           |
| 4  | Upper Deck                 | 2138,396    | 0,006          | 12,830      | 7,860       | 100,847     | -1,429            | 0,000   | 6,995  | -144,110                     | 0,000     | 705,423  |           |
| 5  | Poop Deck                  | 311,760     | 0,006          | 1,871       | 7,860       | 14,703      | -39,360           | 0,000   | 8,350  | -578,694                     | 0,000     | 122,767  |           |
| 6  | Engine Room P              | 187,675     | 0,006          | 1,126       | 7,860       | 8,851       | -35,916           | 8,910   | 4,161  | -317,884                     | 78,860    | 36,828   |           |
| 7  | Engine Room S              | 187,675     | 0,006          | 1,126       | 7,860       | 8,851       | -35,916           | -8,910  | 4,161  | -317,884                     | -78,860   | 36,828   |           |
| 8  | Steering Gear Room P       | 47,513      | 0,006          | 0,285       | 7,860       | 2,241       | -44,368           | 8,910   | 5,379  | -99,416                      | 19,965    | 12,053   |           |
| 9  | Steering Gear Room S       | 47,513      | 0,006          | 0,285       | 7,860       | 2,241       | -44,368           | -8,910  | 5,379  | -99,416                      | -19,965   | 12,053   |           |
| 10   | Berat Hull Kapal           | 3275,407    | 0,006          | 19,652      | 7,860       | 1421,849    | -1,912            | 0,000   | 3,659  | -2718,575                    | 0,000     | 5202,545 |           |
| 11   | Side Wall                  | 752,850     | 0,006          | 4,517       | 7,860       | 35,504      | -4,992            | 0,000   | 5,469  | -177,249                     | 0,000     | 194,174  |           |
| 12   | Permesinan 1               |             |                |             |             | 5,660       | -36,730           | 8,910   | 5,350  | -207,892                     | 50,431    | 30,281   |           |
| 13   | Permesinan 2               |             |                |             |             | 5,660       | -36,730           | -8,910  | 5,350  | -207,892                     | -50,431   | 30,281   |           |
| 14   | Steering Gear P            |             |                |             |             | 0,600       | -44,368           | 8,930   | 5,379  | -26,621                      | 5,358     | 3,227    |           |
| 15   | Steering Gear S            |             |                |             |             | 0,600       | -44,368           | -8,930  | 5,379  | -26,621                      | -5,358    | 3,227    |           |
| 16   | Rudder P                   |             |                |             |             | 0,493       | -44,940           | 8,930   | 1,470  | -22,133                      | 4,398     | 0,724    |           |
| 17   | Rudder S                   |             |                |             |             | 0,493       | -44,940           | -8,930  | 1,470  | -22,133                      | -4,398    | 0,724    |           |
| 18   | Jangkar P                  |             |                |             |             | 7,560       | 42,630            | 8,270   | 7,790  | 322,283                      | 62,521    | 58,892   |           |
| 19   | Jangkar S                  |             |                |             |             | 7,560       | 42,630            | -8,270  | 7,790  | 322,283                      | -62,521   | 58,892   |           |
| 20   | Rantai Jangkar             |             |                |             |             | 23,040      | 39,610            | 0,000   | 7,140  | 912,614                      | 0,000     | 164,506  |           |
| 21   | Pipa Rantai Jangkar P      |             |                |             |             | 1,507       | 42,630            | 11,500  | 7,790  | 64,243                       | 17,331    | 11,740   |           |
| 22   | Pipa Rantai Jangkar S      |             |                |             |             | 1,507       | 42,630            | -11,500 | 7,790  | 64,243                       | -17,331   | 11,740   |           |
| 23   | WindLass                   |             |                |             |             | 10,800      | 39,690            | 0,000   | 10,280 | 428,652                      | 0,000     | 111,024  |           |
| 24   | Mesin Capstain             |             |                |             |             | 3,994       | 41,230            | 0,000   | 12,400 | 164,673                      | 0,000     | 49,526   |           |
| 25   | Perpipaan                  |             |                |             |             | 5,220       | -22,328           | 0,000   | 3,700  | -116,550                     | 0,000     | 19,314   |           |
| 26   | Emmergency Fire Pump       |             |                |             |             | 0,520       | 31,600            | 0,000   | 1,740  | 16,432                       | 0,000     | 0,905    |           |
| 27   | Pompa Utama Sistem Ballast |             |                |             |             | 0,320       | 31,600            | 0,000   | 1,790  | 10,112                       | 0,000     | 0,573    |           |
| 28   | Pompa General Service      |             |                |             |             | 0,260       | 31,600            | 0,000   | 1,790  | 8,216                        | 0,000     | 0,465    |           |
| 29   | Bilga Pump                 |             |                |             |             | 0,640       | -35,020           | 0,000   | 0,900  | -22,413                      | 0,000     | 0,576    |           |
| 30   | Oil Pump                   |             |                |             |             | 1,040       | -30,110           | 0,000   | 0,500  | -31,314                      | 0,000     | 0,520    |           |
| 31   | Fuel Pump                  |             |                |             |             | 1,920       | -28,730           | 0,000   | 3,502  | -55,162                      | 0,000     | 6,724    |           |
| 32   | Fresh Water Pump           |             |                |             |             | 0,520       | 35,377            | 0,000   | 4,262  | 18,396                       | 0,000     | 2,216    |           |
| 33   | Water Ballast 1P           |             |                |             |             | 326,723     | 24,901            | 7,630   | 3,562  | 8135,729                     | 2492,896  | 1163,787 |           |
| 34   | Water Ballast 1C           |             |                |             |             | 262,770     | 24,961            | 0,000   | 3,503  | 6559,002                     | 0,000     | 920,483  |           |
| 35   | Water Ballast 1S           |             |                |             |             | 326,723     | 24,901            | -7,630  | 3,562  | 8135,729                     | -2492,896 | 1163,787 |           |
| 36   | Water Ballast 2P           |             |                |             |             | 326,429     | 13,230            | 7,686   | 3,503  | 4318,656                     | 2508,933  | 1143,481 |           |
| 37   | Water Ballast 2C           |             |                |             |             | 256,228     | 13,230            | 0,000   | 3,500  | 3389,896                     | 0,000     | 896,798  |           |
| 38   | Water Ballast 2S           |             |                |             |             | 326,429     | 13,230            | -7,686  | 3,503  | 4318,656                     | -2508,933 | 1143,481 |           |
| 39   | Water Ballast 3P           |             |                |             |             | 326,429     | 1,490             | 7,686   | 3,503  | 486,379                      | 2508,933  | 1143,481 |           |
| 40   | Water Ballast 3C           |             |                |             |             | 256,228     | 1,490             | 0,000   | 3,500  | 381,780                      | 0,000     | 896,798  |           |
| 41   | Water Ballast 3S           |             |                |             |             | 326,429     | 1,490             | -7,686  | 3,503  | 486,379                      | -2508,933 | 1143,481 |           |
| 42   | Water Ballast 4P           |             |                |             |             | 326,152     | -10,245           | 7,686   | 3,503  | -3341,427                    | 2506,804  | 1142,510 |           |
| 43   | Water Ballast 4C           |             |                |             |             | 256,010     | -10,245           | 0,000   | 3,500  | -2622,822                    | 0,000     | 896,035  |           |
| 44   | Water Ballast 4S           |             |                |             |             | 326,152     | -10,245           | -7,686  | 3,503  | -3341,427                    | -2506,804 | 1142,510 |           |
| 45   | Water Ballast 5P           |             |                |             |             | 307,800     | -21,645           | 7,686   | 3,503  | -6662,331                    | 2365,751  | 1078,223 |           |
| 46   | Water Ballast 5C           |             |                |             |             | 241,605     | -21,645           | 0,000   | 3,500  | -5229,540                    | 0,000     | 845,618  |           |
| 47   | Water Ballast 5S           |             |                |             |             | 307,800     | -21,645           | -7,686  | 3,503  | -6662,331                    | -2365,751 | 1078,223 |           |
| 48   | Fresh Water P              |             |                |             |             | 60,030      | 31,600            | 7,903   | 2,854  | 1896,948                     | 474,417   | 171,326  |           |
| 49   | Fresh Water S              |             |                |             |             | 60,030      | 31,600            | -7,903  | 2,854  | 1896,948                     | -474,417  | 171,326  |           |
| 50   | Fresh Water P              |             |                |             |             | 28,045      | -40,000           | 7,903   | 2,854  | -1121,800                    | 221,640   | 80,040   |           |
| 51   | Fresh Water S              |             |                |             |             | 28,045      | -40,000           | -7,903  | 2,854  | -1121,800                    | -221,640  | 80,040   |           |
| 52   | MDO P                      |             |                |             |             | 25,500      | -26,570           | 5,993   | 1,753  | -677,535                     | 152,822   | 44,702   |           |
| 53   | MDO S                      |             |                |             |             | 25,500      | -26,570           | 5,993   | 1,753  | -677,535                     | 152,822   | 44,702   |           |
| 54   | HFO P                      |             |                |             |             | 50,250      | -28,730           | 5,993   | 1,753  | -1443,683                    | 301,148   | 88,088   |           |
| 55   | HFO S                      |             |                |             |             | 50,250      | -28,730           | -5,993  | 1,753  | -1443,683                    | -301,148  | 88,088   |           |
| 56   | Lubrication Oil P          |             |                |             |             | 3,772       | -30,110           | 5,900   | 0,500  | -113,575                     | 22,255    | 1,886    |           |
| 57   | Lubrication Oil S          |             |                |             |             | 3,772       | -30,110           | -5,900  | 0,500  | -113,575                     | -22,255   | 1,886    |           |
| 58   | ABK                        |             |                |             |             | 20,600      | 35,650            | 0,165   | 9,710  | 734,390                      | 3,399     | 200,026  |           |
| 59   | Muatan Batubara            |             |                |             |             | 0,000       | 0,000             | 0,000   | 0,000  | 0,000                        | 0,000     | 0,000    |           |
|  |                            |             |                |             | Displasemen | 6554,962    |                   |         |        | JUMLAH =                     | 4208,288  | 308,999  | 23916,740 |
|  |                            |             |                |             |             |             |                   |         |        | TITIK BERAT TERHADAP MIDSHIP |           |          |           |
|  |                            |             |                |             |             |             |                   |         |        | X                            | Y         | Z        |           |
|  |                            |             |                |             |             |             |                   |         |        | 0,642                        | 0,000     | 3,649    |           |
|  |                            |             |                |             |             |             |                   |         |        | TITIK BERAT TERHADAP FP      |           |          |           |
|  |                            |             |                |             |             |             |                   |         |        | X                            | Y         | Z        |           |
|  |                            |             |                |             |             |             |                   |         |        | 44,013                       | 0,000     | 3,649    |           |

| Perhitungan Titik Berat Pada Kondisi Muatan 50% |                            |             |                |             |             |             |                   |         |        |                              |           |           |           |
|---|----------------------------|-------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|---------|--------|------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| No.   | Nama Struktur              | Luasan (m2) | Tebal Plat (m) | Volume (m3) | Massa Jenis | Berat (Ton) | Center Of Gravity |         |        | Moment                       |           |           |           |
|   |                            |             |                |             |             |             | X                 | Y       | Z      | Mx                           | My        | Mz        |           |
| 1   | Navigation room            |             |                |             |             | 8,050       | 35,680            | -0,233  | 12,400 | 287,224                      | -1,876    | 99,820    |           |
| 2   | Accomodation Room          | 235,472     | 0,006          | 1,413       | 7,860       | 11,105      | 35,650            | 0,165   | 9,710  | 395,889                      | 1,832     | 107,828   |           |
| 3   | Forecastle Deck            | 108,290     | 0,006          | 0,650       | 7,860       | 5,107       | 42,600            | 0,000   | 9,700  | 217,556                      | 0,000     | 49,537    |           |
| 4   | Upper Deck                 | 2138,396    | 0,006          | 12,830      | 7,860       | 100,847     | -1,429            | 0,000   | 6,995  | -144,110                     | 0,000     | 705,423   |           |
| 5   | Poop Deck                  | 311,760     | 0,006          | 1,871       | 7,860       | 14,703      | -39,360           | 0,000   | 8,350  | -578,694                     | 0,000     | 122,767   |           |
| 6   | Engine Room P              | 187,675     | 0,006          | 1,126       | 7,860       | 8,851       | -35,916           | 8,910   | 4,161  | -317,884                     | 78,860    | 36,828    |           |
| 7   | Engine Room S              | 187,675     | 0,006          | 1,126       | 7,860       | 8,851       | -35,916           | -8,910  | 4,161  | -317,884                     | -78,860   | 36,828    |           |
| 8   | Steering Gear Room P       | 47,513      | 0,006          | 0,285       | 7,860       | 2,241       | -44,368           | 8,910   | 5,379  | -99,416                      | 19,965    | 12,053    |           |
| 9   | Steering Gear Room S       | 47,513      | 0,006          | 0,285       | 7,860       | 2,241       | -44,368           | -8,910  | 5,379  | -99,416                      | -19,965   | 12,053    |           |
| 10  | Berat Hull Kapal           | 3275,407    | 0,006          | 19,652      | 7,860       | 1421,849    | -1,912            | 0,000   | 3,659  | -2718,575                    | 0,000     | 5202,545  |           |
| 11  | Side Wall                  | 752,850     | 0,006          | 4,517       | 7,860       | 35,504      | -4,992            | 0,000   | 5,469  | -177,249                     | 0,000     | 194,174   |           |
| 12  | Permesinan 1               |             |                |             |             | 5,660       | -36,730           | 8,910   | 5,350  | -207,892                     | 50,431    | 30,281    |           |
| 13  | Permesinan 2               |             |                |             |             | 5,660       | -36,730           | -8,910  | 5,350  | -207,892                     | -50,431   | 30,281    |           |
| 14  | Steering Gear P            |             |                |             |             | 0,600       | -44,368           | 8,930   | 5,379  | -26,621                      | 5,358     | 3,227     |           |
| 15  | Steering Gear S            |             |                |             |             | 0,600       | -44,368           | -8,930  | 5,379  | -26,621                      | -5,358    | 3,227     |           |
| 16  | Rudder P                   |             |                |             |             | 0,493       | -44,940           | 8,930   | 1,470  | -22,133                      | 4,398     | 0,724     |           |
| 17  | Rudder S                   |             |                |             |             | 0,493       | -44,940           | -8,930  | 1,470  | -22,133                      | -4,398    | 0,724     |           |
| 18  | Jangkar P                  |             |                |             |             | 7,560       | 42,630            | 8,270   | 7,790  | 322,283                      | 62,521    | 58,892    |           |
| 19  | Jangkar S                  |             |                |             |             | 7,560       | 42,630            | -8,270  | 7,790  | 322,283                      | -62,521   | 58,892    |           |
| 20  | Rantai Jangkar             |             |                |             |             | 23,040      | 39,610            | 0,000   | 7,140  | 912,614                      | 0,000     | 164,506   |           |
| 21  | Pipa Rantai Jangkar P      |             |                |             |             | 1,507       | 42,630            | 11,500  | 7,790  | 64,243                       | 17,331    | 11,740    |           |
| 22  | Pipa Rantai Jangkar S      |             |                |             |             | 1,507       | 42,630            | -11,500 | 7,790  | 64,243                       | -17,331   | 11,740    |           |
| 23  | WindLass                   |             |                |             |             | 10,800      | 39,690            | 0,000   | 10,280 | 428,652                      | 0,000     | 111,024   |           |
| 24  | Mesin Capstain             |             |                |             |             | 3,994       | 41,230            | 0,000   | 12,400 | 164,673                      | 0,000     | 49,526    |           |
| 25  | Perpipaan                  |             |                |             |             | 5,220       | -22,328           | 0,000   | 3,700  | -116,550                     | 0,000     | 19,314    |           |
| 26  | Emmergency Fire Pump       |             |                |             |             | 0,520       | 31,600            | 0,000   | 1,740  | 16,432                       | 0,000     | 0,905     |           |
| 27  | Pompa Utama Sistem Ballast |             |                |             |             | 0,320       | 31,600            | 0,000   | 1,790  | 10,112                       | 0,000     | 0,573     |           |
| 28  | Pompa General Service      |             |                |             |             | 0,260       | 31,600            | 0,000   | 1,790  | 8,216                        | 0,000     | 0,465     |           |
| 29  | Bilga Pump                 |             |                |             |             | 0,640       | -35,020           | 0,000   | 0,900  | -22,413                      | 0,000     | 0,576     |           |
| 30  | Oil Pump                   |             |                |             |             | 1,040       | -30,110           | 0,000   | 0,500  | -31,314                      | 0,000     | 0,520     |           |
| 31  | Fuel Pump                  |             |                |             |             | 1,920       | -28,730           | 0,000   | 3,502  | -55,162                      | 0,000     | 6,724     |           |
| 32  | Fresh Water Pump           |             |                |             |             | 0,520       | 35,377            | 0,000   | 4,262  | 18,396                       | 0,000     | 2,216     |           |
| 33  | Water Ballast 1P           |             |                |             |             | 184,069     | 24,901            | 7,630   | 3,562  | 4583,502                     | 1404,446  | 655,654   |           |
| 34  | Water Ballast 1C           |             |                |             |             | 159,146     | 24,961            | 0,000   | 3,503  | 3972,443                     | 0,000     | 557,488   |           |
| 35  | Water Ballast 1S           |             |                |             |             | 184,069     | 24,901            | -7,630  | 3,562  | 4583,502                     | -1404,446 | 655,654   |           |
| 36  | Water Ballast 2P           |             |                |             |             | 203,111     | 13,230            | 7,686   | 3,503  | 2687,159                     | 1561,111  | 711,498   |           |
| 37  | Water Ballast 2C           |             |                |             |             | 159,431     | 13,230            | 0,000   | 3,500  | 2109,272                     | 0,000     | 558,009   |           |
| 38  | Water Ballast 2S           |             |                |             |             | 203,111     | 13,230            | -7,686  | 3,503  | 2687,159                     | -1561,111 | 711,498   |           |
| 39  | Water Ballast 3P           |             |                |             |             | 203,112     | 1,490             | 7,686   | 3,503  | 302,637                      | 1561,119  | 711,501   |           |
| 40  | Water Ballast 3C           |             |                |             |             | 159,431     | 1,490             | 0,000   | 3,500  | 237,552                      | 0,000     | 558,009   |           |
| 41  | Water Ballast 3S           |             |                |             |             | 203,112     | 1,490             | -7,686  | 3,503  | 302,637                      | -1561,119 | 711,501   |           |
| 42  | Water Ballast 4P           |             |                |             |             | 202,939     | -10,245           | 7,686   | 3,503  | -2079,110                    | 1559,789  | 710,895   |           |
| 43  | Water Ballast 4C           |             |                |             |             | 159,295     | -10,245           | 0,000   | 3,500  | -1631,977                    | 0,000     | 557,533   |           |
| 44  | Water Ballast 4S           |             |                |             |             | 202,939     | -10,245           | -7,686  | 3,503  | -2079,110                    | -1559,789 | 710,895   |           |
| 45  | Water Ballast 5P           |             |                |             |             | 191,520     | -21,645           | 7,686   | 3,503  | -4145,450                    | 1472,023  | 670,895   |           |
| 46  | Water Ballast 5C           |             |                |             |             | 150,332     | -21,645           | 0,000   | 3,500  | -3253,936                    | 0,000     | 526,162   |           |
| 47  | Water Ballast 5S           |             |                |             |             | 191,520     | -21,645           | -7,686  | 3,503  | -4145,450                    | -1472,023 | 670,895   |           |
| 48  | Fresh Water P              |             |                |             |             | 60,030      | 31,600            | 7,903   | 2,854  | 1896,948                     | 474,417   | 171,326   |           |
| 49  | Fresh Water S              |             |                |             |             | 60,030      | 31,600            | -7,903  | 2,854  | 1896,948                     | -474,417  | 171,326   |           |
| 50  | Fresh Water P              |             |                |             |             | 28,045      | -40,000           | 7,903   | 2,854  | -1121,800                    | 221,640   | 80,040    |           |
| 51  | Fresh Water S              |             |                |             |             | 28,045      | -40,000           | -7,903  | 2,854  | -1121,800                    | -221,640  | 80,040    |           |
| 52  | MDO P                      |             |                |             |             | 25,500      | -26,570           | 5,993   | 1,753  | -677,535                     | 152,822   | 44,702    |           |
| 53  | MDO S                      |             |                |             |             | 25,500      | -26,570           | 5,993   | 1,753  | -677,535                     | 152,822   | 44,702    |           |
| 54  | HFO P                      |             |                |             |             | 50,250      | -28,730           | 5,993   | 1,753  | -1443,683                    | 301,148   | 88,088    |           |
| 55  | HFO S                      |             |                |             |             | 50,250      | -28,730           | -5,993  | 1,753  | -1443,683                    | -301,148  | 88,088    |           |
| 56  | Lubrication Oil P          |             |                |             |             | 3,772       | -30,110           | 5,900   | 0,500  | -113,575                     | 22,255    | 1,886     |           |
| 57  | Lubrication Oil S          |             |                |             |             | 3,772       | -30,110           | -5,900  | 0,500  | -113,575                     | -22,255   | 1,886     |           |
| 58  | ABK                        |             |                |             |             | 20,600      | 35,650            | 0,165   | 9,710  | 734,390                      | 3,399     | 200,026   |           |
| 59  | Muatan Batubara            |             |                |             |             | 3850,000    | -1,050            | 0,000   | 8,240  | -4042,500                    | 0,000     | 31724,000 |           |
|   |                            |             |                |             |             | Displasemen | 8662,192          |         |        | JUMLAH =                     | -4055,711 | 308,999   | 49520,128 |
|   |                            |             |                |             |             |             |                   |         |        | TITIK BERAT TERHADAP MIDSHIP |           |           |           |
|   |                            |             |                |             |             |             |                   |         |        | X                            | Y         | Z         |           |
|   |                            |             |                |             |             |             |                   |         |        | -0,468                       | 0,000     | 5,717     |           |
|   |                            |             |                |             |             |             |                   |         |        | TITIK BERAT TERHADAP FP      |           |           |           |
|   |                            |             |                |             |             |             |                   |         |        | X                            | Y         | Z         |           |
|   |                            |             |                |             |             |             |                   |         |        | 45,123                       | 0,000     | 5,717     |           |

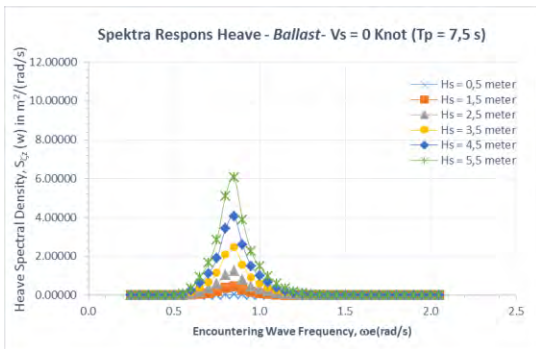
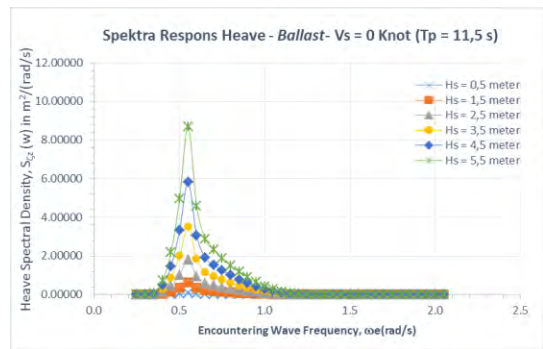
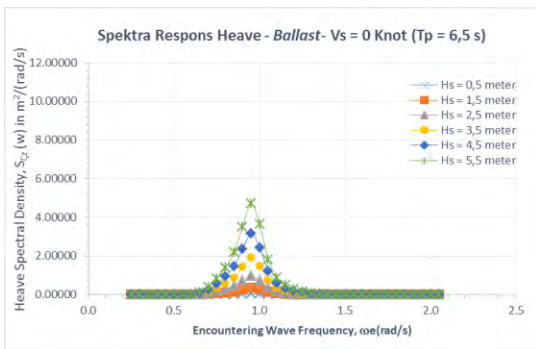
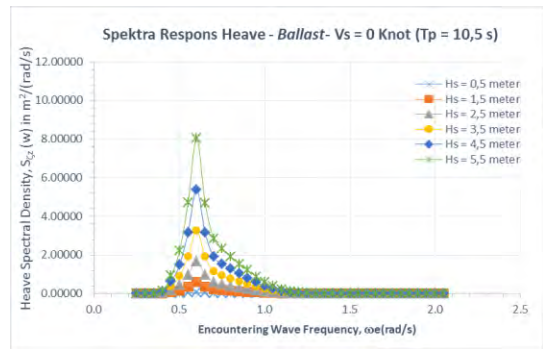
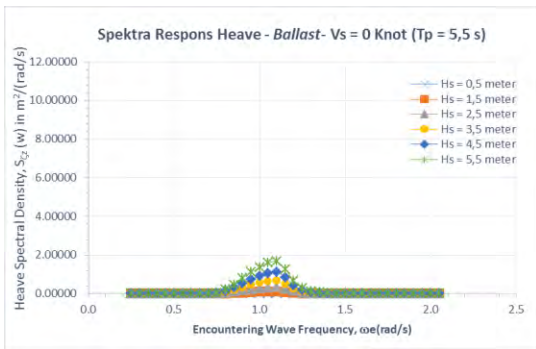
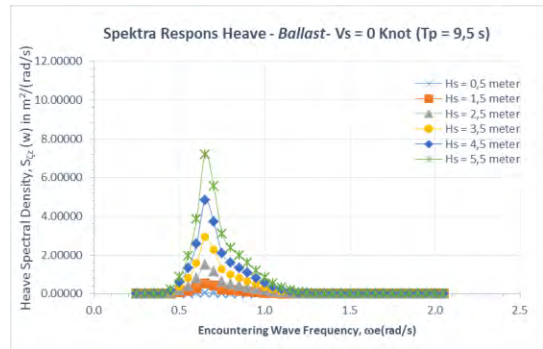
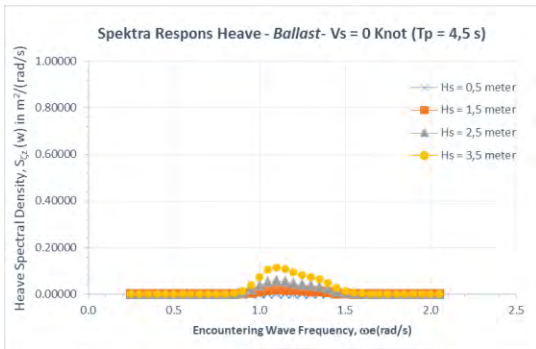
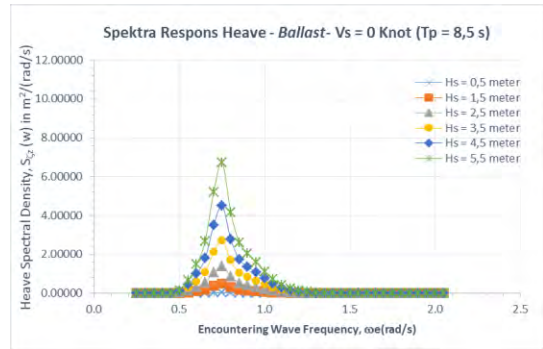
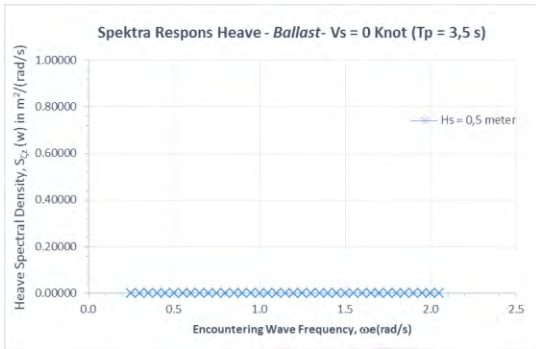


| Perhitungan Titik Berat Pada Kondisi Muatan 100% |                            |             |                |             |             |             |                   |         |        |                              |            |           |           |
|--|----------------------------|-------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|---------|--------|------------------------------|------------|-----------|-----------|
| No.  | Nama Struktur              | Luasan (m2) | Tebal Plat (m) | Volume (m3) | Massa Jenis | Berat (Ton) | Center Of Gravity |         |        | Moment                       |            |           |           |
|  |                            |             |                |             |             |             | X                 | Y       | Z      | Mx                           | My         | Mz        |           |
| 1  | Navigation room            |             |                |             |             | 8,050       | 35,680            | -0,233  | 12,400 | 287,224                      | -1,876     | 99,820    |           |
| 2  | Accommodation Room         | 235,472     | 0,006          | 1,413       | 7,860       | 11,105      | 35,650            | 0,165   | 9,710  | 395,889                      | 1,832      | 107,828   |           |
| 3  | Forecastle Deck            | 108,290     | 0,006          | 0,650       | 7,860       | 5,107       | 42,600            | 0,000   | 9,700  | 217,556                      | 0,000      | 49,537    |           |
| 4  | Upper Deck                 | 2138,396    | 0,006          | 12,830      | 7,860       | 100,847     | -1,429            | 0,000   | 6,995  | -144,110                     | 0,000      | 705,423   |           |
| 5  | Poop Deck                  | 311,760     | 0,006          | 1,871       | 7,860       | 14,703      | -39,360           | 0,000   | 8,350  | -578,694                     | 0,000      | 122,767   |           |
| 6  | Engine Room P              | 187,675     | 0,006          | 1,126       | 7,860       | 8,851       | -35,916           | 8,910   | 4,161  | -317,884                     | 78,860     | 36,828    |           |
| 7  | Engine Room S              | 187,675     | 0,006          | 1,126       | 7,860       | 8,851       | -35,916           | -8,910  | 4,161  | -317,884                     | -78,860    | 36,828    |           |
| 8  | Steering Gear Room P       | 47,513      | 0,006          | 0,285       | 7,860       | 2,241       | -44,368           | 8,910   | 5,379  | -99,416                      | 19,965     | 12,053    |           |
| 9  | Steering Gear Room S       | 47,513      | 0,006          | 0,285       | 7,860       | 2,241       | -44,368           | -8,910  | 5,379  | -99,416                      | -19,965    | 12,053    |           |
| 10   | Berat Hull Kapal           | 3275,407    | 0,006          | 19,652      | 7,860       | 1421,849    | -1,912            | 0,000   | 3,659  | -2718,575                    | 0,000      | 5202,545  |           |
| 11   | Side Wall                  | 752,850     | 0,006          | 4,517       | 7,860       | 35,504      | -4,992            | 0,000   | 5,469  | -177,249                     | 0,000      | 194,174   |           |
| 12   | Permesinan 1               |             |                |             |             | 5,660       | -36,730           | 8,910   | 5,350  | -207,892                     | 50,431     | 30,281    |           |
| 13   | Permesinan 2               |             |                |             |             | 5,660       | -36,730           | -8,910  | 5,350  | -207,892                     | -50,431    | 30,281    |           |
| 14   | Steering Gear P            |             |                |             |             | 0,600       | -44,368           | 8,930   | 5,379  | -26,621                      | 5,358      | 3,227     |           |
| 15   | Steering Gear S            |             |                |             |             | 0,600       | -44,368           | -8,930  | 5,379  | -26,621                      | -5,358     | 3,227     |           |
| 16   | Rudder P                   |             |                |             |             | 0,493       | -44,940           | 8,930   | 1,470  | -22,133                      | 4,398      | 0,724     |           |
| 17   | Rudder S                   |             |                |             |             | 0,493       | -44,940           | -8,930  | 1,470  | -22,133                      | -4,398     | 0,724     |           |
| 18   | Jangkar P                  |             |                |             |             | 7,560       | 42,630            | 8,270   | 7,790  | 322,283                      | 62,521     | 58,892    |           |
| 19   | Jangkar S                  |             |                |             |             | 7,560       | 42,630            | -8,270  | 7,790  | 322,283                      | -62,521    | 58,892    |           |
| 20   | Rantai Jangkar             |             |                |             |             | 23,040      | 39,610            | 0,000   | 7,140  | 912,614                      | 0,000      | 164,506   |           |
| 21   | Pipa Rantai Jangkar P      |             |                |             |             | 1,507       | 42,630            | 11,500  | 7,790  | 64,243                       | 17,331     | 11,740    |           |
| 22   | Pipa Rantai Jangkar S      |             |                |             |             | 1,507       | 42,630            | -11,500 | 7,790  | 64,243                       | -17,331    | 11,740    |           |
| 23   | WindLass                   |             |                |             |             | 10,800      | 39,690            | 0,000   | 10,280 | 428,652                      | 0,000      | 111,024   |           |
| 24   | Mesin Capstain             |             |                |             |             | 3,994       | 41,230            | 0,000   | 12,400 | 164,673                      | 0,000      | 49,526    |           |
| 25   | Perpipaan                  |             |                |             |             | 5,220       | -22,328           | 0,000   | 3,700  | -116,550                     | 0,000      | 19,314    |           |
| 26   | Emmergency Fire Pump       |             |                |             |             | 0,520       | 31,600            | 0,000   | 1,740  | 16,432                       | 0,000      | 0,905     |           |
| 27   | Pompa Utama Sistem Ballast |             |                |             |             | 0,320       | 31,600            | 0,000   | 1,790  | 10,112                       | 0,000      | 0,573     |           |
| 28   | Pompa General Service      |             |                |             |             | 0,260       | 31,600            | 0,000   | 1,790  | 8,216                        | 0,000      | 0,465     |           |
| 29   | Bilga Pump                 |             |                |             |             | 0,640       | -35,020           | 0,000   | 0,900  | -22,413                      | 0,000      | 0,576     |           |
| 30   | Oil Pump                   |             |                |             |             | 1,040       | -30,110           | 0,000   | 0,500  | -31,314                      | 0,000      | 0,520     |           |
| 31   | Fuel Pump                  |             |                |             |             | 1,920       | -28,730           | 0,000   | 3,502  | -55,162                      | 0,000      | 6,724     |           |
| 32   | Fresh Water Pump           |             |                |             |             | 0,520       | 35,377            | 0,000   | 4,262  | 18,396                       | 0,000      | 2,216     |           |
| 33   | Water Ballast 1P           |             |                |             |             | 0,000       | 0,000             | 0,000   | 0,000  | 0,000                        | 0,000      | 0,000     |           |
| 34   | Water Ballast 1C           |             |                |             |             | 0,000       | 0,000             | 0,000   | 0,000  | 0,000                        | 0,000      | 0,000     |           |
| 35   | Water Ballast 1S           |             |                |             |             | 0,000       | 0,000             | 0,000   | 0,000  | 0,000                        | 0,000      | 0,000     |           |
| 36   | Water Ballast 2P           |             |                |             |             | 0,000       | 0,000             | 0,000   | 0,000  | 0,000                        | 0,000      | 0,000     |           |
| 37   | Water Ballast 2C           |             |                |             |             | 0,000       | 0,000             | 0,000   | 0,000  | 0,000                        | 0,000      | 0,000     |           |
| 38   | Water Ballast 2S           |             |                |             |             | 0,000       | 0,000             | 0,000   | 0,000  | 0,000                        | 0,000      | 0,000     |           |
| 39   | Water Ballast 3P           |             |                |             |             | 0,000       | 0,000             | 0,000   | 0,000  | 0,000                        | 0,000      | 0,000     |           |
| 40   | Water Ballast 3C           |             |                |             |             | 0,000       | 0,000             | 0,000   | 0,000  | 0,000                        | 0,000      | 0,000     |           |
| 41   | Water Ballast 3S           |             |                |             |             | 0,000       | 0,000             | 0,000   | 0,000  | 0,000                        | 0,000      | 0,000     |           |
| 42   | Water Ballast 4P           |             |                |             |             | 0,000       | 0,000             | 0,000   | 0,000  | 0,000                        | 0,000      | 0,000     |           |
| 43   | Water Ballast 4C           |             |                |             |             | 0,000       | 0,000             | 0,000   | 0,000  | 0,000                        | 0,000      | 0,000     |           |
| 44   | Water Ballast 4S           |             |                |             |             | 0,000       | 0,000             | 0,000   | 0,000  | 0,000                        | 0,000      | 0,000     |           |
| 45   | Water Ballast 5P           |             |                |             |             | 0,000       | 0,000             | 0,000   | 0,000  | 0,000                        | 0,000      | 0,000     |           |
| 46   | Water Ballast 5C           |             |                |             |             | 0,000       | 0,000             | 0,000   | 0,000  | 0,000                        | 0,000      | 0,000     |           |
| 47   | Water Ballast 5S           |             |                |             |             | 0,000       | 0,000             | 0,000   | 0,000  | 0,000                        | 0,000      | 0,000     |           |
| 48   | Fresh Water P              |             |                |             |             | 60,030      | 31,600            | 7,903   | 2,854  | 1896,948                     | 474,417    | 171,326   |           |
| 49   | Fresh Water S              |             |                |             |             | 60,030      | 31,600            | -7,903  | 2,854  | 1896,948                     | -474,417   | 171,326   |           |
| 50   | Fresh Water P              |             |                |             |             | 28,045      | -40,000           | 7,903   | 2,854  | -1121,800                    | 221,640    | 80,040    |           |
| 51   | Fresh Water S              |             |                |             |             | 28,045      | -40,000           | -7,903  | 2,854  | -1121,800                    | -221,640   | 80,040    |           |
| 52   | MDO P                      |             |                |             |             | 25,500      | -26,570           | 5,993   | 1,753  | -677,535                     | 152,822    | 44,702    |           |
| 53   | MDO S                      |             |                |             |             | 25,500      | -26,570           | 5,993   | 1,753  | -677,535                     | 152,822    | 44,702    |           |
| 54   | HFO P                      |             |                |             |             | 50,250      | -28,730           | 5,993   | 1,753  | -1443,683                    | 301,148    | 88,088    |           |
| 55   | HFO S                      |             |                |             |             | 50,250      | -28,730           | -5,993  | 1,753  | -1443,683                    | -301,148   | 88,088    |           |
| 56   | Lubrication Oil P          |             |                |             |             | 3,772       | -30,110           | 5,900   | 0,500  | -113,575                     | 22,255     | 1,886     |           |
| 57   | Lubrication Oil S          |             |                |             |             | 3,772       | -30,110           | -5,900  | 0,500  | -113,575                     | -22,255    | 1,886     |           |
| 58   | ABK                        |             |                |             |             | 20,600      | 35,650            | 0,165   | 9,710  | 734,390                      | 3,399      | 200,026   |           |
| 59   | Muatan Batubara            |             |                |             |             | 7700,000    | -1,050            | 0,000   | 9,240  | -8085,000                    | 0,000      | 71148,000 |           |
|  |                            |             |                |             | Displasemen | 9755,000    |                   |         |        | JUMLAH =                     | -12229,039 | 308,999   | 79266,043 |
|  |                            |             |                |             |             |             |                   |         |        | TITIK BERAT TERHADAP MIDSHIP |            |           |           |
|  |                            |             |                |             |             |             |                   |         |        | X                            | Y          | Z         |           |
|  |                            |             |                |             |             |             |                   |         |        | -1,254                       | 0,000      | 8,126     |           |
|  |                            |             |                |             |             |             |                   |         |        | TITIK BERAT TERHADAP FP      |            |           |           |
|  |                            |             |                |             |             |             |                   |         |        | X                            | Y          | Z         |           |
|  |                            |             |                |             |             |             |                   |         |        | 45,909                       | 0,000      | 8,126     |           |

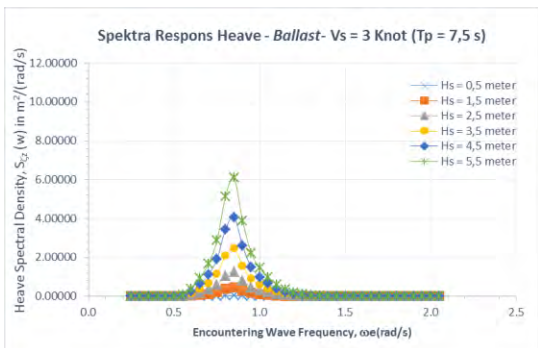
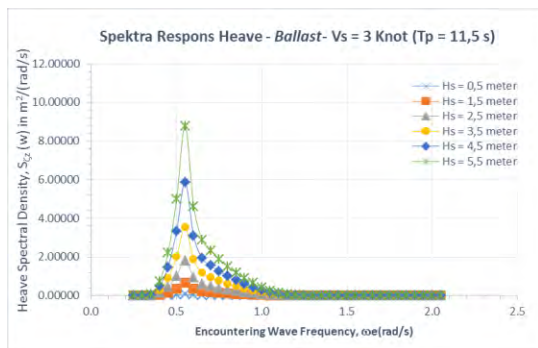
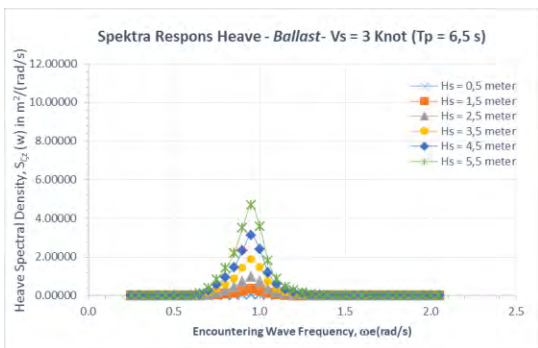
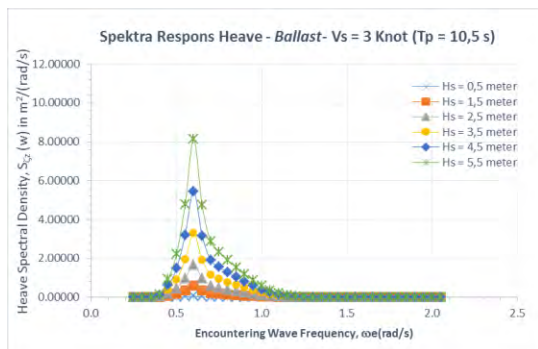
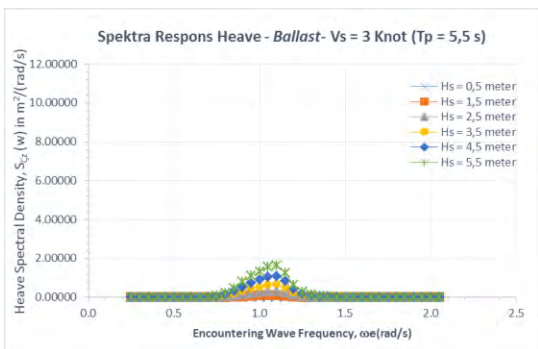
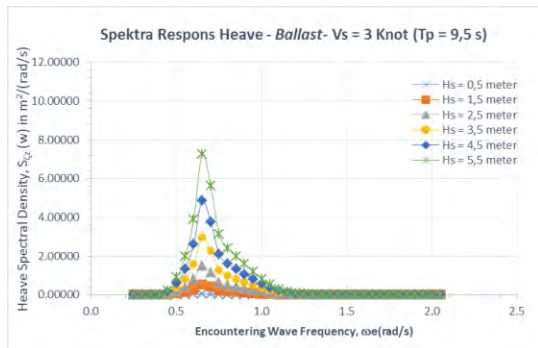
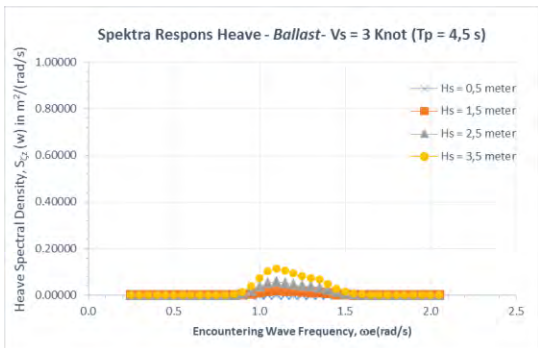
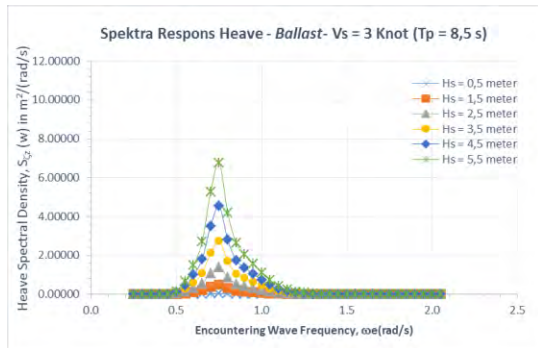
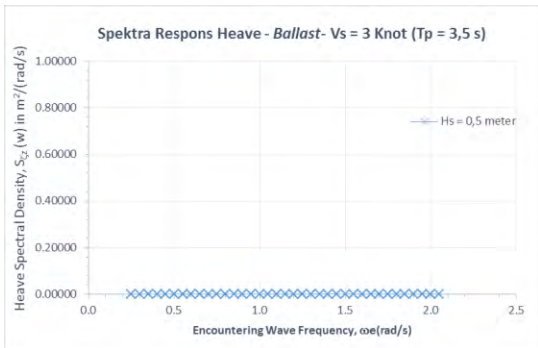




Spektra Respons Heave Ballast 0 knot

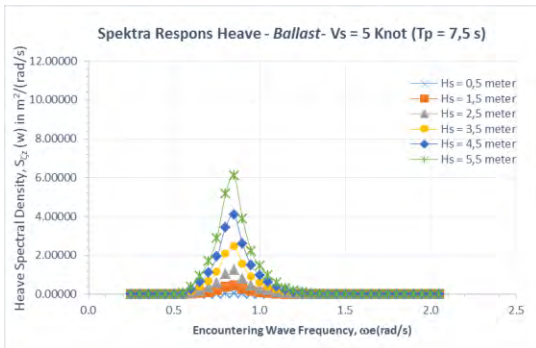
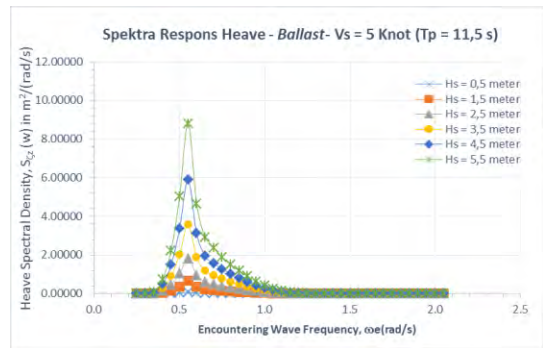
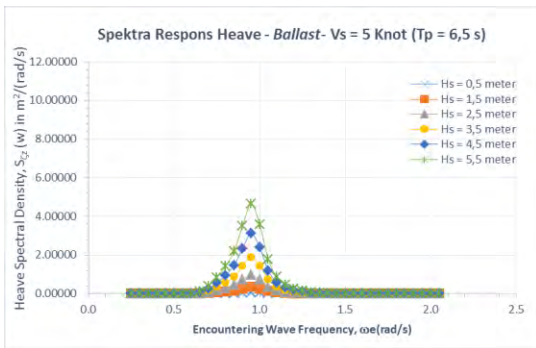
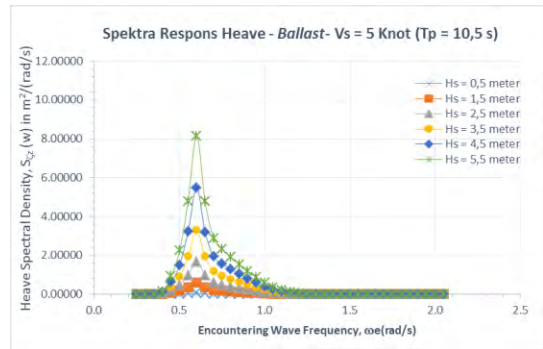
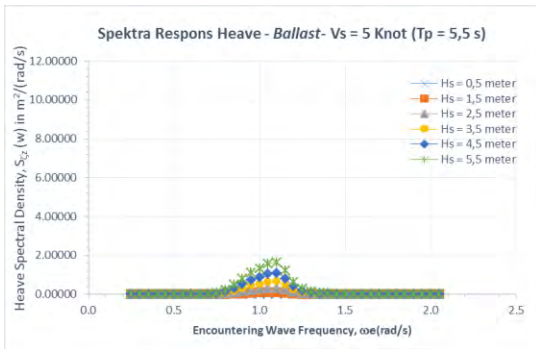
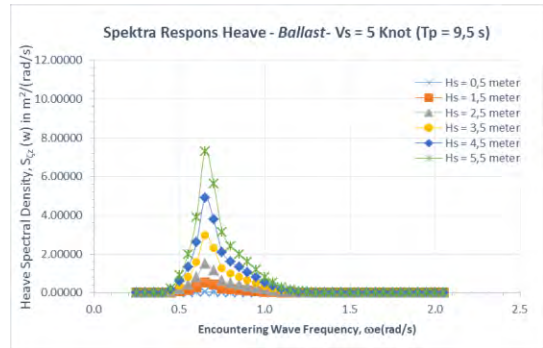
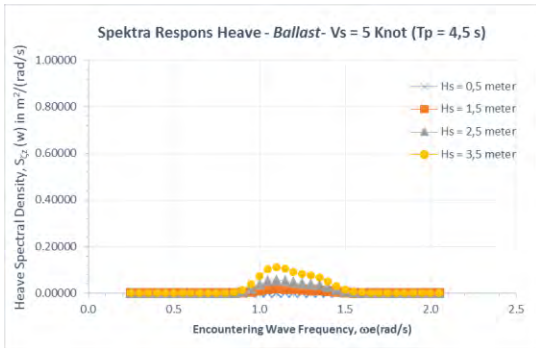
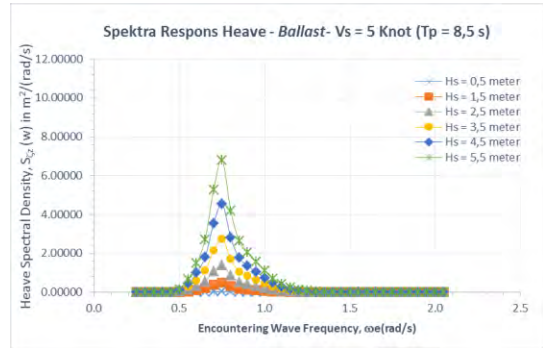
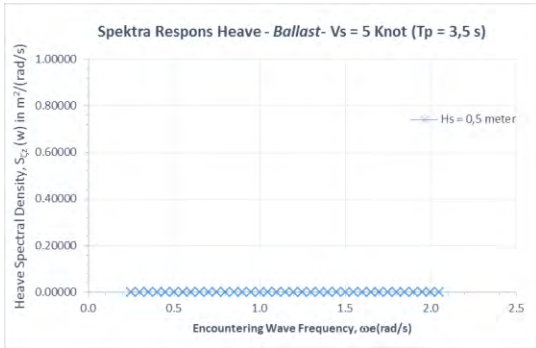


### Spektra Respons Heave Ballast 3 knot

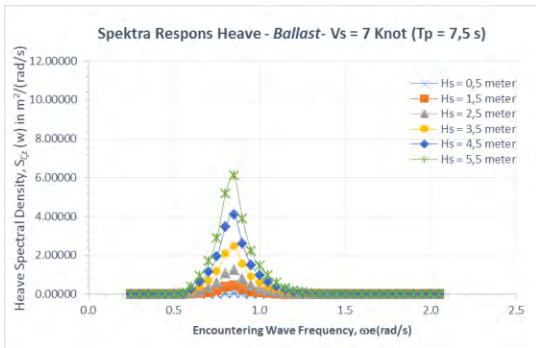
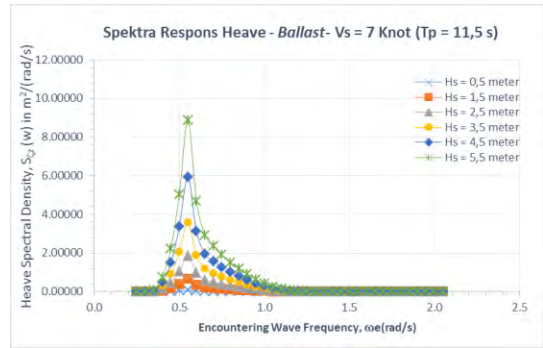
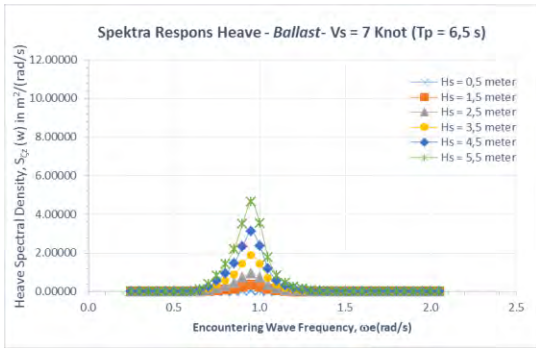
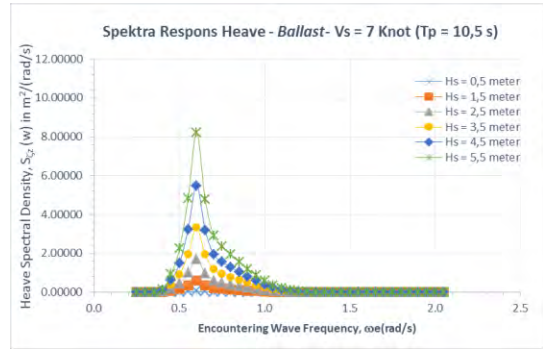
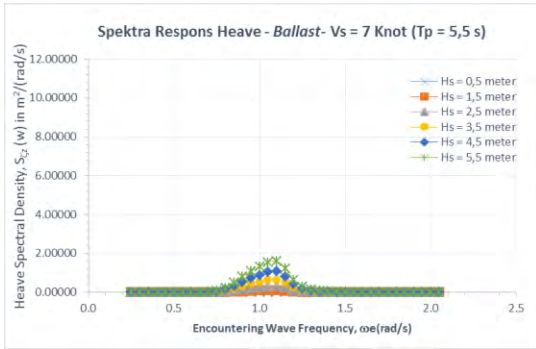
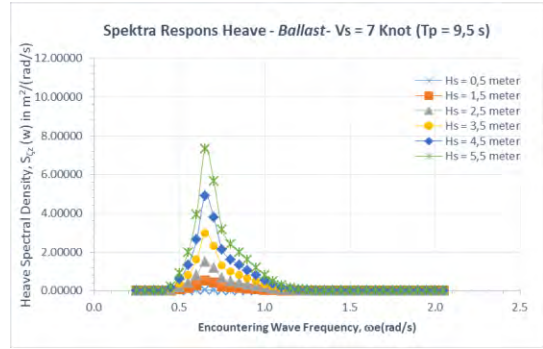
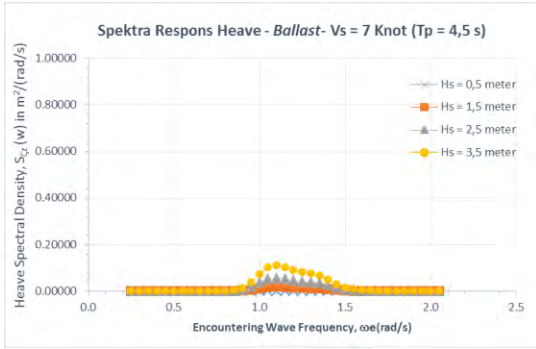
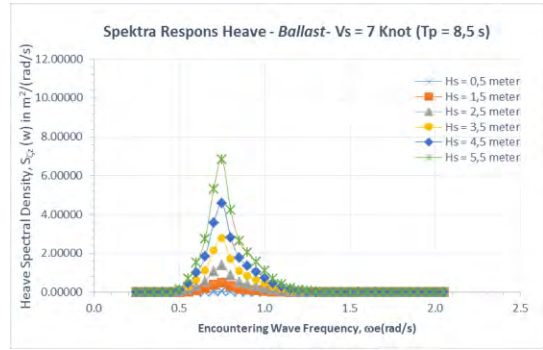
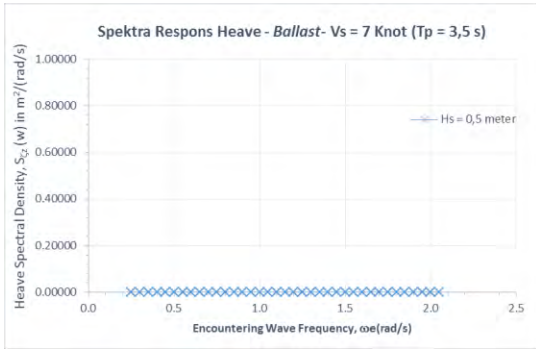




## Spektra Respons Heave Ballast 5 knot

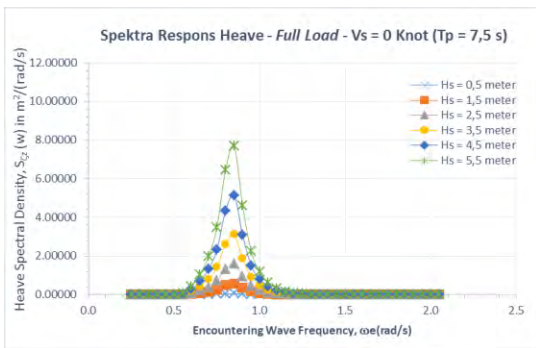
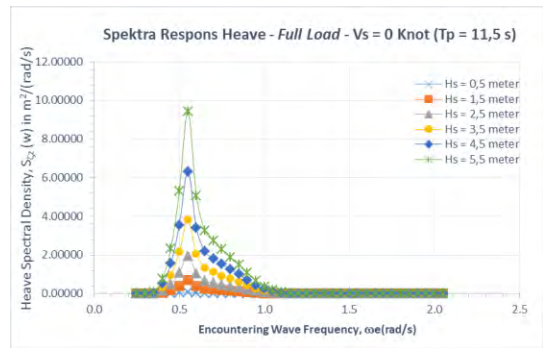
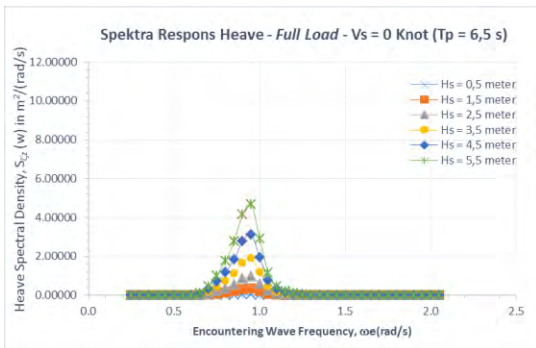
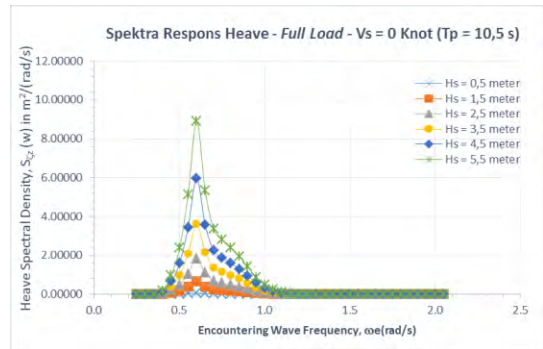
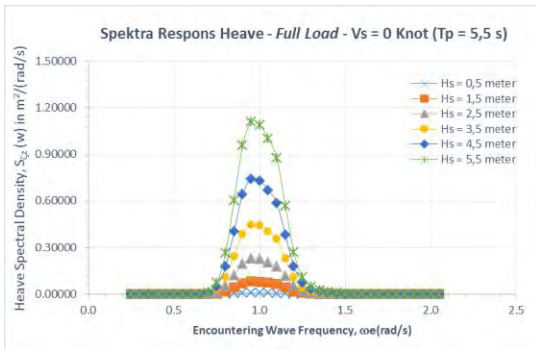
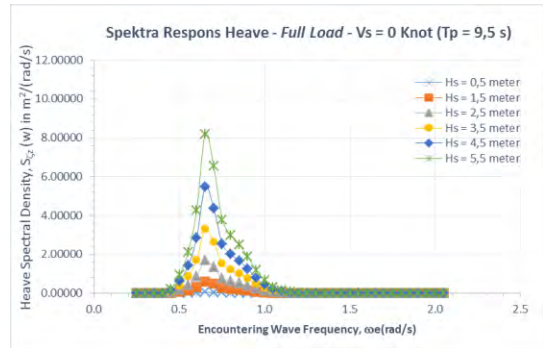
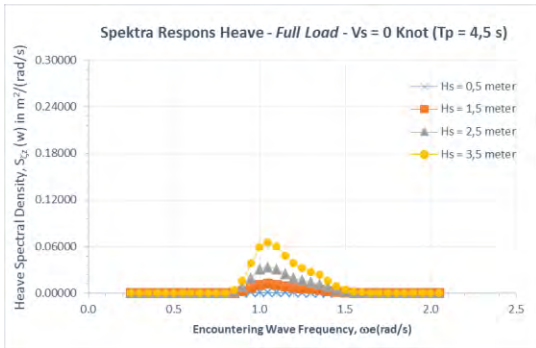
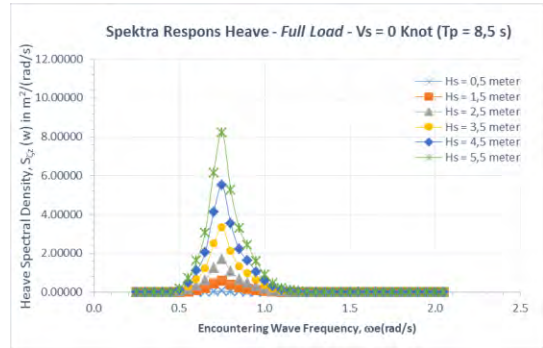
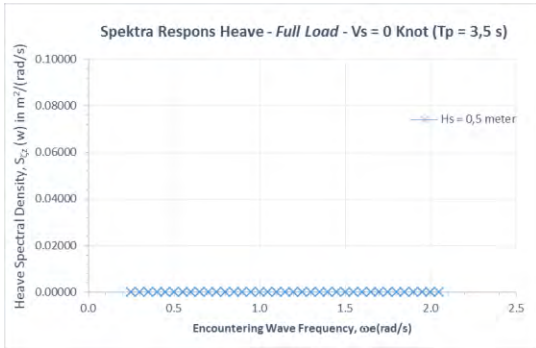


# Spektra Respons Heave Ballast 7 knot

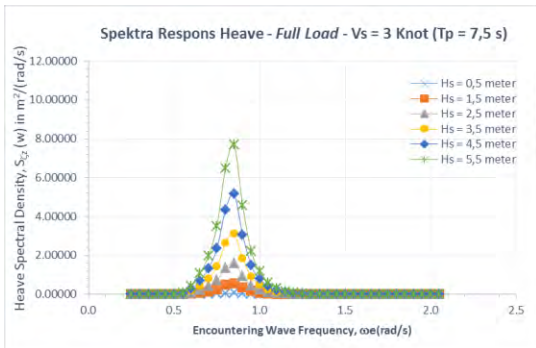
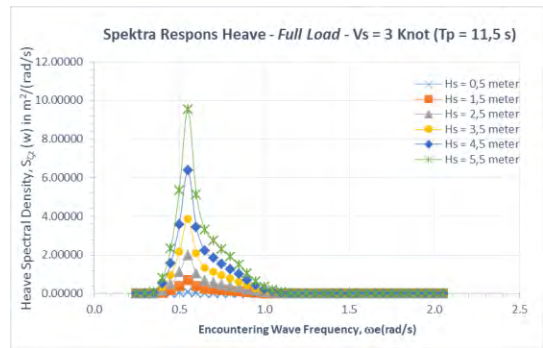
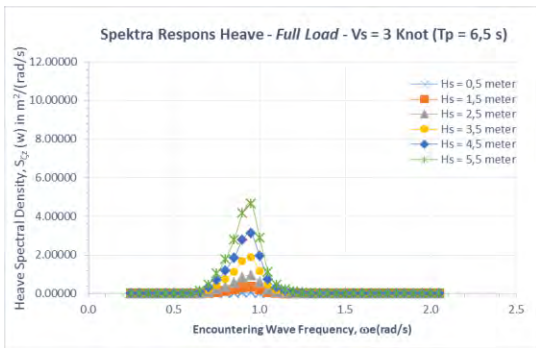
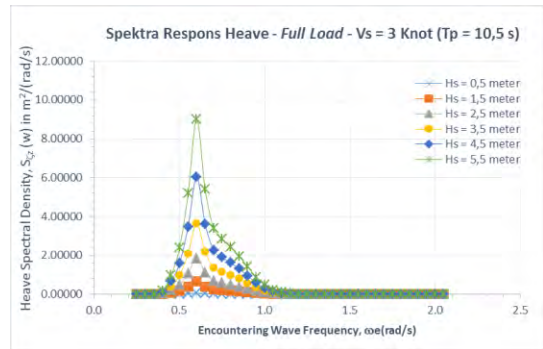
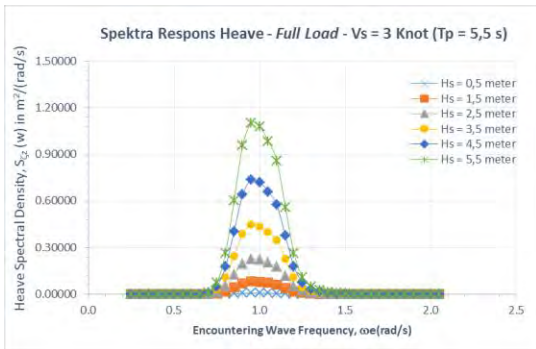
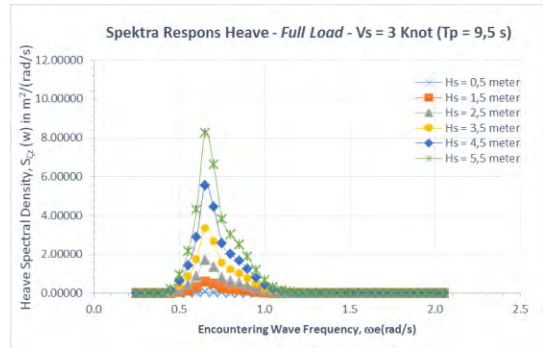
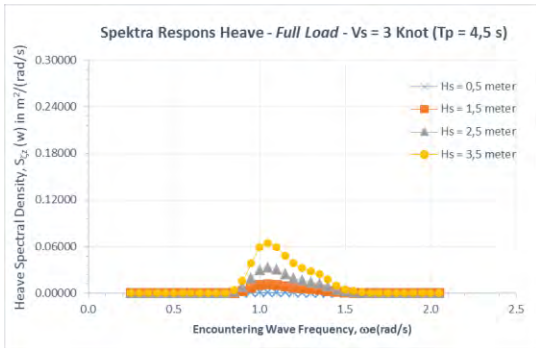
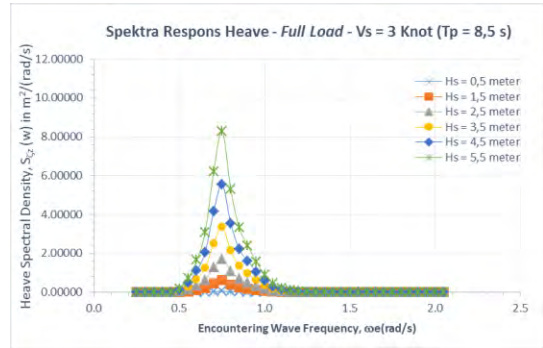
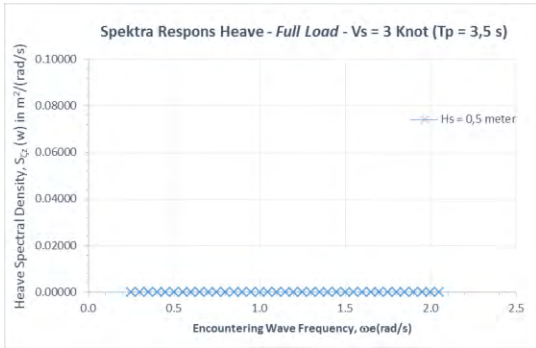




## Spektra Respos Heave Full Load 0 knot

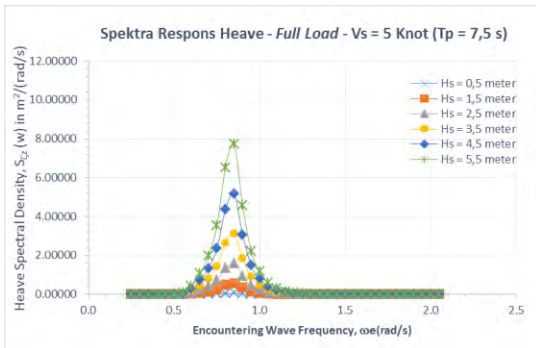
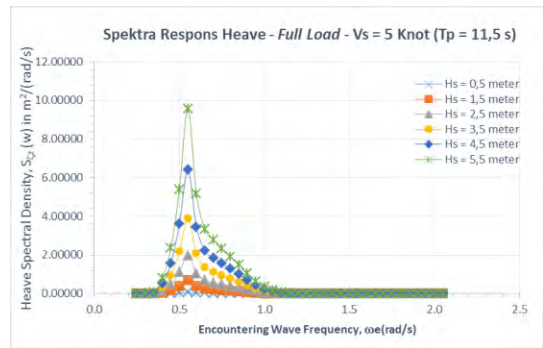
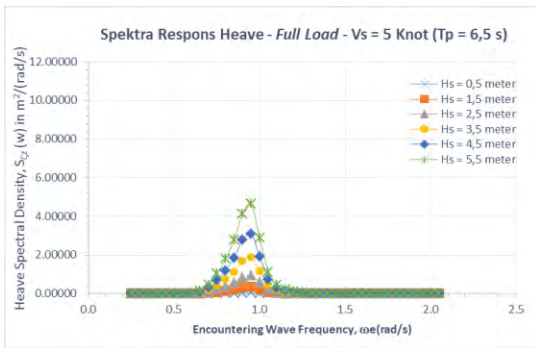
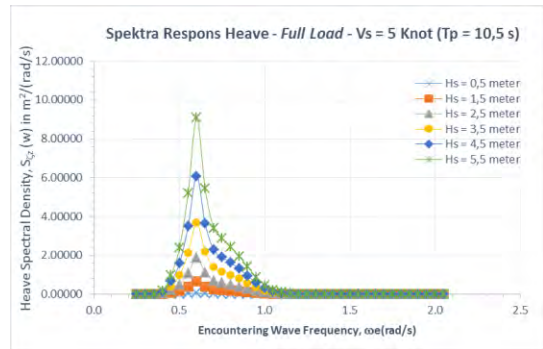
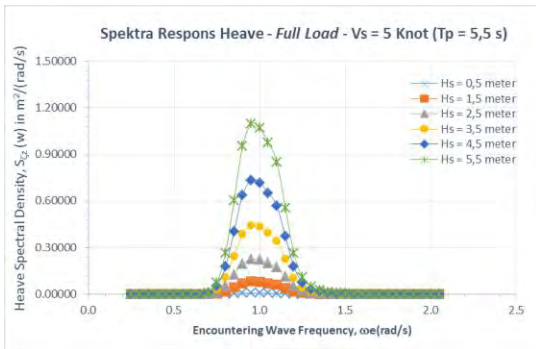
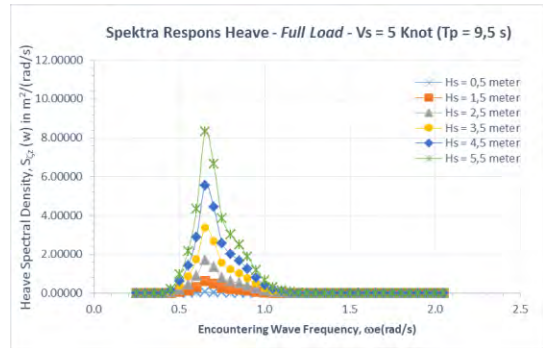
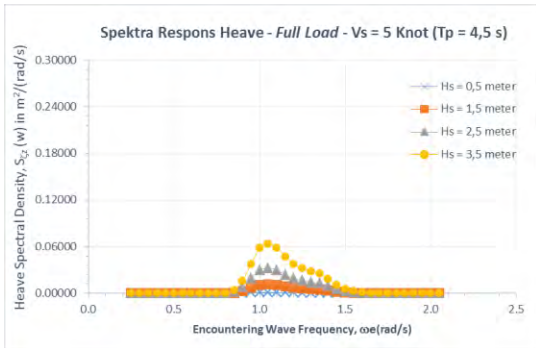
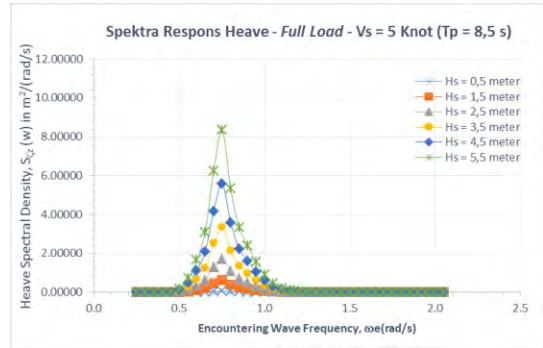
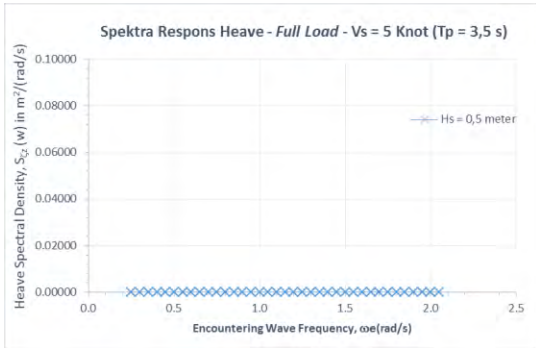


## Spektra Respos Heave Full Load 3 knot

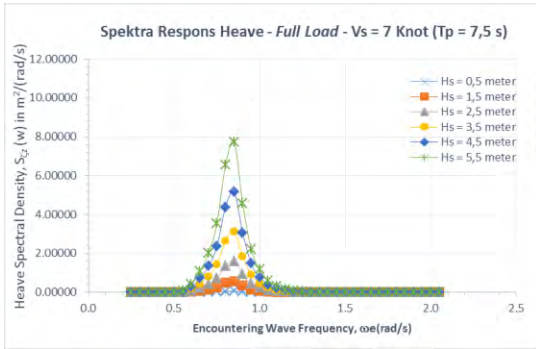
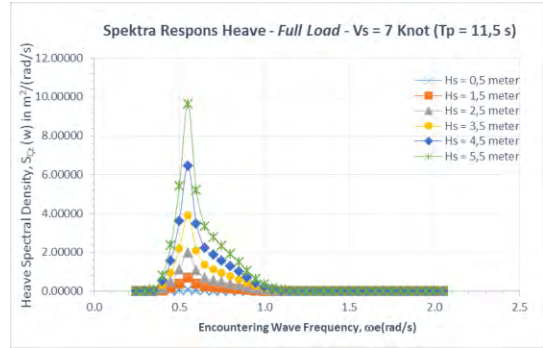
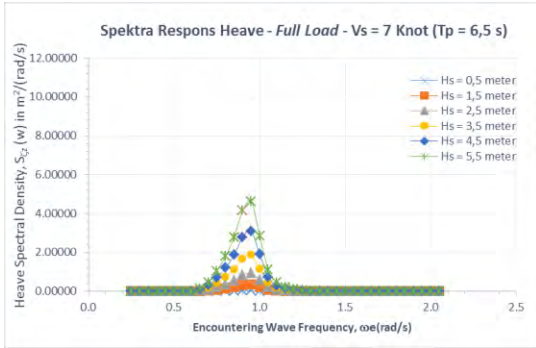
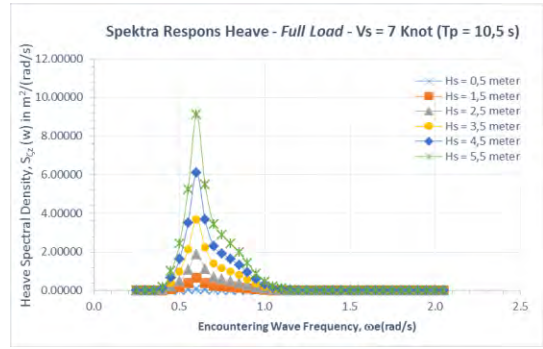
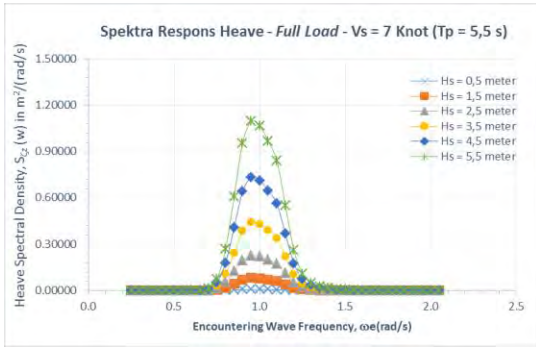
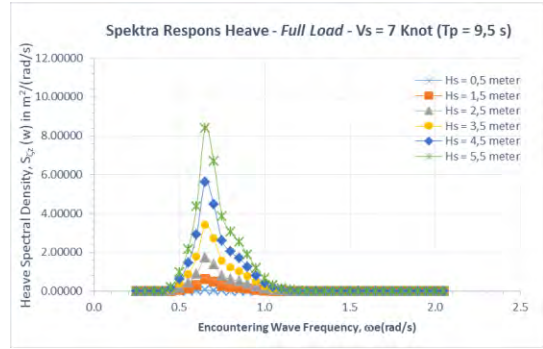
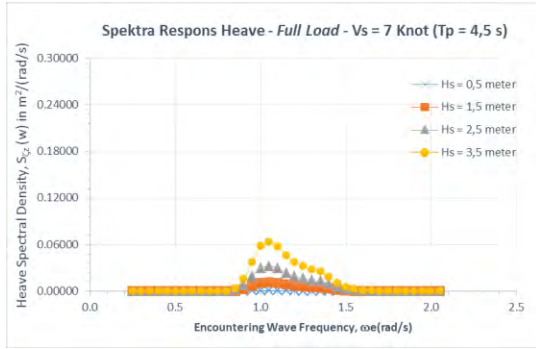
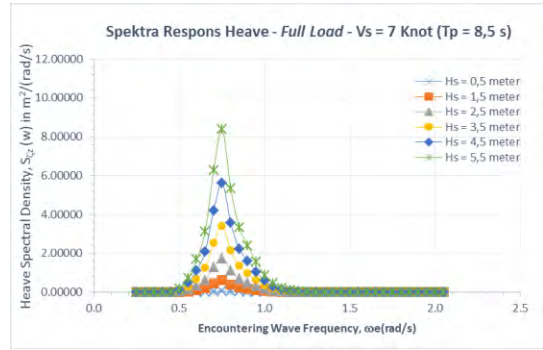
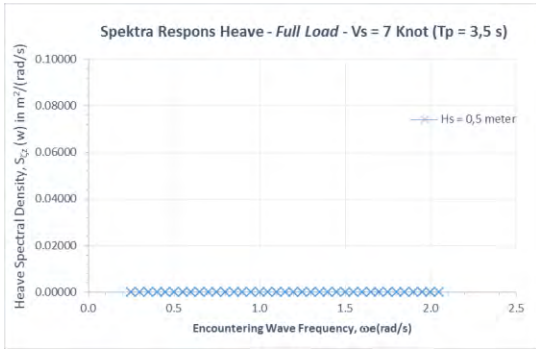




## Spektra Respos Heave Full Load 5 knot

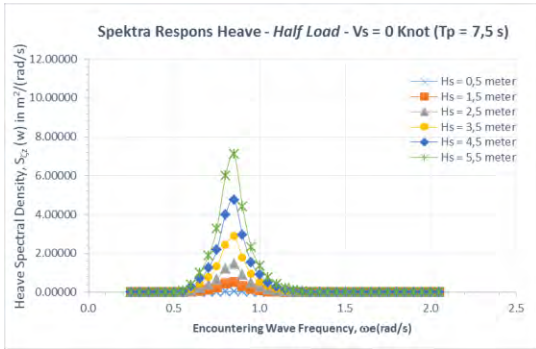
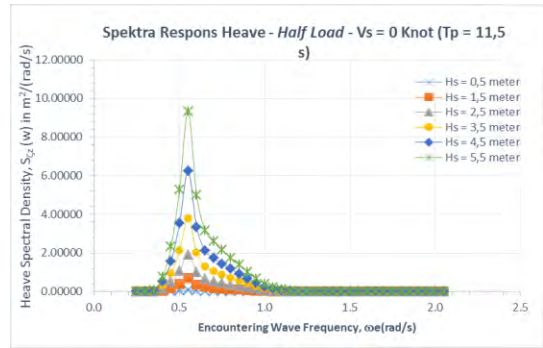
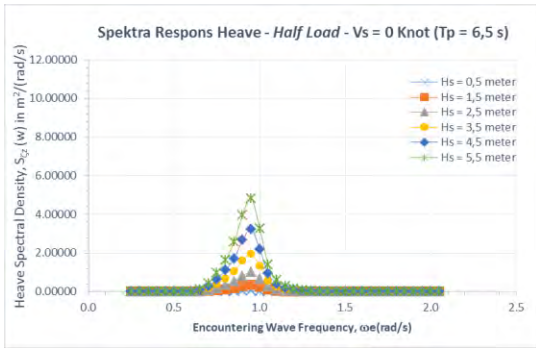
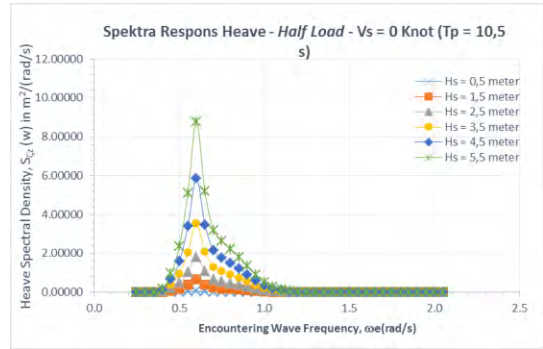
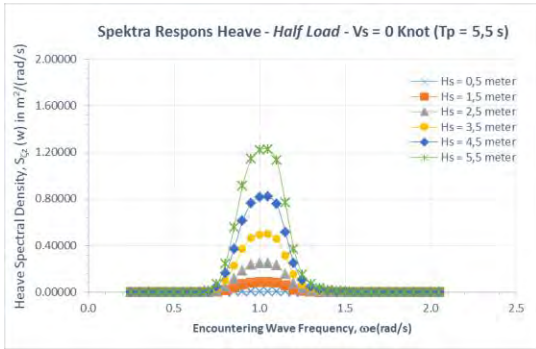
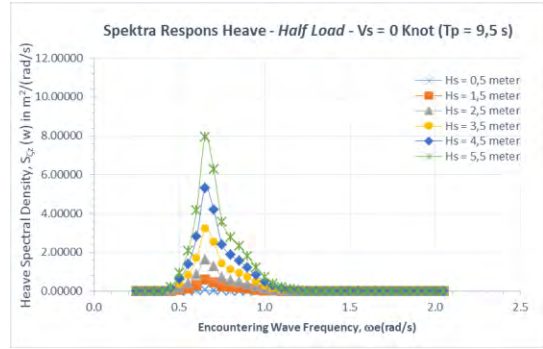
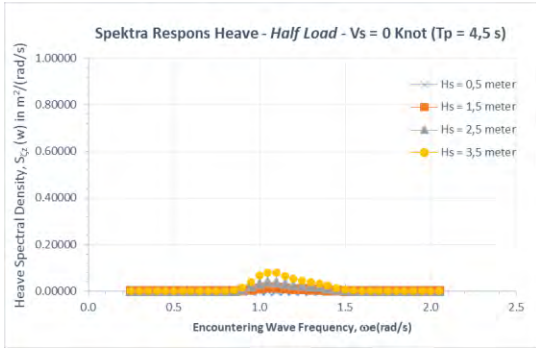
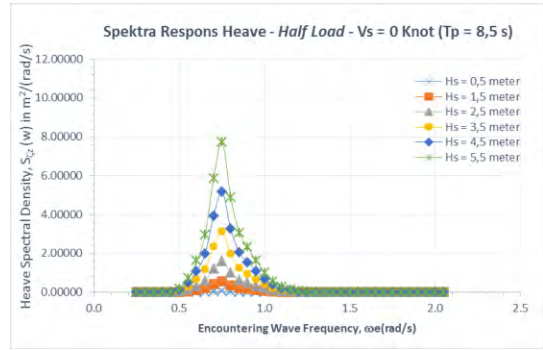
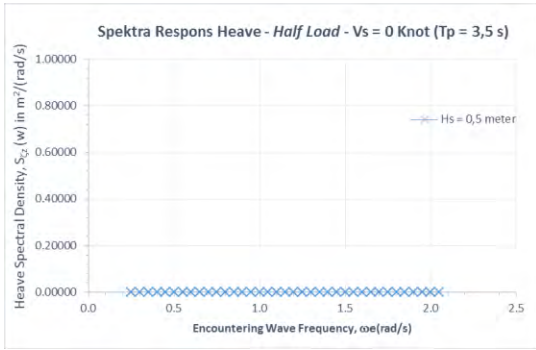


## Spektra Respos Heave Full Load 7 knot

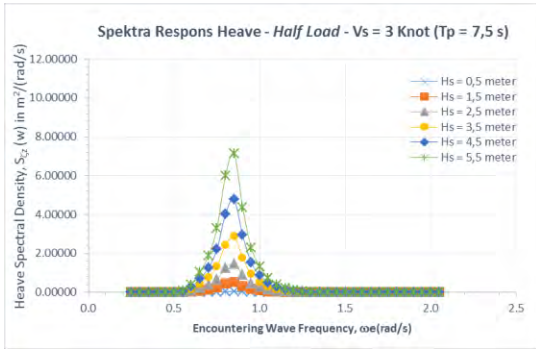
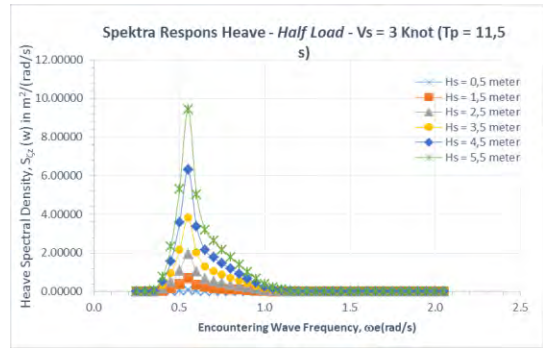
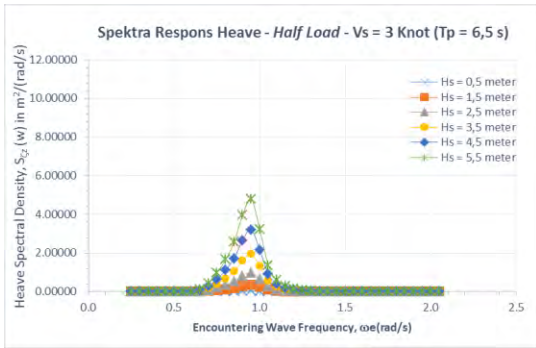
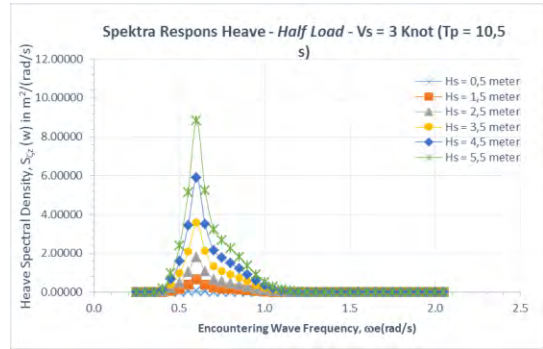
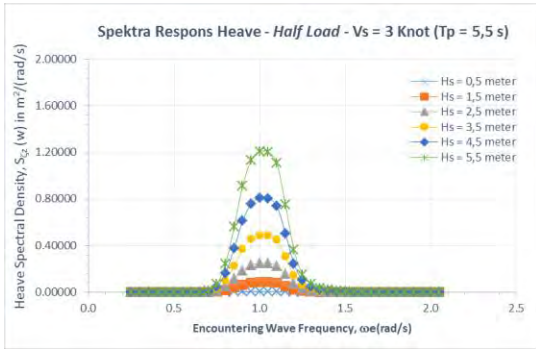
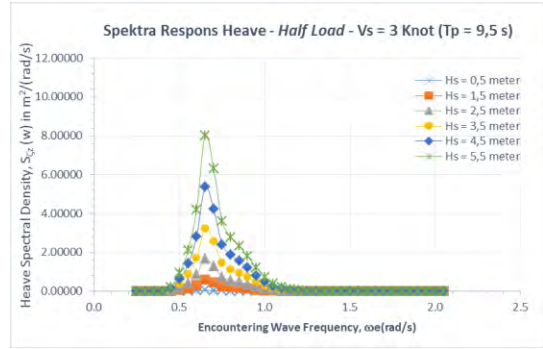
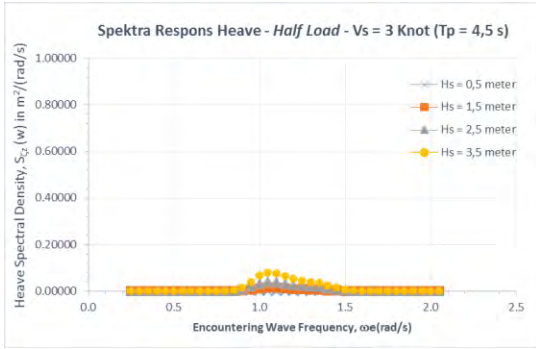
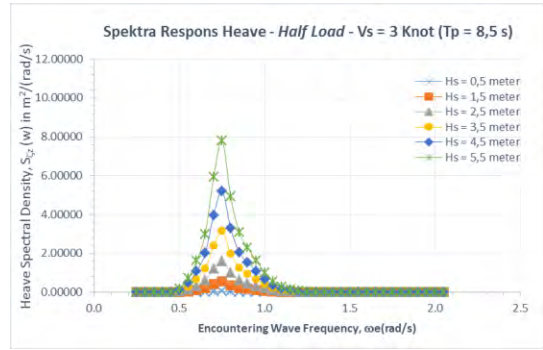
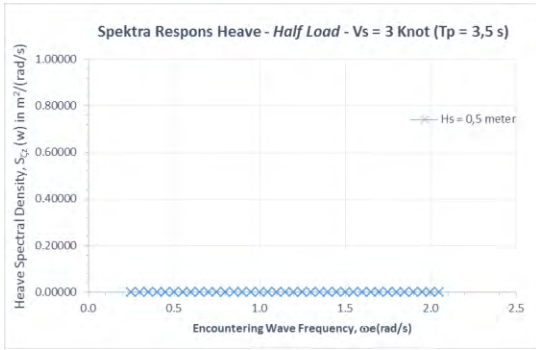




# Spektra Respos Heave Half Load 0 knot

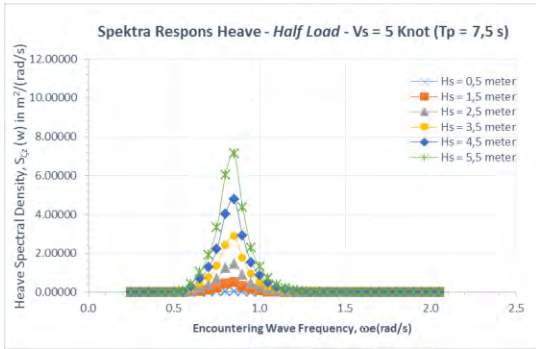
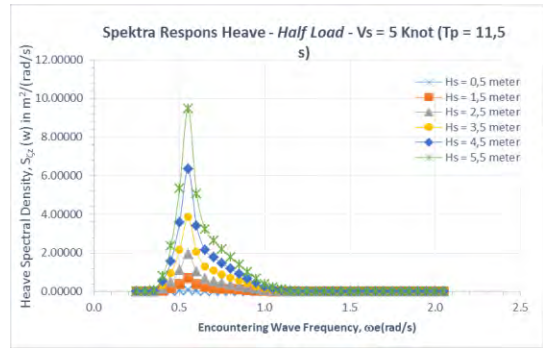
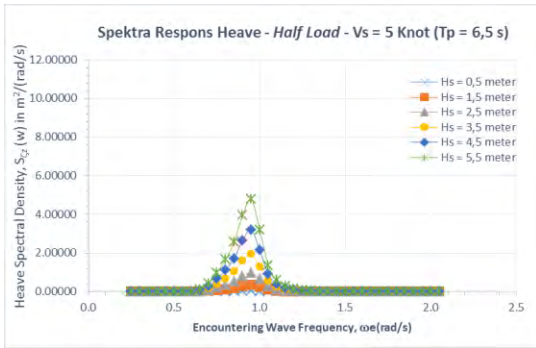
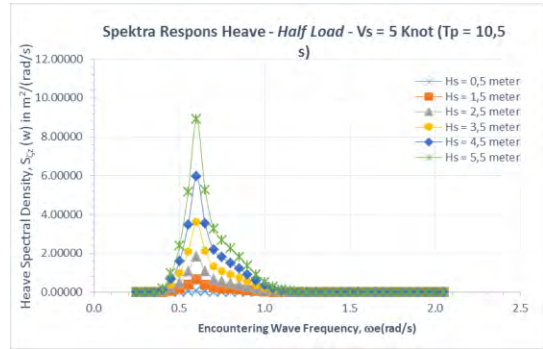
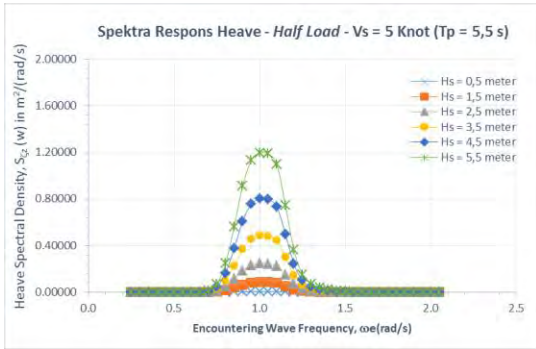
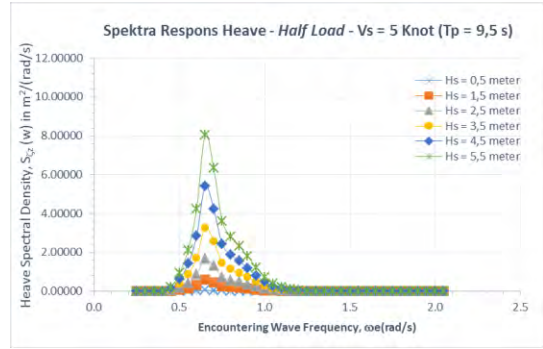
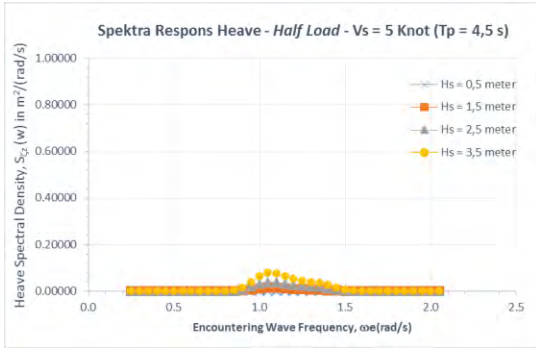
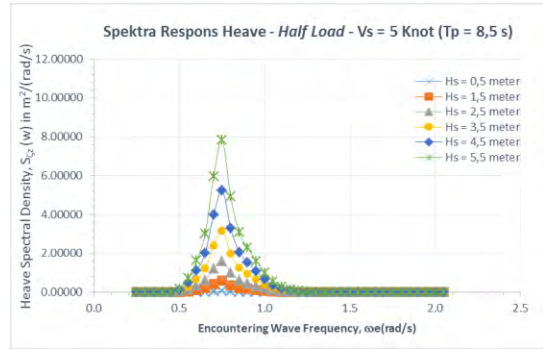
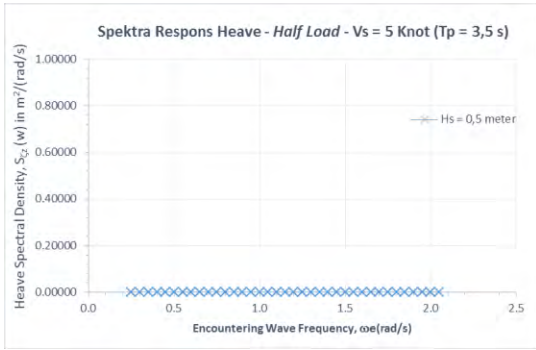


## Spektra Respos Heave Half Load 3 knot

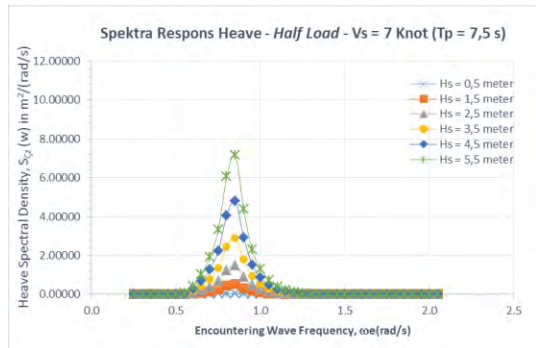
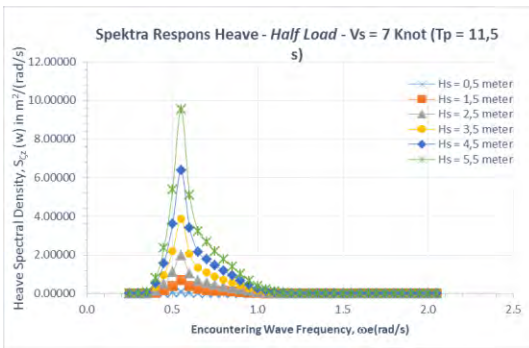
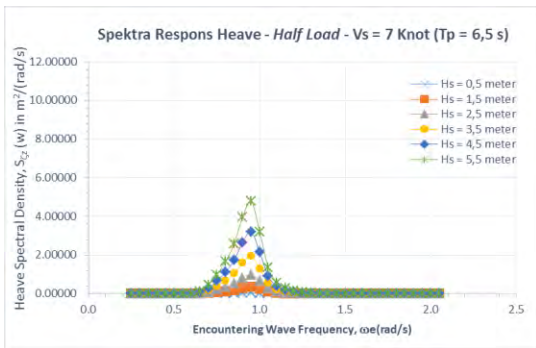
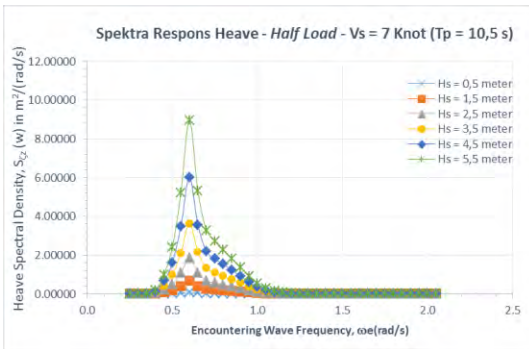
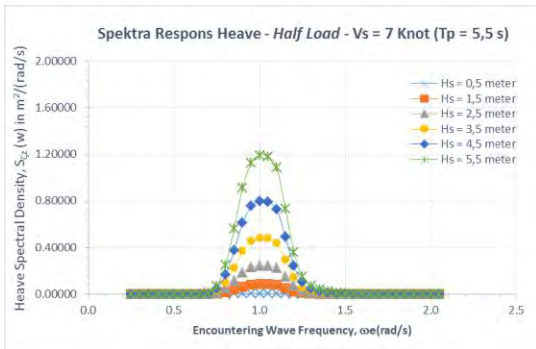
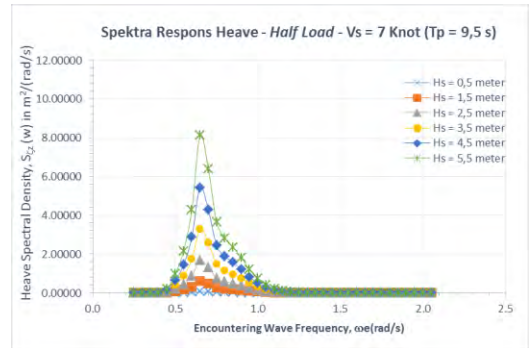
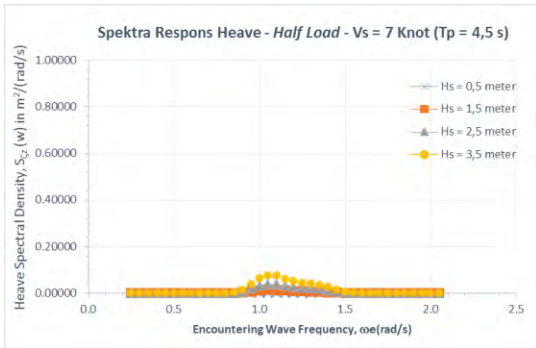
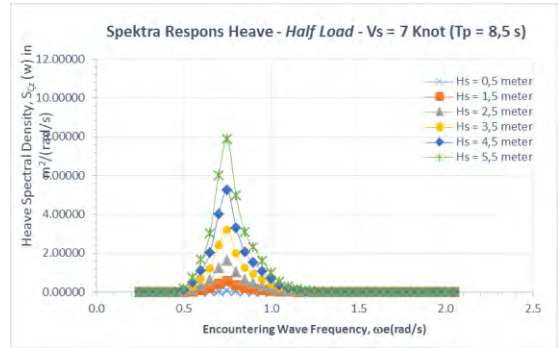
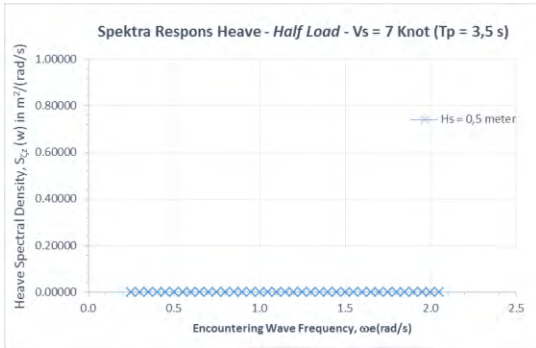




## Spektra Respos Heave Half Load 5 knot

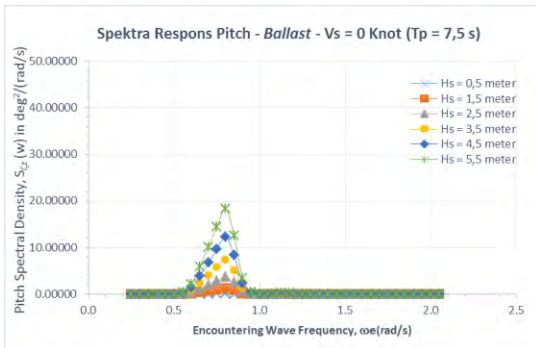
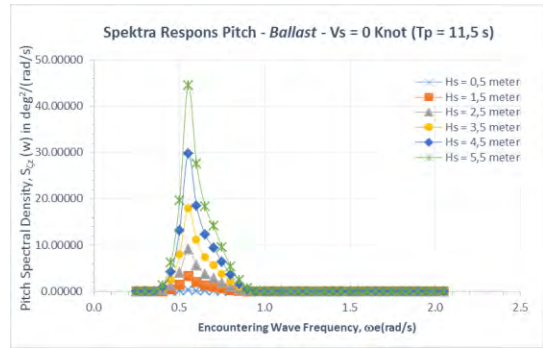
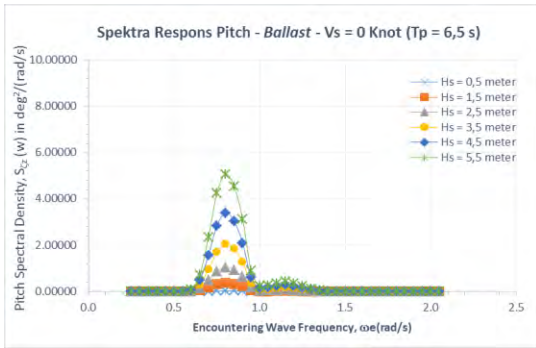
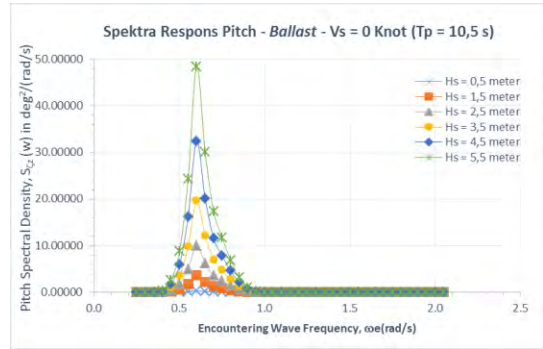
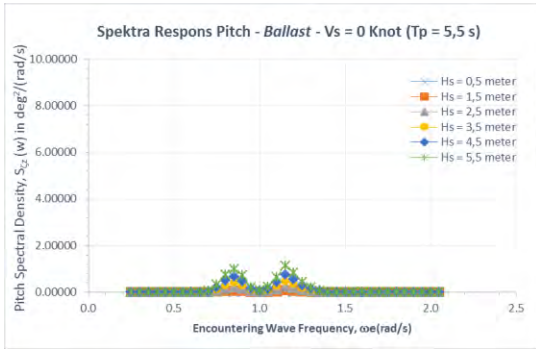
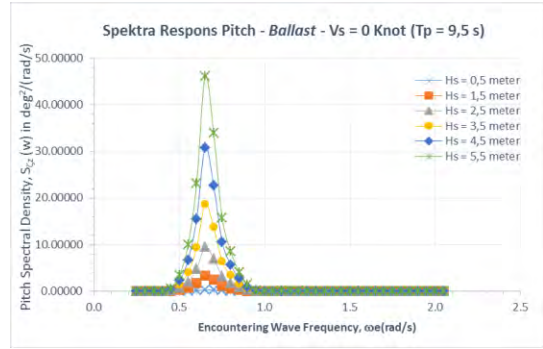
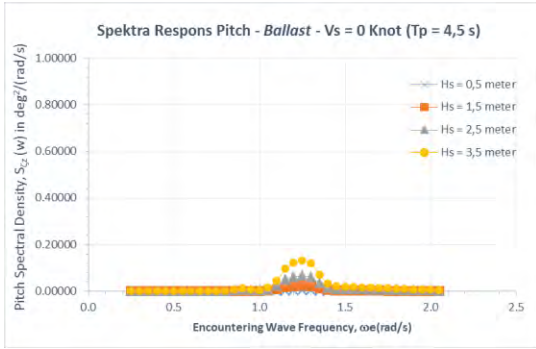
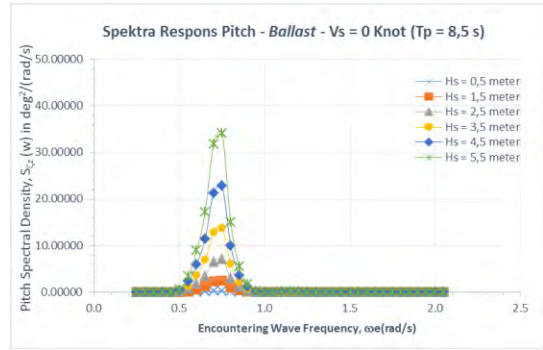
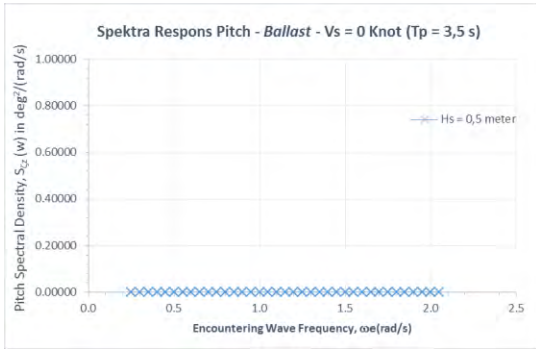


## Spektra Respos Heave Half Load 7 knot





## Spektra Respons Pitch Ballast 0 knot



# Spektra Respos Pitch Ballast 3 knot

