



TUGAS AKHIR (MO 1336)

**ANALISIS RESPON STRUKTUR MEMANJANG
AKIBAT BEBAN GELOMBANG PADA
SELF-PROPELLED COAL BARGE 8000 DWT
DENGAN PENDEKATAN QUASI-STATIS**

RAZIK MAULANA PAHLEVI

NRP 4310 100 042

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 1336)

*RESPONSE ANALYSIS OF STRUCTURES DUE
ELONGATED WAVE LOAD ON SELF-PROPELLED
COAL BARGE 8000 DWT WITH QUASI-STATIC
APPROACH*

RAZIK MAULANA PAHLEVI

NRP 4310 100 042

Supervisors

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

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2014



FINAL PROJECT (MO 1336)

*RESPONSE ANALYSIS OF STRUCTURES DUE
ELONGATED WAVE LOAD ON SELF-PROPELLED
COAL BARGE 8000 DWT WITH QUASI-STATIC
APPROACH*

RAZIK MAULANA PAHLEVI

NRP 4310 100 042

Supervisors

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

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2014

Analisis Respon Struktur Memanjang Akibat Beban Gelombang pada *Self-Propelled Coal Barge* 8000 DWT dengan Pendekatan Quasi-Statik

Nama Mahasiswa : RAZIK MAULANA PAHLEVI

NRP : 4310 100 042

Jurusan : Teknik Kelautan FTK – ITS

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

ABSTRAK

Dengan kemajuan teknologi sekarang ini, proses distribusi sumber daya alam pun tak luput dari perkembangan teknologi. *Self Propelled Coal Barge* (SPCB) atau tongkang batu bara bermesin penggerak sendiri adalah teknologi baru dalam distribusi batu bara antar pulau yang dimaksudkan dapat mengefisiensikan teknologi yang sudah ada yakni tongkang yang masih ditarik oleh kapal tunda (*tug boat*). Pada penelitian ini akan dikaji respon struktur memanjang akibat pengaruh dari beban gelombang yang mengenai SPCB. Variasi gelombang yang digunakan diambil dari analisis beban gelombang kurun waktu pendek, yakni pada tinggi gelombang 0.5 – 4.5 m dan kurun waktu panjang untuk 10 tahun, 20 tahun, serta 30 tahun sebesar masing-masing 6.2865 m, 6.4843 m dan 6.597 m pada arah datang gelombang dari arah *head seas* (180°). Pengerjaan penelitian ini menggunakan metodologi pendekatan quasi-statik untuk menghitung *shear force* dan *bending moment* yang terjadi pada struktur memanjang SPCB. Hasil analisis dari metode quasi-statik tersebut adalah berupa RAO *Shear Force* dan RAO *Bending Moment* pada bagian-bagian SPCB. Pada perhitungan analisis beban gelombang kurun waktu pendek, nilai *shear force* dan *bending moment* ekstrem berbanding lurus dengan tinggi gelombang yang terjadi. Berdasarkan analisis tersebut variasi tinggi gelombang berpengaruh signifikan terhadap besaran *shear force* dan *bending moment* yang terjadi. Nilai *shear force* terbesar semua terjadi pada bagian tengah SPCB, sebagai contoh pada $H_s=4.5\text{m}$ sebesar 116.4 MN. Sedangkan nilai *bending moment* terbesar juga semua terjadi pada bagian tengah SPCB, dengan nilai 1568.3 MN-m ketika $H_s=4.5\text{m}$. Pada perhitungan analisis beban gelombang kurun waktu panjang, nilai *shear force* ekstrem terbesar semua juga terjadi pada bagian tengah SPCB yakni 170.37 MN ketika $H_s=6.597\text{m}$. Dan *bending moment* ekstrem terbesar terjadi pada bagian tengah SPCB dengan hasil 2001.11 MN-m ketika $H_s=6.597\text{m}$.

Kata Kunci— Beban gelombang, SPCB, respon struktur global, *shear force*, *bending moment*

Response Analysis of Structures due Elongated Wave Load on Self-Propelled Coal Barge 8000 DWT with Quasi-Static Approach

Name : RAZIK MAULANA PAHLEVI
Reg. : 4310 100 042
Majoring : Ocean Engineering Department, FTK - ITS
Supervisors : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M. Sc., Ph. D
Ir. Mas Murtedjo, M. Eng

ABSTRACT

With the advancement of today's technology, natural resource distribution process did not escape from technological development. Self Propelled Coal Barge (SPCB) or coal barge with propulsion engine itself is a new technology in the distribution of coal intended inter-island which can streamline existing technologies that are still barge towed by a tugboat (tug boat). In this study, the response will be assessed elongated structure due to the influence of the wave loads on the SPCB. Variation waves used are taken from the analysis of the burden of short-period waves, ie, the wave height of 0.5 - 4.5 m and the length of the period to 10 years, 20 years, and 30 years for each 6.2865 m, 6.4843 m and 6.597 m in the direction coming wave from the direction of head seas (180°). The execution of this study is using the methodology of quasi-static approach. It is used to calculate the shear force and bending moment that occurs in elongated structures SPCB. The result of the analysis of the quasi-static method is that there is RAO Shear Force and Bending Moment on parts SPCB. In the calculation of wave load analysis of short period, the value of shear force and bending moment is directly proportional to the height of extreme waves occur. Based on the analysis of wave height variations significantly influence the magnitude of the shear force and bending moment occurs. Largest shear force values all occur in the middle of the SPCB, for example at $H_s = 4.5\text{m}$ at 116.4 MN. While the largest value of bending moment also all happened in the middle of the SPCB, with a value of 1568.3 MN-m when $H_s = 4.5\text{m}$. In the calculation of wave load analysis period length, the value of all the biggest extreme shear force also occurs in the middle of the SPCB 170.37 MN when $H_s = 6.597\text{m}$. And the most extreme bending moment occurs at the center of the SPCB to 2001.11 MN-m results when $H_s = 6.597\text{m}$.

Keyword- *Wave loads, SPCB, the global structural response, shear force, bending moment*

**ANALISIS RESPON STRUKTUR MEMANJANG AKIBAT
BEBAN GELOMBANG PADA *SELF-PROPELLED COAL*
BARGE 8000 DWT DENGAN PENDEKATAN QUASI-STATIS**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Progran Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Razik Maulana Pahlevi

NRP. 4310 100 042

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M. Sc., Ph. D. (Pembimbing 1)
2. Ir. Mas Murtedjo, M. Eng. (Pembimbing 2)

SURABAYA, AGUSTUS 2014

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah robbil 'alamiin puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah dan karunia-Nya. Khususnya karena penulis menyelesaikan penulisan tugas akhir yang berjudul “**Analisis Respon Struktur Memanjang Akibat Beban Gelombang pada *Self-Propelled Coal Barge* 8000 DWT dengan Pendekatan Quasi-Static**” dengan baik dan lancar.

Tugas akhir ini disusun sebagai sarana implementasi ilmu yang telah penulis dapat selama empat tahun menuntut ilmu di Jurusan Teknik Kelautan. Serta sebagai syarat kelulusan sebagai Studi Sarjana (S1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan nilai gaya geser dan momen lengkung ekstrem maksimum akibat beban gelombang pada objek berupa tongkang batu bara berpengerak dengan pendekatan metode quasi-statis.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat penulis harapkan sebagai bahan penyempurnaan laporan selanjutnya. Penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang hidrodinamika serta bagi pembaca.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, Agustus 2014

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Sesungguhnya banyak sekali pihak yang telah memberi kontribusi pada proses penyelesaian tugas akhir ini. Kontribusi berupa dorongan moral maupun materi dari banyak pihak baik secara langsung maupun tidak langsung sangat berharga dan bermakna. Untuk itu penulis sangat berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

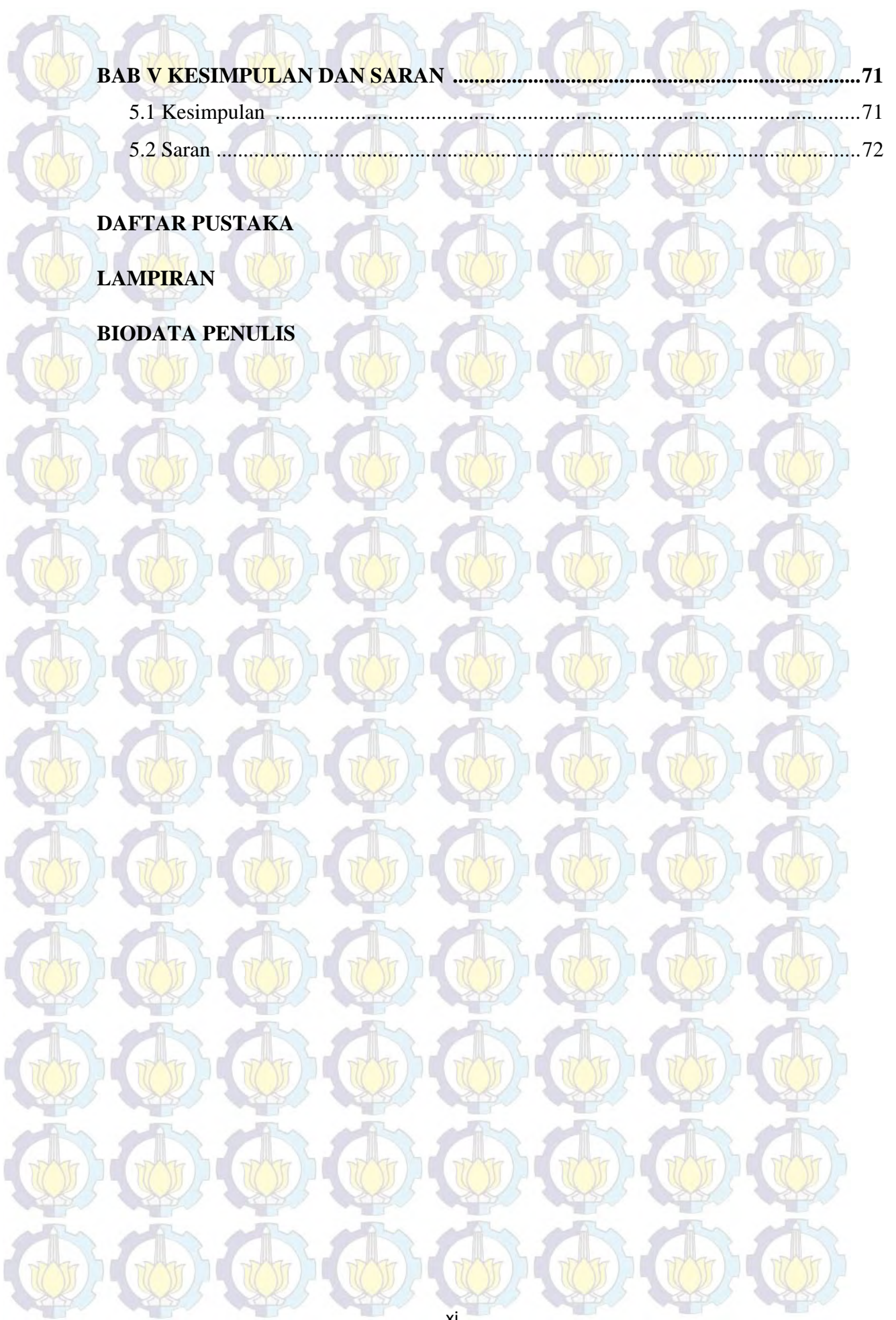
1. Allah SWT Tuhan Yang Maha Kuasa yang telah memberikan segala nikmat-Nya kepada penulis.
2. Kedua orang tua penulis yaitu bapak dan ibu beserta adik-adik untuk segala dukungan berupa doa, kasih sayang, perhatian, kepercayaan, kesabaran, dan cinta yang telah diberikan selama ini.
3. Kedua Dosen Pembimbing tugas akhir penulis yaitu Bapak Eko Budi Djatmiko dan Bapak Mas Murtedjo, saya berterima kasih sebesar-besarnya atas pengetahuan dan bimbingannya selama ini.
4. Teman-teman Teknik Kelautan FTK-ITS angkatan 2010 Megalodon yang selalu menemani dalam suka dan duka selama 4 tahun masa kuliah.
5. Keluarga Laboratorium Hidrodinamika juga Keluarga besar Laboratorium Operasional, Riset, dan Perancangan yang telah memberikan motivasi, dukungan, dan rasa kebersamaan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
6. Bapak dan ibu dosen beserta karyawan Jurusan Teknik Kelautan atas semua bimbingan dan ilmu yang diberikannya. Semoga bimbingan yang Bapak Ibu berikan dicatat sebagai mendapat balasan pahala dari Allah SWT.
7. Pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis berharap tugas akhir ini mampu memberikan manfaat bagi pembacanya. Penulis juga dengan senang hati menerima kritik dan saran yang membangun bagi tugas akhir ini.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Dasar Teori.....	9
2.2.1 Self Propelled Coal Barge	9
2.2.2 Gerakan Struktur Bangunan Apung Akibat Eksitasi Gelombang.....	10
2.2.2.1 Gerakan <i>Heave</i>	11
2.2.2.2 Gerakan <i>Pitch</i>	13
2.2.3 Beban Gelombang.....	16
2.2.4 Spektrum Energi Gelombang	18
2.2.5 Response Amplitude Operator	19
2.2.6 Respon Spektra	19
2.2.7 Kekuatan Memanjang Kapal.....	20
2.2.8 Gaya Geser (<i>Shear Force</i>) dan Momen Lengkung (<i>Bending Moment</i>) akibat Beban Gelombang	22

2.2.9	Prosedur Perhitungan Gaya Geser (<i>Shear Force</i>) dan Momen Lengkung (<i>Bending Moment</i>) Pendekatan Quasistatis	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		27
3.1	Metode Penelitian	27
3.2	Prosedur Penelitian	28
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		41
4.1	Pemodelan <i>Self Propelled Coal Barge</i> (SPCB)	41
4.1.1	Pemodelan pada Software Maxsurf	41
4.1.2	Pemodelan pada Software Moses	42
4.1.3	Validasi Model Maxsurf-Moses	43
4.2	Analisis Beban Gelombang.....	43
4.2.1	Analisis Gelombang Kurun Waktu Pendek	44
4.2.2	Analisis Gelombang Kurun Waktu Panjang.....	44
4.3	Analisis Gerakan <i>Self Propelled Coal Barge</i> (SPCB)	46
4.3.1	Perhitungan Titik Berat <i>Self Propelled Coal Barge</i> (SPCB).....	47
4.3.2	Perhitungan Radius Girasi <i>Self Propelled Coal Barge</i> (SPCB).....	47
4.3.3	RAO Gerakan <i>Self Propelled Coal Barge</i> (SPCB) Odissei.....	48
4.4	Distribusi Beban.....	49
4.5	Analisa Gaya Geser dan Momen Lengkung (<i>Shear Force & Bending Moment</i>) pada Gelombang Reguler.....	51
4.6	Analisa Gaya Geser dan Momen Lengkung (<i>Shear Force & Bending Moment</i>) dengan Metode Quasi Statis akibat Gerak Heave dan Pitch.....	53
4.7	RAO <i>Shear Force</i> dan <i>Bending Moment</i>	62
4.8	Analisis Spektra Gelombang.....	65
4.9	Analisis Respon Struktur Ekstrem di Gelombang Acak.....	66
4.9.1	Analisis Respon Struktur Ekstrem pada Distribusi Gelombang Kurun Waktu Pendek.....	67
4.9.2	Analisis Respon Struktur Ekstrem pada Distribusi Gelombang Kurun Waktu Panjang.....	68



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 71

5.1 Kesimpulan 71

5.2 Saran 72

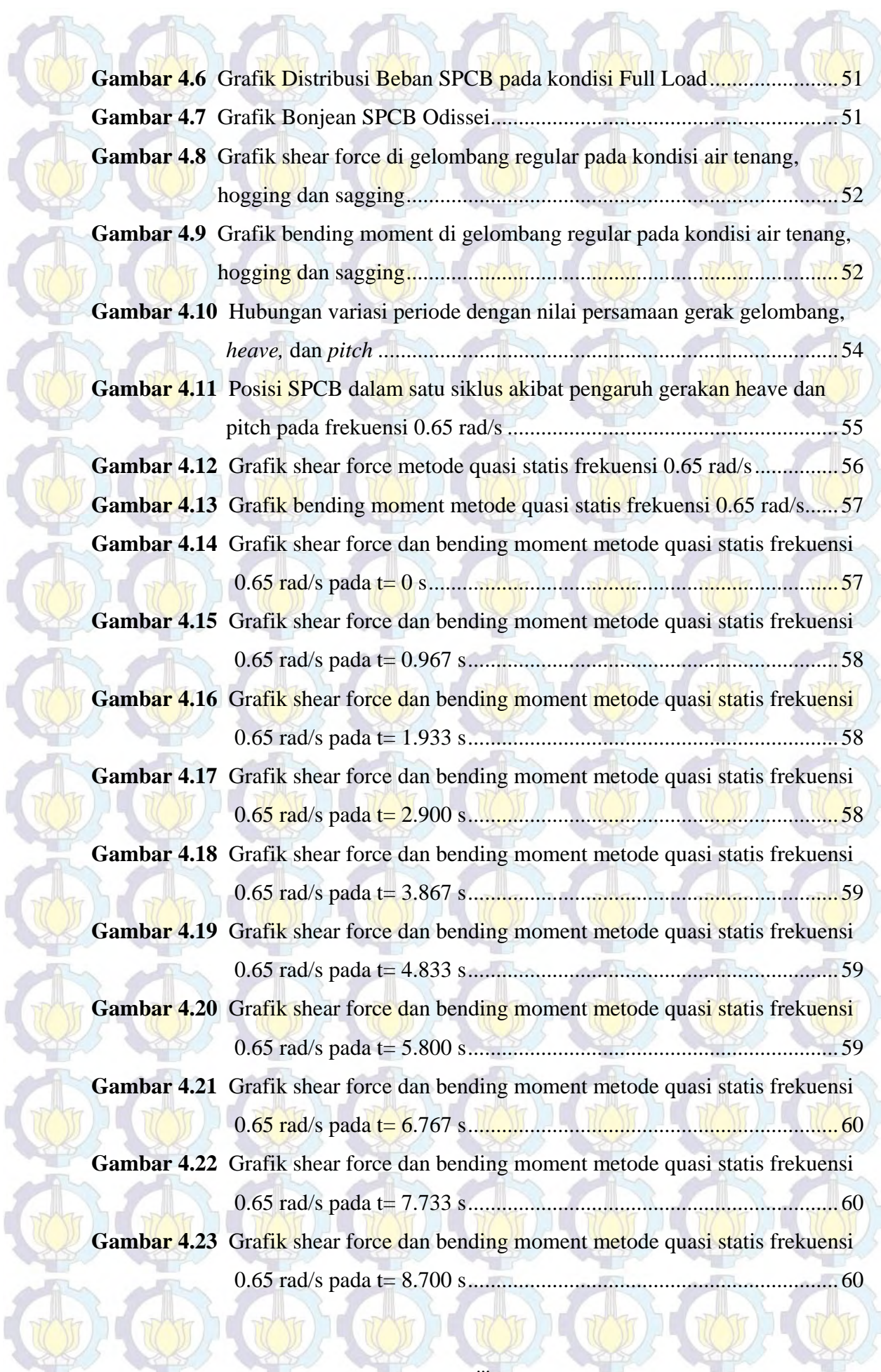
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

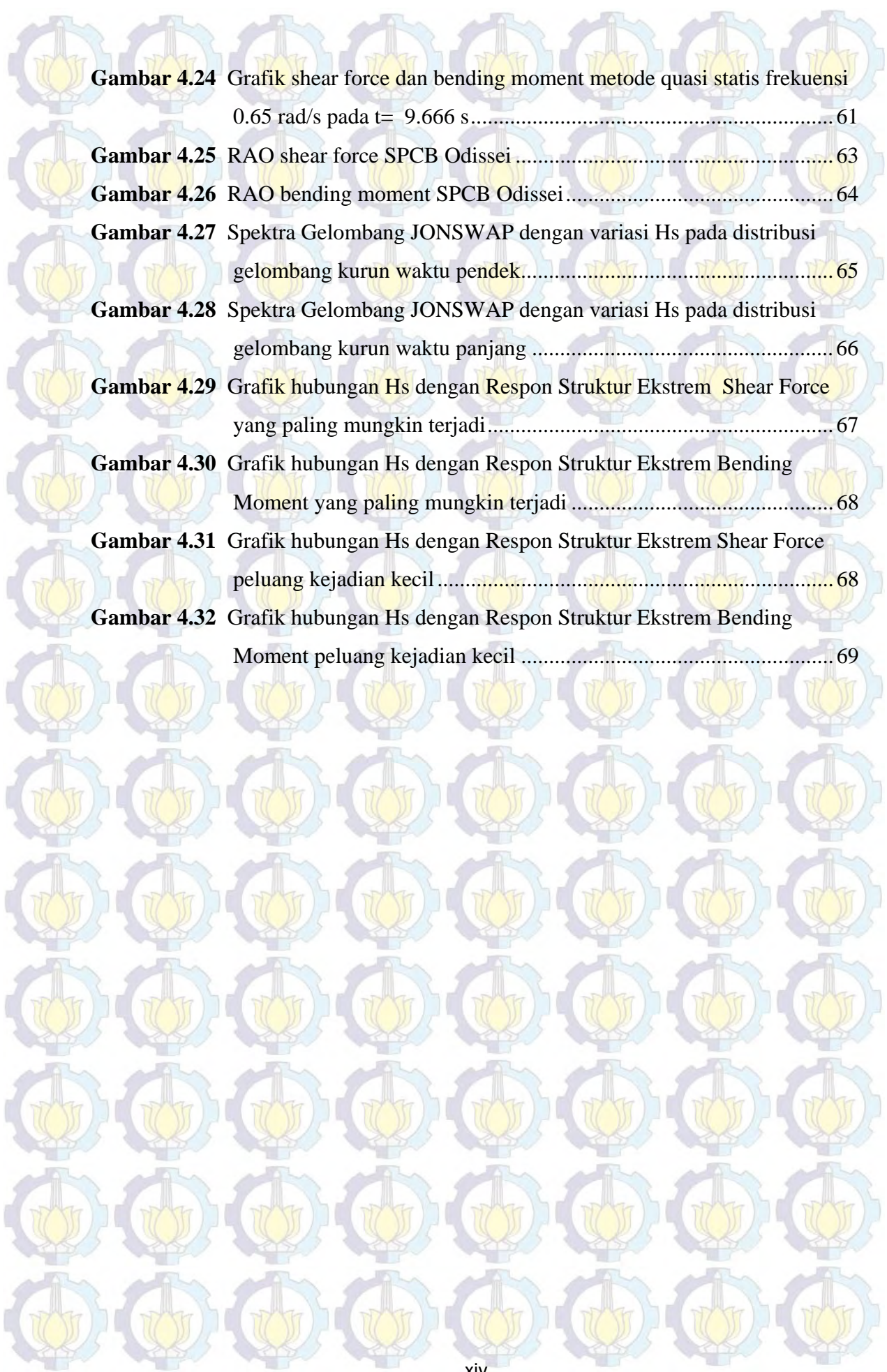
BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Potensi Penyebaran Batu Bara di Provinsi Kalimantan Tengah...	1
Gambar 1.2	<i>Self Propelled Coal Barge</i> yang sedang Beroperasi (kideco.com)	2
Gambar 2.1	<i>Self Propelled Coal Barge</i> 8000 dwt model (lpdl.com)	9
Gambar 2.2	Gerakan kapal dalam enam derajat kebebasan (Djutmiko, 2013)	10
Gambar 2.3	Ilustrasi Gerakan <i>Heave</i> Yunus, 2013).....	14
Gambar 2.4	Ilustrasi Gerakan <i>Pitch</i> (Yunus, 2013)	20
Gambar 2.5	Ilustrasi kondisi Hogging (Rawson and Tupper, 2001).....	20
Gambar 2.6	Ilustrasi kondisi Sagging (Rawson and Tupper, 2001)	21
Gambar 2.7	Faktor distribusi untuk F_1 (ABS, 2014).....	24
Gambar 2.8	Faktor distribusi untuk F_2 (ABS, 2014).....	24
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Penyelesaian Tugas Akhir	28
Gambar 3.2	General Arrangement Coal Carrier Barge 8000 DWT tampak atas (worldoils.com)	29
Gambar 3.3	General Arrangement Coal Carrier Barge 8000 DWT tampak samping (worldoils.com)	30
Gambar 3.4	General Arrangement Coal Carrier Barge 8000 DWT <i>Below Main Deck</i> (worldoils.com)	30
Gambar 3.5	General Arrangement Coal Carrier Barge 8000 DWT <i>2nd Deck & Forecastle Deck</i> (worldoils.com)	30
Gambar 3.6	Arah Pembebanan gelombang pada <i>self propelled coal barge</i>	31
Gambar 3.7	Pemodelan <i>Self Propelled Coal Barge</i> pada Maxsurf.....	32
Gambar 3.8	Pemodelan <i>Self Propelled Coal Barge</i> pada Moses	33
Gambar 3.9	General Arrangement SPCB Odissei.....	34
Gambar 3.10	Linesplan SPCB Odissei.....	35
Gambar 4.1	Hasil pemodelan SPCB Odissei pada Maxsurf	42
Gambar 4.2	SPCB Odissei hasil <i>output</i> MOSES	42
Gambar 4.3	Grafik korelasi antara tinggi gelombang dan distribusi kumulatif	45
Gambar 4.4	Grafik RAO gerakan <i>Heave</i> SPCB Odissei pada kondisi <i>full condition</i>	49
Gambar 4.5	Grafik RAO gerakan <i>Pitch</i> SPCB Odissei pada kondisi <i>full condition</i>	49



Gambar 4.6	Grafik Distribusi Beban SPCB pada kondisi Full Load.....	51
Gambar 4.7	Grafik Bonjean SPCB Odissei.....	51
Gambar 4.8	Grafik shear force di gelombang regular pada kondisi air tenang, hogging dan sagging.....	52
Gambar 4.9	Grafik bending moment di gelombang regular pada kondisi air tenang, hogging dan sagging.....	52
Gambar 4.10	Hubungan variasi periode dengan nilai persamaan gerak gelombang, <i>heave</i> , dan <i>pitch</i>	54
Gambar 4.11	Posisi SPCB dalam satu siklus akibat pengaruh gerakan <i>heave</i> dan <i>pitch</i> pada frekuensi 0.65 rad/s	55
Gambar 4.12	Grafik shear force metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s.....	56
Gambar 4.13	Grafik bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s.....	57
Gambar 4.14	Grafik shear force dan bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s pada $t= 0$ s.....	57
Gambar 4.15	Grafik shear force dan bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s pada $t= 0.967$ s	58
Gambar 4.16	Grafik shear force dan bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s pada $t= 1.933$ s.....	58
Gambar 4.17	Grafik shear force dan bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s pada $t= 2.900$ s.....	58
Gambar 4.18	Grafik shear force dan bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s pada $t= 3.867$ s.....	59
Gambar 4.19	Grafik shear force dan bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s pada $t= 4.833$ s.....	59
Gambar 4.20	Grafik shear force dan bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s pada $t= 5.800$ s.....	59
Gambar 4.21	Grafik shear force dan bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s pada $t= 6.767$ s.....	60
Gambar 4.22	Grafik shear force dan bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s pada $t= 7.733$ s	60
Gambar 4.23	Grafik shear force dan bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s pada $t= 8.700$ s.....	60



Gambar 4.24	Grafik shear force dan bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s pada $t= 9.666$ s.....	61
Gambar 4.25	RAO shear force SPCB Odisei	63
Gambar 4.26	RAO bending moment SPCB Odisei.....	64
Gambar 4.27	Spektra Gelombang JONSWAP dengan variasi H_s pada distribusi gelombang kurun waktu pendek.....	65
Gambar 4.28	Spektra Gelombang JONSWAP dengan variasi H_s pada distribusi gelombang kurun waktu panjang	66
Gambar 4.29	Grafik hubungan H_s dengan Respon Struktur Ekstrem Shear Force yang paling mungkin terjadi.....	67
Gambar 4.30	Grafik hubungan H_s dengan Respon Struktur Ekstrem Bending Moment yang paling mungkin terjadi	68
Gambar 4.31	Grafik hubungan H_s dengan Respon Struktur Ekstrem Shear Force peluang kejadian kecil.....	68
Gambar 4.32	Grafik hubungan H_s dengan Respon Struktur Ekstrem Bending Moment peluang kejadian kecil	69

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Kapal Acuan (http://www.worldoils.com)	29
Tabel 3.2 Data Sebaran Gelombang untuk aktivitas maritim di perairan tidak terbatas (ABS, 2010).....	31
Tabel 3.3 Validasi Model	36
Tabel 3.4 Data Hidrostatik SPCB Odissei	36
Tabel 4.1 Ukuran Utama SPCB Odissei	41
Tabel 4.2 Validasi data hidrostatik SPCB Odissei <i>Full Load Condition</i>	43
Tabel 4.3 Periode gelombang yang digunakan pada analisa gelombang kurun waktu pendek	44
Tabel 4.4 Perhitungan komponen peluang kumulatif.....	44
Tabel 4.5 Perhitungan variabel linier distribusi Weibull	45
Tabel 4.6 Periode gelombang untuk analisis gelombang kurun waktu panjang berdasarkan data gelombang aktivitas maritime di perairan tidak terbatas	46
Tabel 4.7 Komponen Berat DWT	50
Tabel 4.8 Komponen Berat LWT.....	50
Tabel 4.9 Perhitungan pola gerakan frekuensi 0.65 rad/s dengan untuk satu siklus gerakan	53
Tabel 4.10 RAO Shear Force dan Bending Momen pada Bagian ¼ AP (station 10)	62
Tabel 4.11 RAO Shear Force dan Bending Momen pada Bagian Midship	62
Tabel 4.12 RAO Shear Force dan Bending Momen pada Bagian ¼ FP (station 31). 63	
Tabel 4.13 Nilai maksimum respon struktur ekstrem untuk distribusi gelombang kurun waktu panjang yang paling mungkin terjadi.....	70
Tabel 4.14 Nilai maksimum respon struktur ekstrem untuk distribusi gelombang kurun waktu panjang peluang kejadian paling kecil.....	70

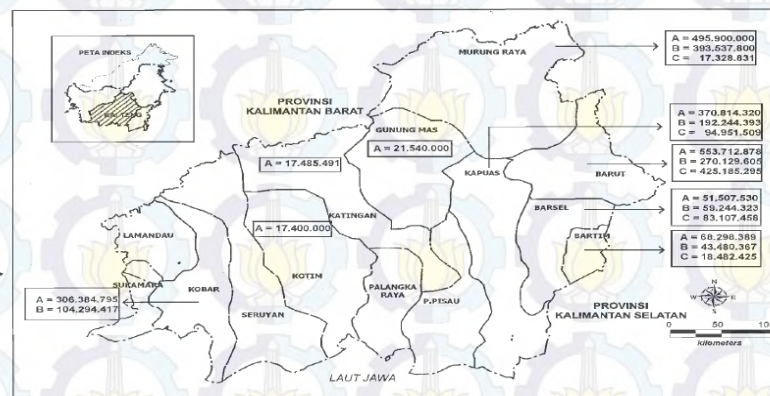
BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini akan dipaparkan hal-hal yang melatarbelakangi pelaksanaan penelitian ini. Selain itu juga dipaparkan permasalahan-permasalahan yang dibahas, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan-batasan masalah, serta sistematika penulisan laporan penelitian

1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan negara kepulauan yang dianugerahi sumber daya alam yang melimpah. Tidak hanya sebagai negara penghasil minyak dan gas bumi, hasil tambang Indonesia pun cukup berlimpah. Batu bara adalah salah satu yang paling berlimpah. Batu bara merupakan salah satu sumber daya energi yang penting bagi dunia tak terkecuali Indonesia. Manfaatnya sangat terasa karena digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik untuk menghasilkan listrik hampir 40% total kebutuhan listrik dunia (World Coal Institute, 2009).

Pulau Kalimantan adalah salah satu penghasil batu bara yang terbesar di Indonesia. Di sana, batu bara tersebar di bagian timur, tengah dan selatan. Wilayah penghasil terbesar berada di Provinsi Kalimantan Tengah dimana provinsi ini merupakan penghasil utama batu bara kualitas tinggi di Indonesia bahkan di dunia.



Sumber :
- Bappeda Provinsi Kalimantan Tengah, 2006.
- Dinas perhubungan dan Energi Provinsi Kalimantan Tengah, 2006.
- Dinas Perhubungan dan Telekomunikasi Provinsi Kalimantan Tengah, 2006.

Gambar 1.1 Peta Potensi Penyebaran Batu Bara di Provinsi Kalimantan Tengah (*esdm.go.id*)

Sebagaimana kebijakan pemerintah melalui Peraturan Presiden no.47 tahun 2011 yang memprioritaskan pemenuhan batu bara untuk kebutuhan domestik dan juga menyusul selesainya proyek percepatan 10.000 MW tahap II, kebutuhan batu bara untuk pembangkit dalam negeri akan mengalami peningkatan sebesar 65-70 juta ton per tahun, maka diperlukan pembatasan ekspor. Pembatasan ekspor akan dilakukan setelah selesainya peraturan pemerintah sebagai amanat UU No 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara yang ditargetkan selesai akhir tahun 2013 (esdm.go.id, diakses 21 Januari 2014). Menanggapi pembatasan ekspor yang akan dilakukan pemerintah dan juga permintaan kebutuhan batu bara dalam negeri yang meningkat, yakni sebagai bahan baku pembangkit listrik, proses distribusi batu bara dalam negeri menjadi permasalahan yang penting.

Selama ini proses distribusi hasil tambang batu bara ke luar Kalimantan menggunakan tongkang dengan ditarik/didorong oleh kapal tunda. Hal ini tentunya menjadi permasalahan ketika perairan laut mengalami cuaca buruk, menarik/mendorong tongkang dalam kondisi cuaca buruk bisa sangat berbahaya sehingga proses distribusi harus berhenti.



Gambar 1.2 *Self Propelled Coal Barge* yang sedang Beroperasi (kideco.com)

Menyadari bahwa proses distribusi batu bara menggunakan *barge* atau tongkang yang ditarik atau didorong oleh kapal tunda (*tugboat*) masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu dilakukan pengembangan penelitian berupa

perancangan barge yang memiliki sistem penggerak sendiri. *Self Propelled Coal Barge* (SPCB) merupakan salah satu pengembangan dari teknologi *barge* yang sudah ada. SPCB punya kelebihan dibandingkan dengan *barge* biasa yang ditarik atau didorong oleh kapal tunda (*tugboat*). Karena metode tersebut sangat kurang efisien, yakni disamping harus mengeluarkan biaya untuk dua item transportasi, juga cenderung lamban dan prosesnya kompleks.

Pada tugas akhir ini, evaluasi terhadap kinerja SPCB tergantung pada ketepatan dalam perhitungan respon gerakan, yang bertujuan untuk mengetahui apakah kekuatan dan desain SPCB dapat menahan beban dari gelombang yang ada pada lokasi perairan tertentu pada saat beroperasi. Analisis meliputi perhitungan karakteristik gerak SPCB di atas gelombang dan analisis respon struktur untuk mendapatkan parameter kekuatan memanjang SPCB, yaitu gaya geser dan momen lengkung. Dengan analisa perhitungan berbasis quasi-statis nantinya akan didapat respon struktur SPCB yang dipengaruhi oleh kondisi gerakan kopel *heave-pitch*.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik gerakan kopel *heave pitch* pada *Self Propelled Coal Barge* (SPCB) di gelombang reguler?
2. Bagaimana karakteristik RAO respons struktur memanjang (gaya geser dan momen lengkung) pada struktur memanjang lambung *Self Propelled Coal Barge* (SPCB) akibat gerakan kopel *heave pitch* di gelombang regular haluan?
3. Bagaimana karakteristik respon struktur ekstrem pada struktur memanjang *Self Propelled Coal Barge* (SPCB) di gelombang acak?

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui karakteristik gerakan kopel *heave pitch* pada *Self Propelled Coal Barge* (SPCB) di gelombang reguler.
2. Mengetahui karakteristik RAO respons struktur memanjang (gaya geser dan momen lengkung) pada struktur memanjang lambung *Self Propelled Coal Barge* (SPCB) akibat gerakan kopel *heave pitch* di gelombang reguler haluan.
3. Mengetahui karakteristik respon struktur ekstrem pada struktur memanjang *Self Propelled Coal Barge* (SPCB) di gelombang acak.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut memberikan pemahaman mengenai respon struktur *self propelled coal barge* terhadap gelombang reguler dan gelombang acak pada kondisi ekstrem.

1.5 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Data primer ukuran *self propelled coal barge* (SPCB) L= 91.44 m (300 ft), B= 24 m, H= 7 m, T= 5 m
2. Kapasitas muatan batu bara sebesar 7700 ton
3. Karakteristik gerakan yang ditinjau adalah hanya gerakan kopel *heave-pitch*, tanpa gerakan yang lain
4. Semua peralatan dan perlengkapan dan deck tidak dimodelkan
5. Kondisi yang dianalisis adalah kondisi full-load
6. Pengaruh gelombang yang akan dikaji adalah dari arah 180°

7. Prediksi gerakan pada gelombang acak dilakukan dengan menerapkan analisis spektra dengan menggunakan formulasi spektra JONSWAP ($\gamma = 2.5$)
8. Daerah operasi *self propelled coal barge* ditetapkan di perairan Indonesia dengan data sebaran gelombang diwakili oleh perairan Natuna
9. Perhitungan respon struktur memanjang lambung dengan pendekatan quasistatis menggunakan tinggi gelombang unity
10. Beban arus dan angin diabaikan

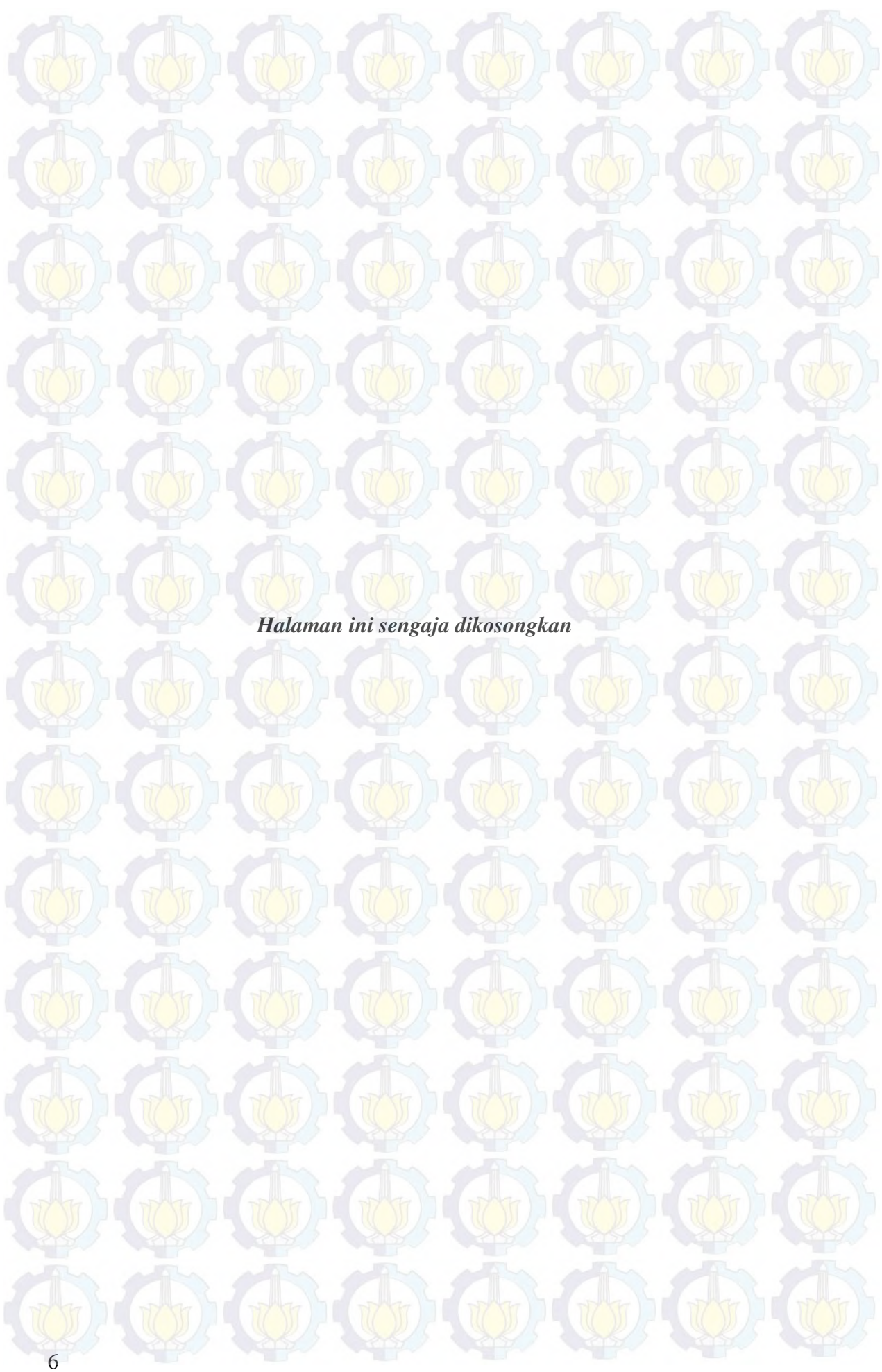
1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan penelitian ini dimulai dengan pendahuluan pada Bab Satu yang menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini. Selain itu, dalam bab ini juga akan dijelaskan manfaat yang dapat diperoleh, batasan masalah untuk membatasi analisa yang dilakukan dan sistematika penulisan laporan penelitian.

Dasar teori dan tinjauan pustaka yang menjadi sumber referensi dalam penelitian ini dijelaskan pada Bab Dua. Secara rinci bab ini berisikan tinjauan pustaka yang menjadi acuan dari penelitian ini, dasar-dasar teori, persamaan-persamaan dan code yang digunakan dalam penelitian dicantumkan dalam bab ini.

Bab Tiga pada penulisan laporan penelitian ini menerangkan tentang metodologi penelitian, beserta diagram alir (flowchart), yang digunakan untuk mengerjakan penelitian. Penjelasan pemodelan yang dilakukan dalam penelitian juga dicantumkan dalam bab ini.

Seluruh hasil analisis penelitian ini akan dibahas dan diterangkan pada Bab Empat. Bab ini akan membahas pengolahan data hasil dari output pemodelan hingga menghasilkan kesimpulan yang menjadi tujuan dari penelitian. Dimana kesimpulan beserta saran yang diperlukan untuk penelitian lebih lanjut akan diterangkan pada Bab Lima.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Dalam bab ini akan dipaparkan tinjauan-tinjauan pustaka yang menjadi referensi pelaksanaan penelitian ini dan dasar-dasar teori yang didapat dari literatur-literatur, jurnal-jurnal dan diktat-diktat kuliah. Dasar-dasar teori ini yang dijadikan referensi penulis dalam menganalisa permasalahan dalam penelitian ini

2.1 Tinjauan Pustaka

World Coal Institute (2004) menjelaskan bahwa moda transportasi yang umum digunakan untuk distribusi Batu Bara adalah *belt conveyor* atau truk pengangkut untuk pasar jarak dekat. Untuk pasar yang lebih besar seperti pasar nasional bisa menggunakan kereta api ataupun tongkang (*barge*). Sedangkan untuk pasar dunia, transportasinya 90% menggunakan kapal besar dengan ukuran berkisar 60.000 DWT sampai 80.000 DWT.

Untuk kondisi alam Indonesia yang terdiri dari beribu-ribu pulau, tongkang atau *barge* adalah pilihan yang cukup tepat. Namun masih disadari bahwa proses distribusi batu bara menggunakan *barge* atau tongkang yang ditarik atau didorong oleh kapal tunda (*tugboat*) masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu dilakukan pengembangan penelitian berupa perancangan barge yang memiliki sistem penggerak sendiri. *Self Propelled Coal Barge* (SPCB) merupakan salah satu pengembangan dari teknologi *barge* yang sudah ada. SPCB punya kelebihan dibandingkan dengan *barge* biasa yang ditarik atau didorong oleh kapal tunda (*tugboat*). Karena menurut Murtedjo (2013), metode tersebut sangat kurang efisien, yakni disamping harus mengeluarkan biaya untuk dua item transportasi, juga cenderung lamban dan prosesnya kompleks.

Batu bara sendiri adalah salah satu sumber energi yang penting di dunia. Peningkatan kebutuhan batu bara mengalami pertumbuhan yang paling cepat di tahun-tahun belakangan ini. Data dari World Coal Institute (2003) menunjukkan bahwa batu bara merupakan bahan bakar yang penting dalam pembangkit listrik

dan kegiatan-kegiatan industri lainnya, batu bara diperdagangkan secara global untuk memenuhi 4050 juta ton kebutuhan batu bara di dunia dua dekade terakhir. Potensi batu bara di Indonesia yang terbesar berada di Pulau Kalimantan. Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Kalimantan Tengah (2006) menyebutkan bahwa cadangan batu bara yang ada di wilayah Provinsi Kalimantan Tengah mencapai 3,71 miliar ton dan mencatat lebih dari 30 perusahaan tambang batu bara yang telah melakukan aktivitas pertambangan di daerah Kalimantan Tengah. Total target produksinya mencapai 34 – 45 juta ton/tahun dari total 200 juta ton produksi dalam negeri. Dengan program pemerintah melalui Perusahaan Listrik Negara untuk meningkatkan pasokan listrik dalam negeri kebutuhan batu bara untuk pembangkit dalam negeri akan mengalami peningkatan sebesar 65-70 juta ton per tahun, maka diperlukan pembatasan ekspor. Pemerintah sendiri melalui Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (2013), telah merencanakan pembatasan ekspor, yang akan dilakukan setelah selesainya peraturan pemerintah sebagai amanat UU No 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara yang ditargetkan selesai akhir tahun 2013.

Murtedjo (2013) telah melakukan penelitian mengenai *Self Propelled Coal Barge* (SPCB) yang sudah didapatkan hasilnya berupa jenis dan ukuran SPCB yang optimal dari aspek ekonomis. 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 Bretchneider (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.

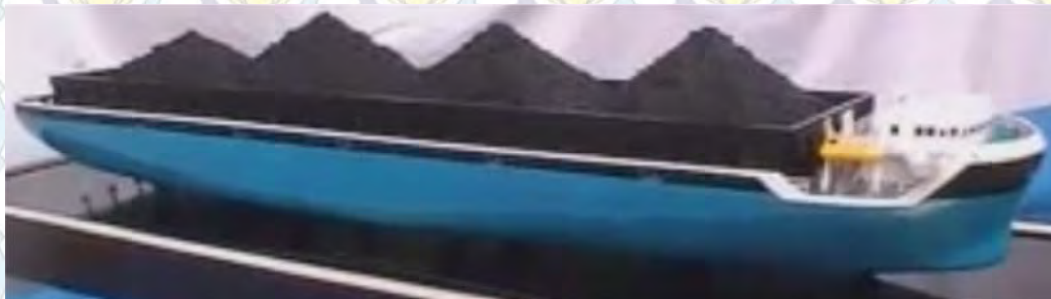
Dalam perhitungan respon struktur berupa gaya geser dan momen lengkung (*shear force dan bending moment*) American Bureau of Shipping (2003) secara internasional telah memberikan persamaan umumnya. Di indonesia Biro

Klasifikasi Indonesia (2009) juga memberikan persamaan umum untuk gaya geser dan momen lengkung yang kiranya lebih sesuai dengan kondisi perairan Indonesia. Untuk analisis perhitungan respon struktur pada SPCB untuk mendapatkan gaya geser dan momen lengkungnya (*shear force dan bending moment*) digunakan perhitungan metode quasi-statis berdasarkan gerak kopel *heave-pitch*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1. *Self Propelled Coal Barge*

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 2.1 *Self Propelled Coal Barge* 8000 dwt model (ldpl.com)

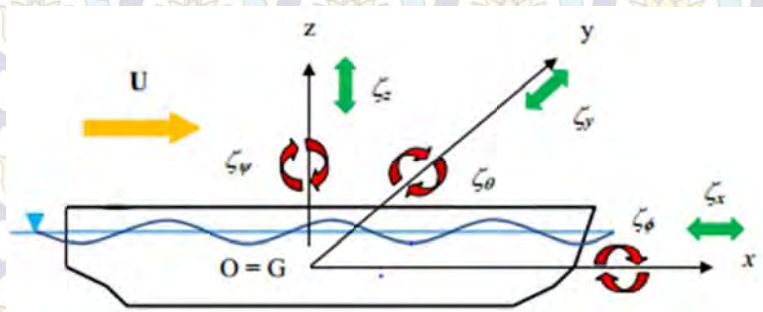
Pada mulanya *barge* memang tidak memiliki sistem penggerak sendiri dan hanya berfungsi sebagai bangunan apung penampung material yang akan didistribusikan melalui jalur sungai. Untuk melakukan mobilisasi/pergerakan, moda transportasi jenis ini harus menggunakan bantuan kapal tunda (*tugboat*) baik ditarik 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.

2.2.2. Gerakan Struktur Bangunan Apung Akibat Eksitasi Gelombang

Setiap struktur apung yang bergerak di atas permukaan laut selalu mengalami gerakan osilasi. Gerakan osilasi ini terdiri enam macam gerakan dengan tiga gerakan lateral dan tiga gerakan rotasional dalam tiga arah. Macam-macam gerakan ini meliputi:

- Surging : Gerak osilasi lateral pada sumbu-x
- Swaying : Gerak osilasi lateral terhadap sumbu-y
- Heaving : Gerak osilasi lateral terhadap sumbu-z
- Rolling : Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-x
- Pitching : Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-y
- Yawing : Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-z



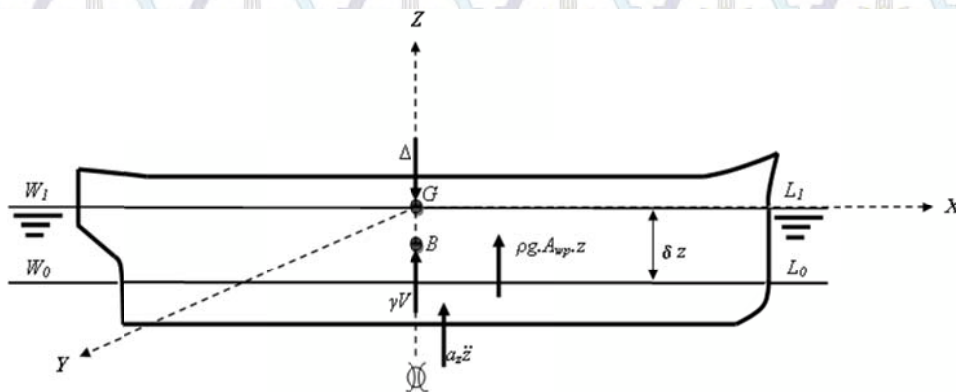
Gambar 2.2 Gerakan kapal dalam enam derajat kebebasan (Djarmiko, 2013)

Hanya tiga macam gerakan yang merupakan gerakan osilasi murni yaitu heaving, rolling, dan pitching, karena gerakan ini bekerja di bawah gaya atau momen pengembali ketika struktur tersebut dari posisi kesetimbangannya. Untuk gerakan,

surgings, swaying, dan yawing, struktur tidak kembali menuju posisi kesetimbangannya semula, kecuali terdapat gaya atau momen pengembali yang menyebabkannya bekerja dalam arah berlawanan.

2.2.2.1. Gerakan Heave

Pada gerakan *heave* gaya ke bawah akibat dari berat kapal membuat kapal tercelup ke air lebih dalam dan kembali ke awal hingga diperoleh kesetimbangan kapal. Ketika gaya *buoyancy* lebih besar akibat kapal tercelup, kapal akan bergerak secara vertikal ke atas. Ketika posisi kapal telah setimbang lantas tidak berhenti akan tetapi tetap naik dikarenakan ada pengaruh momentum. Selanjutnya kejadiannya akan berulang. Berikut adalah ilustrasi mengenai gerakan *heave* pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Ilustrasi Gerakan *Heave* (Yunus, 2013)

Dengan:

Δ = displasmen struktur terapung

G = titik pusat gravitasi (titik berat)

B = titik pusat gaya angkat ke atas (titik *buoyancy*)

γV = gaya angkat ke atas

$W_0 L_0$ = garis air keadaan awal

$W_1 L_1$ = garis air keadaan *heave*

$a_z z$ = tambahan gaya angkat ke atas karena massa tambah

δ_z = besar jarak simpangan *heave*

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. Selanjutnya, kejadiannya akan berulang.

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

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

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

1. Gaya Inersia (a \ddot{z})

Gaya inersia merupakan percepatan gerakan secara kontinu dari fluida yang memiliki gaya yang lebih besar dari massa percepatan waktu struktur terapung (Bhattacharya, 1977).

$$a \frac{d^2z}{dt^2} = M \frac{d^2z}{dt^2} + a_z \frac{d^2z}{dt^2} \quad (2.2)$$

dengan,

M = massa dari kapal

a_z = massa tambah

2. Gaya Redaman (b. \dot{z})

Gaya redaman selalu bergerak berlawanan arah dari gerakan struktur terapung dan menyebabkan redaman yang berangsur-angsur pada amplitudo gerakan.

$$F_b - b \frac{dz}{dt} = b\dot{z} \quad (2.3)$$

Dengan b adalah koefisien untuk gaya redaman pada kondisi *heaving*. Normalnya, koefisien redaman ini bergantung pada faktor-faktor sebagai berikut:

- a. Tipe dari gerakan osilasi
- b. Frekuensi *encountering*
- c. Bentuk struktur terapung

3. Gaya Pengembali (c.z)

Gaya pengembali untuk gerakan *heaving* diberikan sebagai tambahan gaya angkat struktur terapung ketika di bawah permukaan air. Sehingga, gaya pengembali

diberikan sebagai jumlah displasmen air, atau berat spesifik tambahan pada volume tercelup.

$$cz = \rho g A_{wp} z = \rho g L B C_{wp} z \quad (2.4)$$

dengan,

A_{wp} = luas bidang garis air (m^2)

z = simpangan gerak *heaving*

C_{wp} = koefisien luas bidang garis air

ρ = massa jenis air laut

g = percepatan gravitasi

4. Gaya Eksitasi (F)

Gaya eksitasi pada *heaving* adalah pengintegrasian dari penambahan gaya angkat.

Karena gelombang melewati sepanjang kapal, maka dapat dirumuskan:

$$F = F_0 \cos \omega_e t \quad (2.5)$$

dengan,

F_0 = amplitudo gaya eksitasi

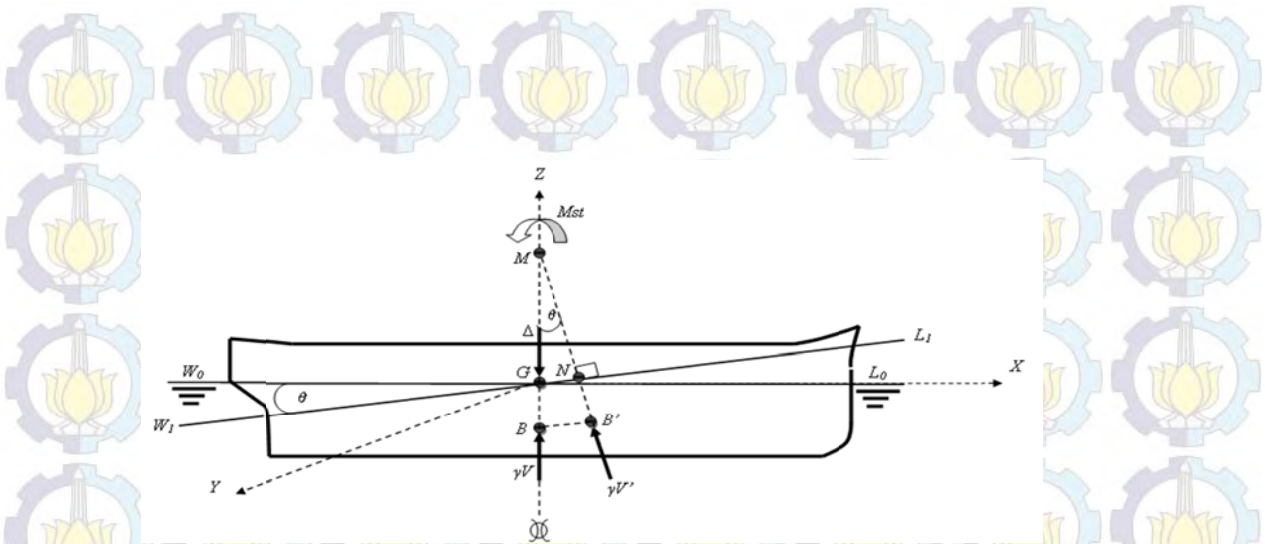
ω_e = frekuensi *encountering* (hz)

2.2.2.2. Gerakan Pitch

Pada penyelesaian tugas akhir ini, kondisi selain *heave* yang perlu diperhitungkan adalah *pitch*. Berbeda halnya dengan *heave* yang bergerak secara translasional.

Namun kondisi *pitch* bergerak secara rotasional sehingga pendekatan perhitungan yang dapat diterapkan adalah Hukum Euler. Gerakan *Pitch* adalah gerakan osilasi rotasional terhadap sumbu transversal (sumbu y), seperti digambarkan pada

Gambar 2.4



Gambar 2.4 Ilustrasi Gerakan *Pitch* (Yunus, 2013)

Persamaan umum dari gerakan akrobat *pitching* adalah:

$$a\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = M_0 \cos \omega_e t \quad (2.6)$$

Dengan,

M_0 = amplitudo momen eksitasi

ω_e = frekuensi *encountering* (hz)

$a\ddot{\theta}$ = momen inersia

$b\dot{\theta}$ = momen redaman

$c\theta$ = momen pengembali

$M_0 \cos \omega_e t$ = momen eksitasi

Sebagai gerakan rotasional, gerakan *pitching* mengakibatkan timbulnya momen-momen sebagai berikut,

1. Momen Inersia ($a\ddot{\theta}$)

alam hal ini, a merupakan massa virtual momen inersia dan $\frac{d^2\theta}{dt^2}$ merupakan percepatan sudut dari *pitching*. Momen inersia pada kondisi *pitching* adalah momen inersia struktur ditambah momen inersia massa tambah dari *pitching*.

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

$$d = \frac{\Delta}{g} k_{yy}^2 + \delta I_{yy} \quad (2.7)$$

dengan,

δI_{yy} = momen inersia massa tambah untuk gerakan *pitching*

k_{yy}^2 = kuadrat dari jari-jari girasi pada kondisi *pitching*

I_{yy} = momen inersia massa struktur

Pada perhitungan ini, diasumsikan bahwa distribusi massa secara memanjang adalah sama dengan distribusi displasmen secara memanjang. Sehingga distribusi vertikal tidak begitu berpengaruh, dan bahwa titik pusat gravitasi dari struktur diasumsikan berada di bagian tengah struktur atau *midship*, jika struktur yang ditinjau berupa kapal (Bhattacharya, 1977). Secara pendekatan, jari-jari girasi gerakan *pitching* adalah:

$$k_{yy} = 0.24 L \text{ to } 0.26 L \quad (2.8)$$

2. Momen Redaman ($b\dot{\theta}$)

Koefisien redaman untuk gerakan *pitching* dapat dihitung dengan pendekatan dengan *strip theory* yang ditentukan oleh tiap station dan diintegrasikan sebanyak station/sepanjang struktur tersebut.

3. Momen Pengembali ($c\theta$)

Momen pengembali untuk *pitching* dapat dihitung dengan perhitungan sederhana.

$$h\theta = \rho g \theta \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} x^2 y(x) dx$$
$$h\theta = \rho g \theta I_y \quad (2.9)$$

dengan,

h = koefisien momen pengembali

I_y = momen inersia dari beban luas bidang garis air

ρ = massa jenis air laut (ton/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

∇ = volume displasmen (m^3)

Δ = displasmen (ton) = $\rho g \nabla$

\overline{MB}_L = jari-jari metasentra memanjang = $\frac{I_y}{\nabla}$

\overline{MG}_L = tinggi metasentra memanjang

sehingga,

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

$$h\theta = \Delta \overline{MG}_L \theta$$

4. Momen Eksitasi

Momen eksitasi untuk *pitching* disebabkan oleh tidak seimbangya momen akibat gelombang dari sudut melintang kapal. Momen dalam gerakan *pitching* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$M_\theta = M_0 \cos \omega_e t \quad (2.10)$$

2.2.3. Beban Gelombang

Dalam perhitungan beban gelombang, gelombang yang digunakan adalah periode ulang gelombang untuk 1, 10, dan 100 tahunan. Periode ulang gelombang dapat dicari dengan analisis gelombang kurun waktu panjang. Analisis kurun waktu panjang adalah analisis yang dilakukan terhadap kumpulan data-data gelombang yang telah diperoleh dalam kurun waktu tahunan (minimal 1 tahun).

Distribusi gelombang dalam kurun waktu panjang dapat didekati dengan distribusi kontinyu dari Weibull. Persamaan linier dari fungsi kepadatan peluang diberikan dalam bentuk sebagai berikut.

$$\ln \left[\ln \left\{ \frac{1}{1-P(H)} \right\} \right] = \xi \ln x - \xi \ln \lambda \quad (2.11)$$

dengan

$P(H)$ = Peluang terjadinya gelombang

ξ = Parameter bentuk dengan harga umum antara 0.75 s.d. 2.0, sedangkan untuk gelombang laut umumnya berkisar 0.9 s.d. 1.1

λ = Parameter skala yang harganya tergantung dari harga ekstrem variabel x

x = Intensitas obyek/parameter yang ditinjau, misalnya tinggi gelombang sehingga $x = H$

Syarat pemilihan teori untuk perhitungan gaya gelombang didasarkan pada perbandingan antara diameter struktur (D) dengan panjang gelombang (λ) sebagai berikut

$D/\lambda > 1$ = gelombang mendekati pemantulan murni, persamaan morison tidak valid

$D/\lambda > 0.2$ = difraksi gelombang perlu diperhitungkan, persamaan morison tidak valid

$D/\lambda < 0.2$ = persamaan morison valid

Berikut adalah teori yang digunakan pada perhitungan gaya gelombang (Indiyono, 2003), yaitu:

a) Teori Morison

Persamaan morison mengasumsikan bahwa gelombang terdiri dari komponen gaya inersia dan drag force (hambatan) yang dijumlahkan secara linier. Persamaan morison lebih tepat diterapkan pada kasus struktur dimana gaya hambatan merupakan komponen yang dominan. Hal ini biasanya dijumpai pada struktur yang ukurannya (D) relatif kecil dibandingkan dengan panjang gelombangnya (λ).

b) Teori Froude-Krylov

Froude-Krylov digunakan bilamana gaya hambatan relatif kecil dan gaya inersia dianggap lebih berpengaruh, dimana struktur dianggap kecil. Teori ini mengadopsi metode tekanan gelombang incident dan bidang tekanan pada permukaan struktur. Keuntungan dari teori ini adalah untuk struktur yang simetris, perhitungan gaya dapat dilakukan dengan persamaan terangkai (closed-form) dan koefisien-koefisien gayanya mudah ditentukan.

c) Teori Difraksi

Bilamana suatu struktur mempunyai ukuran yang relatif besar, yakni memiliki ukuran yang kurang lebih sama dengan panjang gelombang, maka keberadaan struktur ini akan mempengaruhi timbulnya perubahan arah pada medan

gelombang disekitarnya. Dalam hal ini difraksi gelombang dari permukaan struktur harus diperhitungkan dalam evaluasi gaya gelombang.

2.2.4. Spektrum Energi Gelombang

Perancangan bangunan laut seharusnya didasarkan pada spektra gelombang yang dihasilkan dari data gelombang setempat. Dalam hal spektra atau data gelombang setempat tidak tersedia, dipilih formulasi spektra gelombang yang sesuai (perairan terbuka, perairan tertutup, efek angin, geografis, kedalaman perairan, panjang *fetch*, dan lain-lain)

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 (Det Norske Veritas, 2011)

$$S_{PM}(\omega) = \frac{5}{16} H_s^2 \omega_p^4 \omega^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right) \quad (2.12)$$

$$S_J(\omega) = A_\gamma S_{PM}(\omega) \gamma \exp\left(-0.5 \left(\frac{\omega - \omega_p}{\sigma \omega_p}\right)^2\right) \quad (2.13)$$

dengan:

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

γ = parameter puncak (*peakedness parameter*)

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

σ = parameter bentuk (*shape parameter*)

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

2.2.5. Response Amplitude Operator (RAO)

Metode spektra merupakan cara untuk mengetahui suatu respon struktur akibat beban gelombang reguler dalam tiap-tiap frekuensi. Response Amplitude Operator (RAO) atau sering disebut Transfer Function adalah fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai struktur offshore. RAO dapat juga didefinisikan sebagai hubungan antara amplitudo respon terhadap amplitudo gelombang. Amplitudo respon bisa berupa gerakan, tegangan, maupun getaran. RAO juga disebut sebagai Transfer Function karena RAO merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur (Chakrabarti, 1987). Bentuk umum dari persamaan RAO adalah sebagai berikut:

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \quad (2.14)$$

dengan,

$X_p(\omega)$ = amplitudo struktur

$\eta(\omega)$ = amplitudo gelombang

2.2.6. Respon Spektra

Respon spektra didefinisikan sebagai respon energi densiti pada struktur akibat gelombang, dalam hal ini berupa *energy density spectrum*. Pada sistem linear, respon spektra didapat dengan mengkuadratkan RAO yang kemudian dikalikan dengan spektra gelombang, yang secara persamaan ditulis:

$$S_r = RAO^2 \times S(\omega) \quad (2.15)$$

dimana:

S_r = Respon spektra (m²-sec)

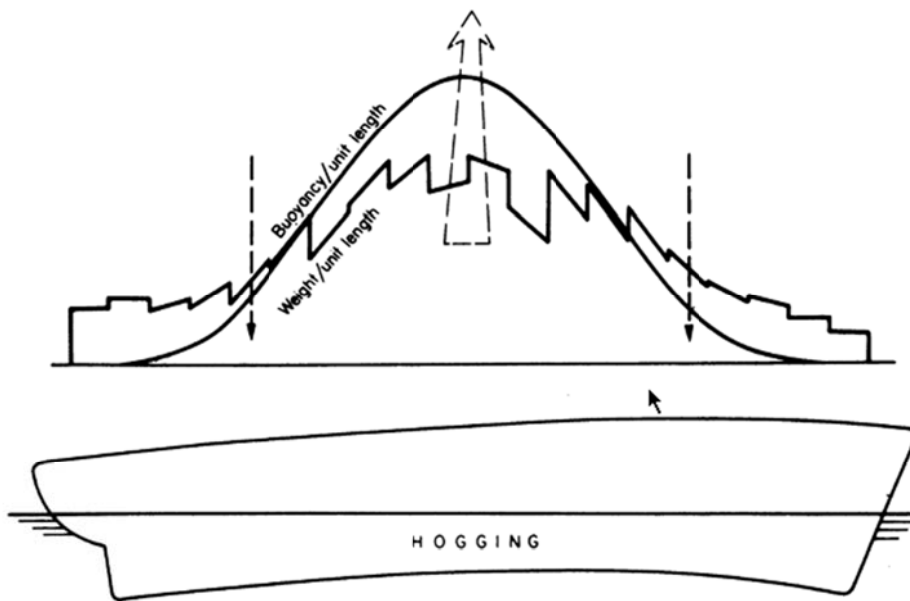
$S(\omega)$ = Spektrum gelombang (m²-sec)

RAO = Response Amplitude Operator

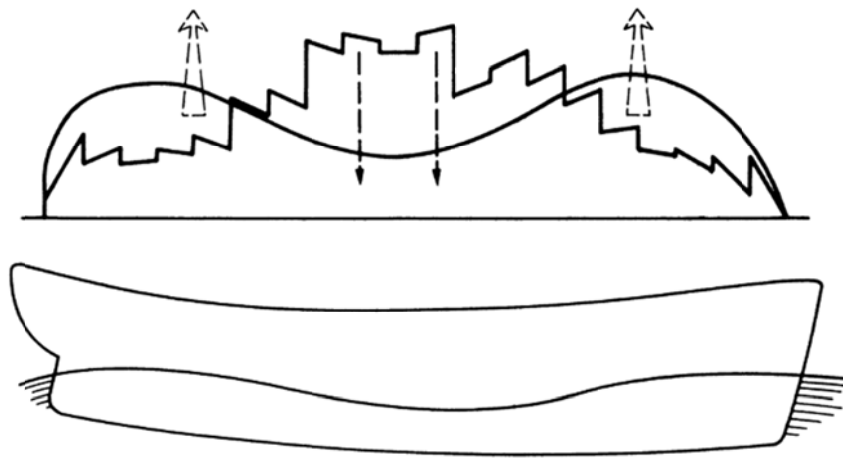
ω = Frekuensi gelombang (rad/sec)

2.2.7. Kekuatan Memanjang Kapal

Dua kondisi yang perlu di perhatikan yang memiliki pengaruh besar pada kekuatan memanjang kapal adalah, suatu kondisi dimana puncak gelombang pada *amidship* dan kondisi dimana puncak gelombang terdapat pada ujung-ujung kapal. Maka kapal akan mengalami *hog* dan yang satunya akan mengalami *sag*. Pada kondisi tertentu *hogging* dan *sagging* mengalami nilai yang besar karena kondisi distribusi massa kapal.



Gambar 2.5 Ilustrasi kondisi Hogging (Rawson and Tupper, 2001)



Gambar 2.6 Ilustrasi kondisi Sagging (Rawson and Tupper, 2001)

Pada dasarnya kekuatan memanjang kapal diakibatkan oleh gaya vertikal yang dialami oleh girder badan kapal yakni gaya berat dan daya *buoyancy* seperti ditunjukkan pada gambar 2.5 dan 2.6. Untuk suatu *floating body* total berat harus sebanding dengan total *buoyancy*, dan kedua gaya tersebut harus beraksi sepanjang garis yang sama. Meskipun pada tiap lokasi sepanjang kapal berat tidak akan sebanding dengan *buoyancy*. Gaya berat dipengaruhi oleh kombinasi berat kapal dan berat muatan yang memiliki lokasi berat yang tetap, sedangkan gaya *buoyancy* dipengaruhi oleh bentuk badan kapal dan lokasi kapal pada air (*draft* dan *trim*).

Gerakan osilasi melendut yang terjadi secara terus menerus dalam kurun waktu operasi yang relatif lama, yakni dalam skala tahunan atau puluhan tahun, meskipun intensitas gelombangnya relatif tidak terlalu besar, akan berakumulasi menjadi beban siklis yang akhirnya akan menimbulkan kegagalan struktur dalam bentuk kegagalan atau *fatigue*. Pada kondisi operasi dimana gelombang yang terjadi relatif besar dan terus semakin besar, maka respons berupa defleksi lambung pun akan meningkat sampai tahap tertentu deformasi struktur terjadi berlebihan dan tegangan struktur dapat melampaui tegangan mulurnya. Dalam kondisi ini kegagalan pada struktur akan berupa deformasi plastis atau biasanya disebut kegagalan puncak atau *ultimate failure*, yang secara fisik terwujud dalam bentuk kepatahan lambung (Djatkiko, 2012).

2.2.8. Gaya Geser (*Shear Force*) dan Momen Lengkung (*Bending Moment*) akibat Beban Gelombang

Memahami adanya perilaku bangunan laut di atas gelombang (*hogging* dan *sagging*) yang dapat mengakibatkan kegagalan struktur baik berupa kegagalan dalam bentuk kelelahan maupun kegagalan puncak atau *ultimate failure*, dan bahkan jika kondisi lautan atau *sea severity* semakin ganas maka kecenderungan kerusakan struktur global akan semakin parah. Oleh karenanya dilakukan penghitungan efek beban gelombang terhadap respons struktur. Pada prinsipnya formulasi dasar respons struktur adalah transformasi tekanan dinamis gelombang pada elemen-elemen struktur kapal, menjadi gaya-gaya dan momen internal, dengan memasukkan tekanan dinamis akibat pengaruh gerakan (Djatkiko, 2012).

Penyederhanaan untuk memprediksi respons maksimum dilakukan dengan mengasumsikan kapal dalam hal ini adalah *self propelled coal barge*, berada pada kondisi statis diatas puncak atau lembah gelombang trokoidal yang panjangnya λ_w adalah sama dengan panjang antara garis tegak kapal, L_{pp} , dan tingginya H sama dengan $\lambda_w/20$ (Djatkiko, 2012).

Pola dan intensitas distribusi gaya geser dan momen lengkung pada arah memanjang lambung SPCB tiap station dihitung dari selisih antara distribusi gaya berat dengan gaya apung kapal yang dihitung sampai dengan profil gelombang. Dimana perhitungan gaya geser dan momen lengkung mengacu pada *Basic Ship Theory*. Penyederhanaan tersebut adalah seperti mengasumsikan kondisi kapal sebagai balok statis yang berada pada satu tumpuan di tengahnya atau berada di atas tumpuan ujung-ujungnya (Lewis, 1988; Mansour & Liu, 2008).

Mengacu pada *code* American Bureau Shipping untuk perhitungan shear force dan bending moment adalah sebagai berikut

Untuk momen ketika Sagging

$$M_{ws} = -k_1 C_1 L^2 B (C_b + 0.7) \times 10^{-3} \quad (2.16)$$

Untuk momen ketika Hogging

$$M_{wh} = +k_2 C_1 L^2 B C_b \times 10^{-3} \quad (2.17)$$

Dimana,

$$k_1 = 110$$

$$k_2 = 190$$

$$C_1 = 10.75 - \left(\frac{300-L}{100}\right)^{1.5} \text{ untuk } 90\text{m} \leq L \leq 300\text{m}$$

L = Panjang kapal

C_b = Koeffisien block

B = Lebar kapal

Dan shear force akibat gaya gelombang dihitung dengan persamaan

$$F_{wp} = +k F_1 C_1 L B (C_b + 0.7) 10^{-2} \quad (2.18)$$

$$F_{wn} = -k F_2 C_1 L B (C_b + 0.7) 10^{-2} \quad (2.19)$$

Dimana,

$$C_1 = 10.75 - \left(\frac{300-L}{100}\right)^{1.5} \text{ untuk } 90\text{m} \leq L \leq 300\text{m}$$

L = Panjang kapal

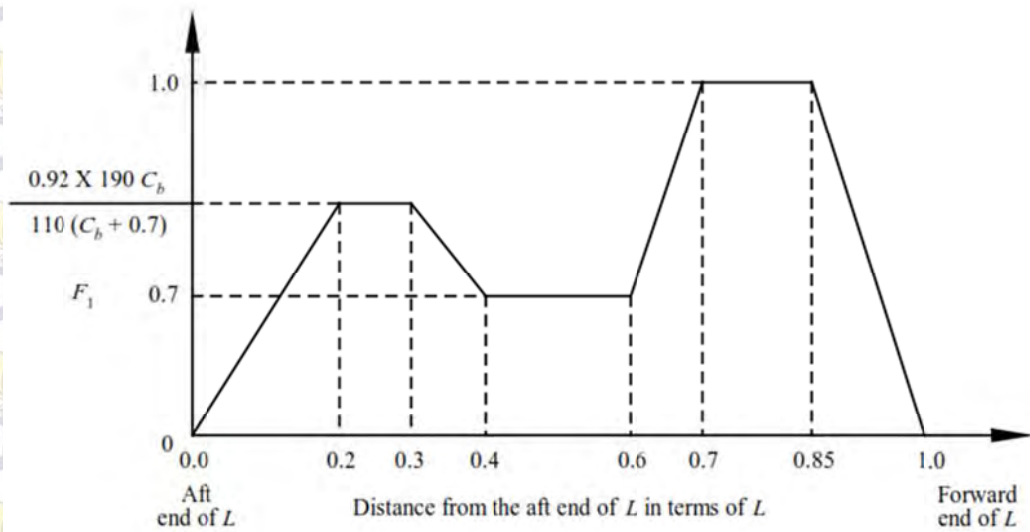
B = Lebar kapal

C_b = Koeffisien block

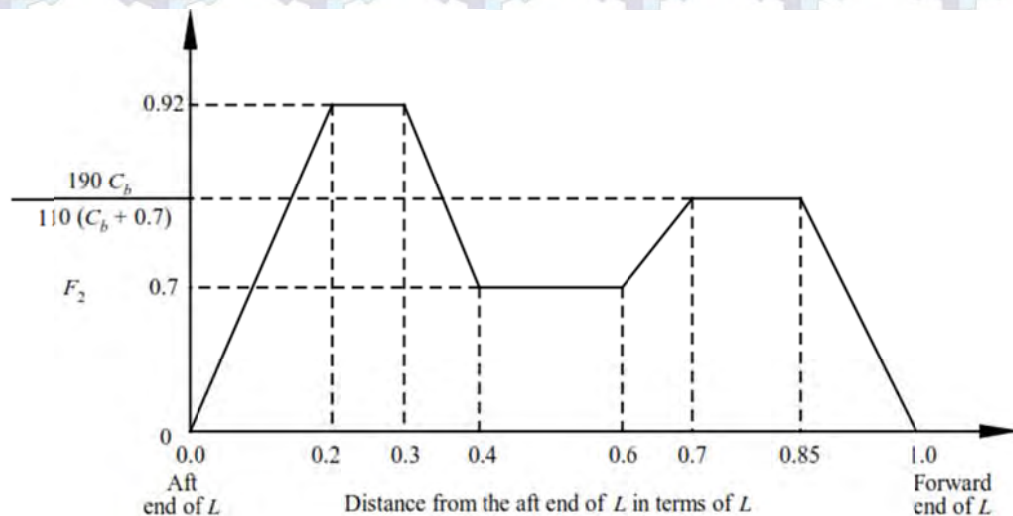
$$k = 30$$

F_1 = Faktor distribusi, pada gambar grafik 2.7

F_2 = Faktor distribusi, pada gambar grafik 2.8



Gambar 2.7 Faktor distribusi untuk F_1 (ABS, 2014)



Gambar 2.8 Faktor distribusi untuk F_2 (ABS, 2014)

2.2.9. Prosedur Perhitungan Gaya Geser (*Shear Force*) dan Momen Lengkung (*Bending Moment*) dengan Pendekatan Quasistatis

Perhitungan dengan menggunakan metode quasi-statis adalah perhitungan dengan pendekatan statis terhadap perilaku dinamis objek. Dalam tugas akhir ini gerak objek, self propelled coal barge, ditinjau terhadap tiap-tiap siklus gelombang yang terjadi. Untuk perhitungan respon struktur dengan pendekatan

Quasi-Statis, perhitungan dilakukan pada saat kapal bergerak kopel heave-pitch dengan tinggi gelombang unity (amplitudo=1m) dan menggunakan variasi sudut fase gelombang. Pemilihan tinggi gelombang unity dalam hal ini dimaksudkan untuk menjaga supaya kemiringan kapal dalam pengaruh gerakan kopel heave pitch tidak terlalu besar sehingga dapat mengakibatkan nilai shear force dan bending moment yang jauh lebih besar dari kondisi yang sebenarnya kapal ini beroperasi. Dimana kapal pengebor ini akan beroperasi di kondisi perairan tertutup seperti Indonesia yang mempunyai tinggi gelombang yang tidak terlalu besar.

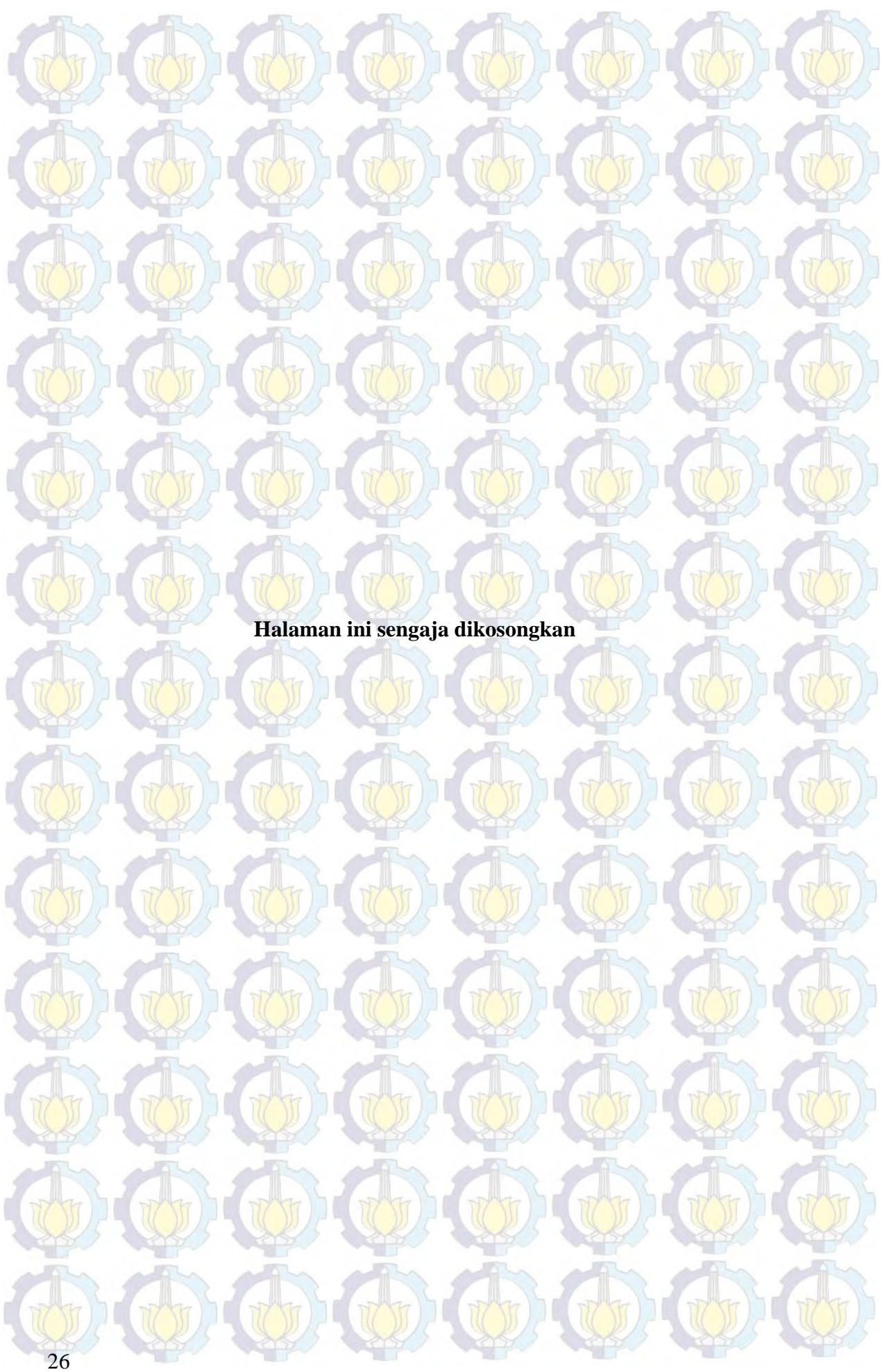
Dalam perhitungan dengan menggunakan metode quasi-statis ini, hasil respon gerak kapal dalam dua moda gerakan yakni heave-pitch diambil sebelas frekuensi gelombang yang selanjutnya untuk divariasi periodenya untuk analisis respon struktur (gaya geser dan momen lengkung) pada tiap-tiap station kapal.

Dari hasil RAO *shear force* dan *bending moment*, dilakukan analisa lebih lanjut untuk mendapatkan respons struktur ekstrim pada gelombang acak dengan menggunakan rumus.

$$SF, BM = 2\sqrt{m_0} x \sqrt{\left\{2\ln\left(\frac{60^2 T}{2\pi} \sqrt{\frac{m_2}{m_0}}\right)\right\}} \quad (2.20)$$

Dimana T dalam pers (3.32) waktu lamanya gelombang terjadi dalam jam. Beberapa referensi menyatakan bahwa T adalah waktu lamanya badai, yang dalam perancangan dapat ditetapkan sebesar 3.0 jam. Rumus pada pers (2.16) adalah harga yang paling mungkin terjadi dalam keseluruhan kejadian gelombang.

Untuk meningkatkan keyakinan pada keamanan struktur yang dirancang atau agar lebih konservatif lagi, perancang dapat menetapkan suatu harga peluang respons struktur ekstrem untuk terlampaui dengan nilai yang sangat kecil misal, $\alpha = 1\%$ atau 0.01. Dengan demikian, sebagai kebalikannya respons struktur ekstrem ini mempunyai tingkat keyakinan untuk tidak terlampaui sebesar $(1 - \alpha)$. Respons struktur ekstrem dengan peluang kejadian kecil, sebesar α dapat diperoleh dengan memasukkan nilai tersebut ke dalam persamaan (2.18).



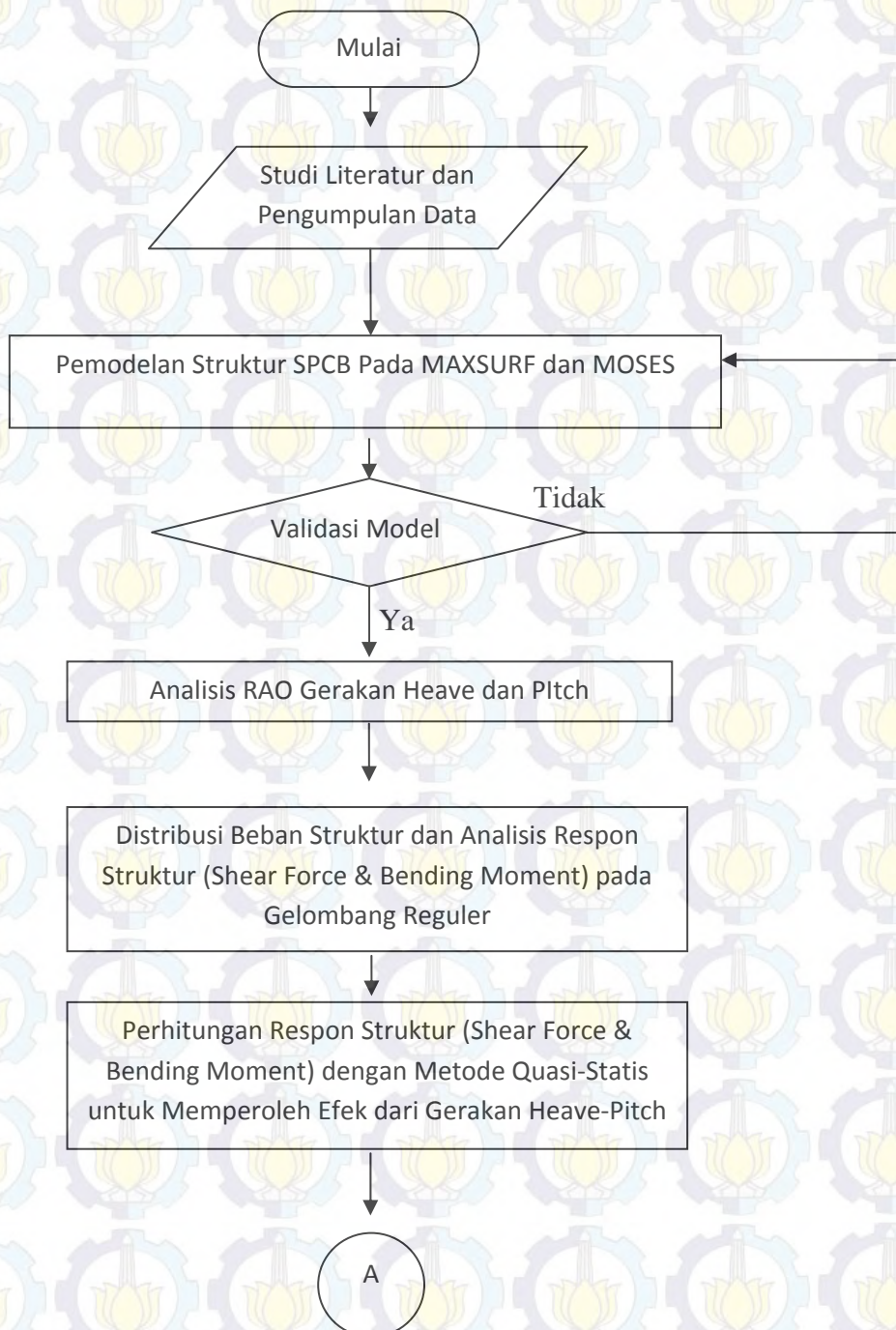
Halaman ini sengaja dikosongkan

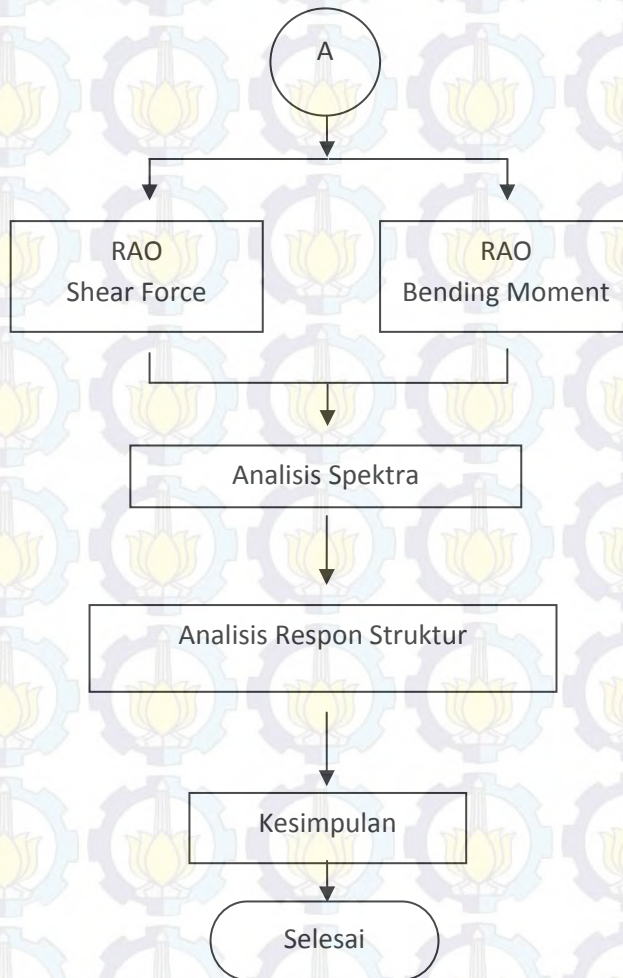
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini akan dijelaskan tahap-tahap yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan di dalam penelitian ini, metode-metode penyelesaian dengan mengacu pada Bab II, serta peranti lunak yang digunakan. Isi dari bab ini meliputi, diagram alir pelaksanaan penelitian serta penjelasan dari tiap-tiap tahap

3.1 Metode Penelitian





Gambar 3.1 Flowchart Penyelesaian Tugas Akhir

3.2 Prosedur Penelitian

Alur dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

a. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari dasar teori, studi pustaka dari penelitian terbaru, peraturan/regulasi yang relevan dan dibutuhkan selama pengerjaan Tugas Akhir ini. Studi literatur dapat diperoleh dari buku, tugas akhir, jurnal, Code/Standard, peraturan/regulasi baik nasional maupun internasional. Dalam tugas akhir ini buku teks yang dijadikan acuan adalah *Dynamics of Marine Vehicles* karangan Bhattacharyya.

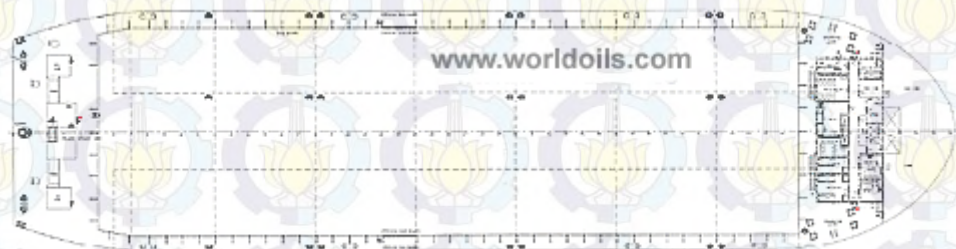
b. Pengumpulan Data

- Data ukuran utama SPCB

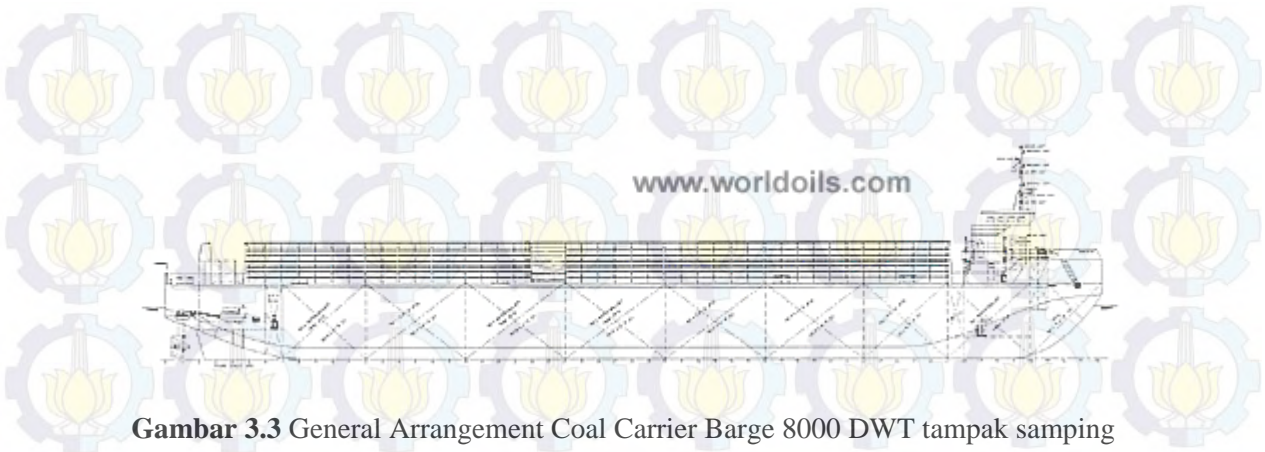
Tabel 3.1 Kapal Acuan (<http://www.worldoils.com>)

Data Utama		
Nama	=	Coal Carrier Barge 8000 DWT
Type	=	<i>Self Propelled Barge (SPB)</i>
LOA	=	91,44 m
Breadth	=	24 m
Depth	=	7 m
Draft	=	5 m
Displacement	=	9750,7 ton
Ligth weight	=	1703,7 ton
Dead Weigth	=	8047 ton
Coal Capacity	=	7700 ton
Main engine	=	2 unit CAT 3512B DI-TA MAR diesel : 2 X 1,280 HP (RPM 1,600)
Aux. engine	=	(2 unit cummins 6 CTA-8.3D9M) : 2 X 954 KW

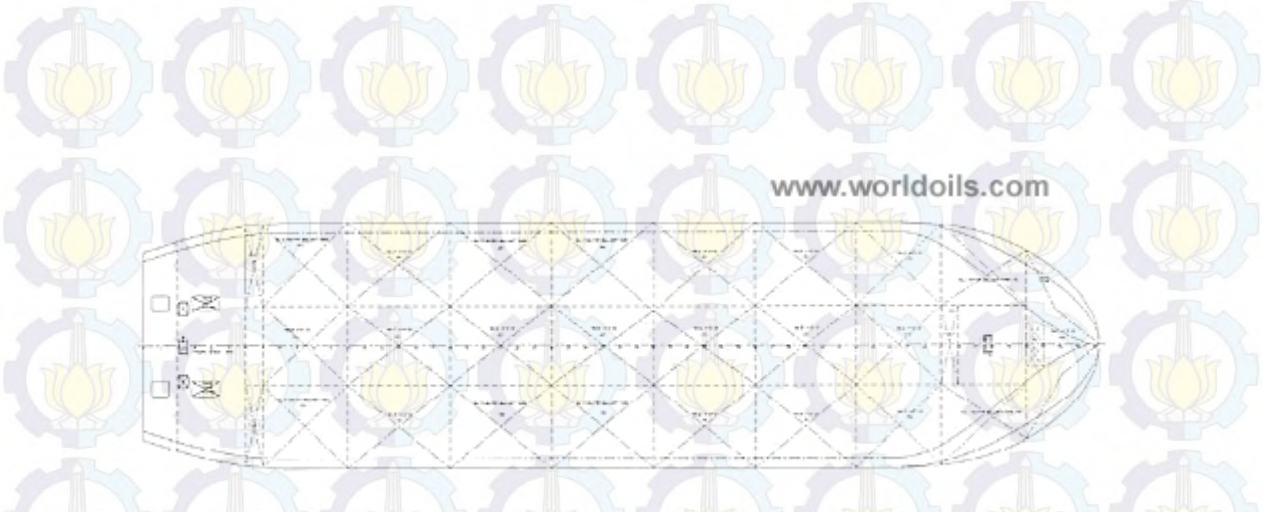
Parameter Utama tersebut yang dijadikan sebagai parameter perancangan *Self Propelled Coal Barge (SPCB)* untuk dianalisis karakteristik gerakan dan operabilitas. Dalam perancangan kapal yang utama yakni membuat *general arrangement* dari *Self Propelled Coal Barge (SPCB)*, kemudian membuat *lines Plan* 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



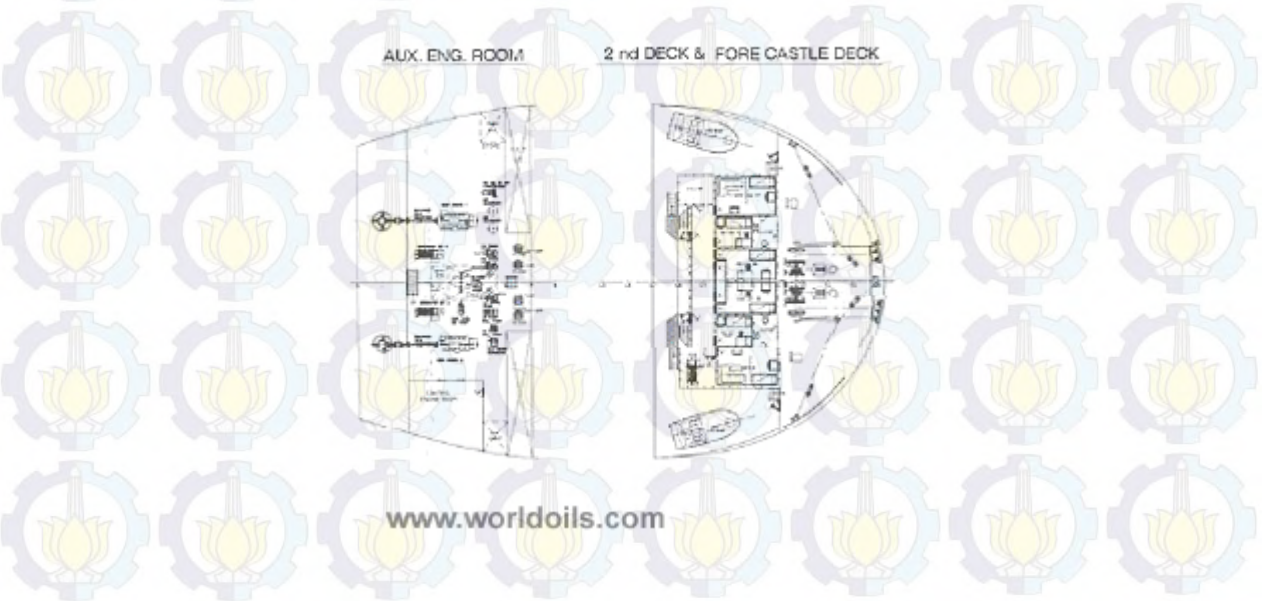
Gambar 3.2 General Arrangement Coal Carrier Barge 8000 DWT tampak atas



Gambar 3.3 General Arrangement Coal Carrier Barge 8000 DWT tampak samping



Gambar 3.4 General Arrangement Coal Carrier Barge 8000 DWT *Below Main Deck*



Gambar 3.5 General Arrangement Coal Carrier Barge 8000 DWT *2nd Deck & Forecastle Deck*

- Data Lingkungan
Pengumpulan data gelombang digunakan untuk menganalisa beban gelombang dari kondisi perairan. Dalam hal ini perairan yang digunakan adalah perairan tidak terbatas dengan Hs hanya sampai 4.5 m.

Tabel 3.2 Data Sebaran Gelombang untuk aktivitas maritim di perairan tidak terbatas (ABS, 2010)

Wave Height (m)	Wave Periods (secs)											Jumlah
	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	
0.5	8	260	1344	2149	1349	413	76	10	1	0	0	5610
1.5	-	55	1223	5349	7569	4788	1698	397	69	9	1	21158
2.5	-	9	406	3245	7844	7977	4305	1458	351	65	10	25670
3.5	-	2	113	1332	4599	6488	4716	2092	642	149	28	20161
4.5	-	-	30	469	2101	3779	3439	1876	696	192	43	12625
5.5	-	-	8	156	858	1867	2030	1307	564	180	46	7016
6.5	-	-	2	52	336	856	1077	795	390	140	40	3688
7.5	-	-	1	18	132	383	545	452	247	98	30	1906
8.5	-	-	-	6	53	172	272	250	150	65	22	990
9.5	-	-	-	2	22	78	136	137	90	42	15	522
10.5	-	-	-	1	9	37	70	76	53	26	10	282
11.5	-	-	-	-	4	18	36	42	32	17	7	156
12.5	-	-	-	-	2	9	19	24	19	11	4	88
13.5	-	-	-	-	1	4	10	14	12	7	3	51
14.5	-	-	-	-	1	5	13	19	19	13	7	77
total	8	326	3127	12779	24880	26874	18442	8949	3335	1014	266	100000

Data di atas merupakan data untuk arah pembebanan *omnidirectional* yang artinya nilainya sama untuk semua arah pembebanan. Dan, arah pembebanan lingkungan yang mengenai struktur *semi-submersible* ditunjukkan pada gambar berikut



Gambar 3.6 Arah Pembebanan gelombang pada *self propelled coal barge*

c. Pemodelan dan Validasi Struktur

Pemodelan struktur self propelled coal barge ini dengan bantuan aplikasi Maxsurf dan MOSES yang mengacu pada data utama SPCB dari hasil

penelitian sebelumnya untuk mendapatkan data hidrostatik dan rencana garis dari SPCB.



a. Tampak Atas



b. Tampak Samping

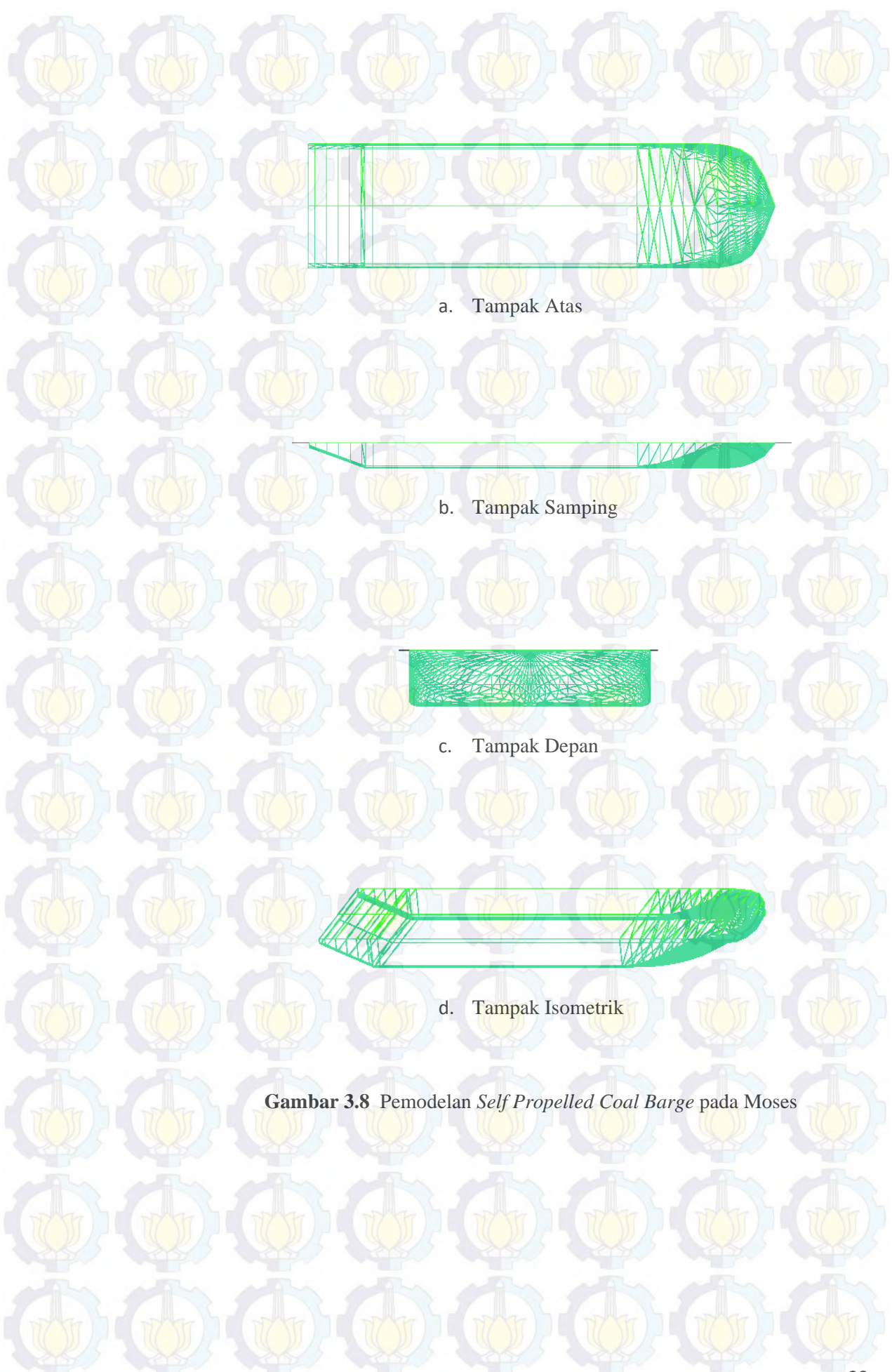


c. Tampak Depan



a. Tampak Isometrik

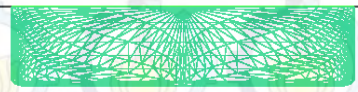
Gambar 3.7 Pemodelan *Self Propelled Coal Barge* pada Maxsurf



a. Tampak Atas



b. Tampak Samping

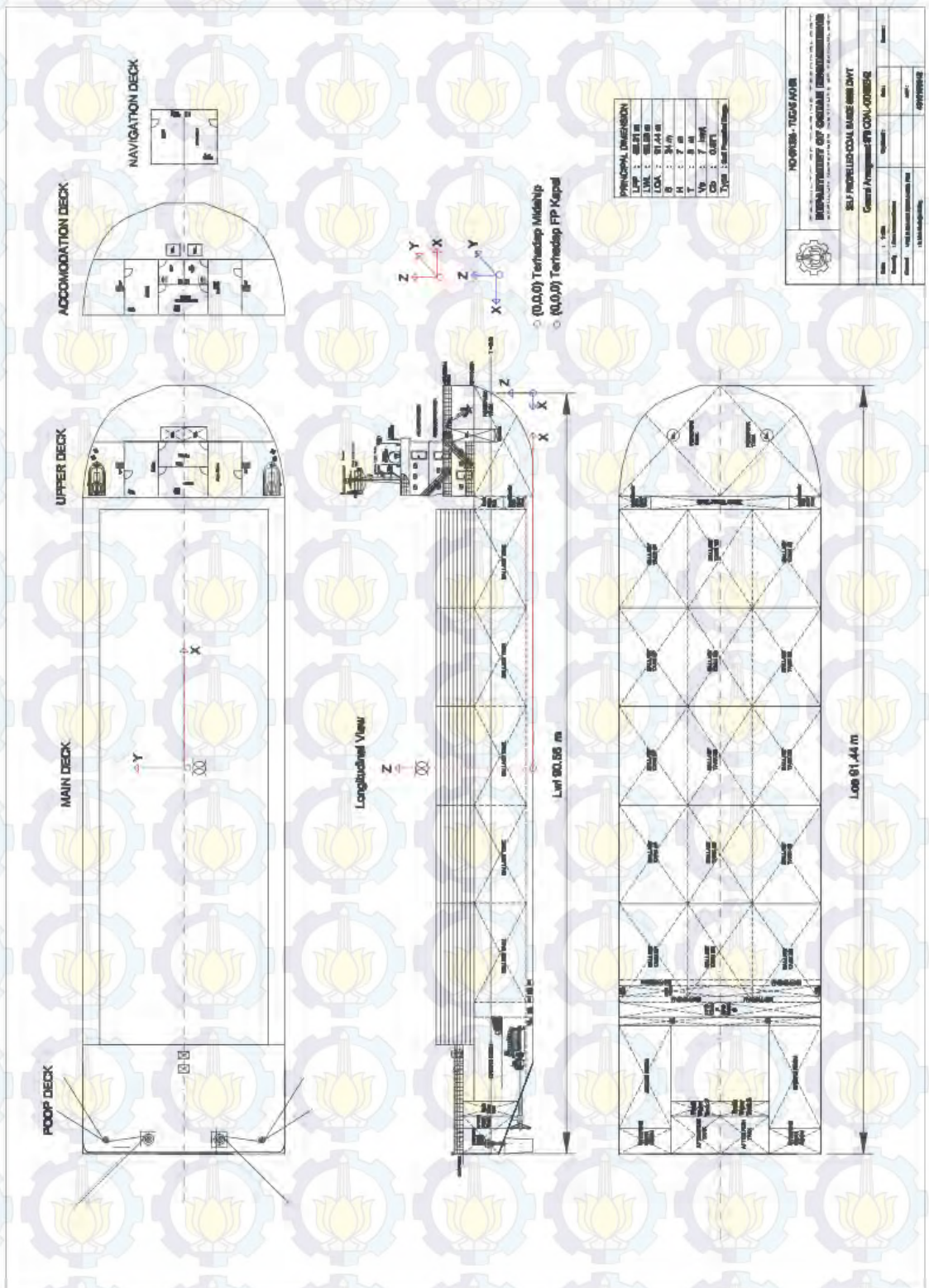


c. Tampak Depan

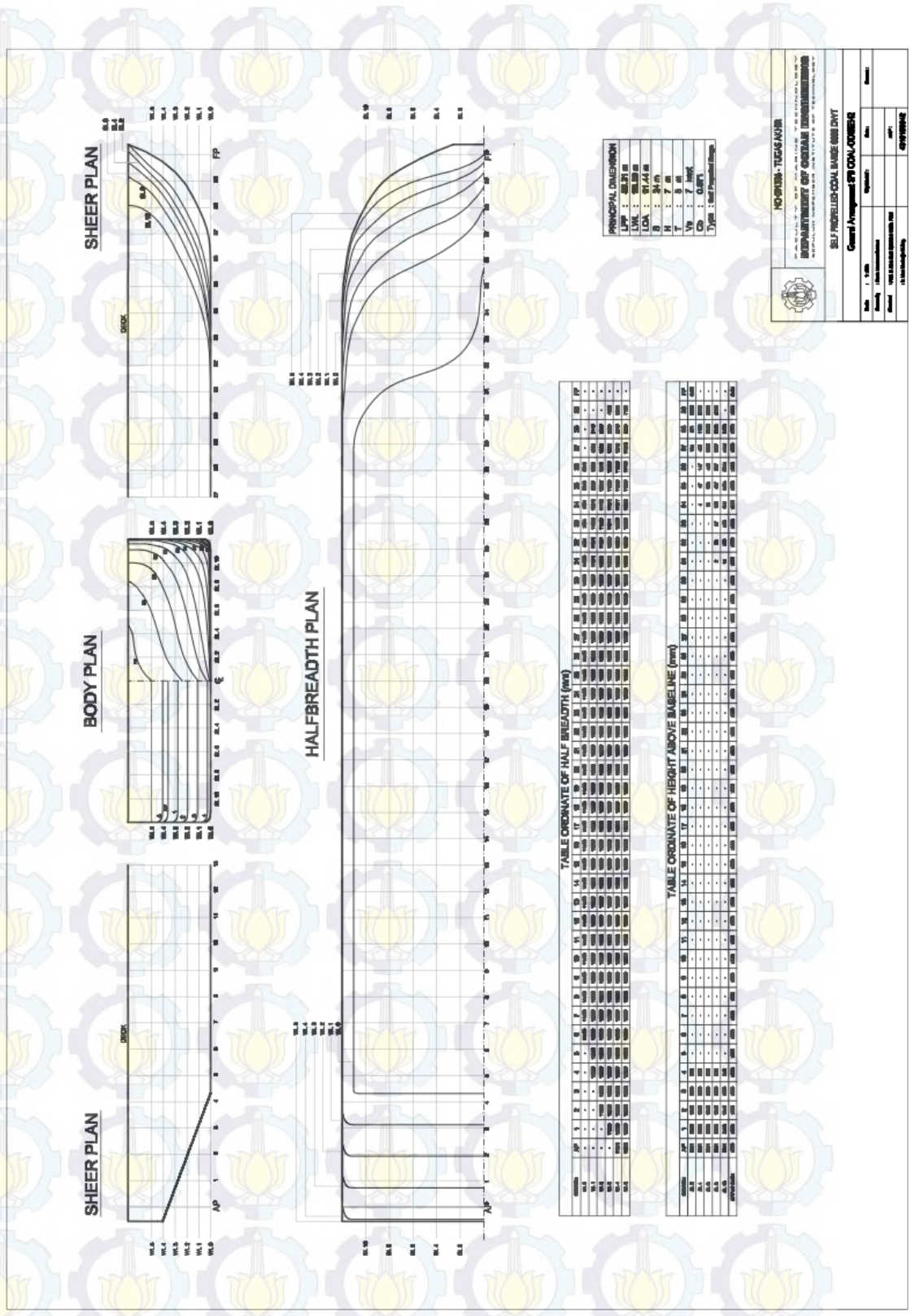


d. Tampak Isometrik

Gambar 3.8 Pemodelan *Self Propelled Coal Barge* pada Moses



Gambar 3.9 General Arrangement SPCB Odissei



Gambar 3.10 Linesplan SPCB Odissei

Tabel 3.3 Validasi Model

Measurement	Model		unit	Koreksi (%)
	Maxsurf	Moses		
Displacement-Full	9699	9684,9	ton	0,1456
Loa	91,44	91,44	m	0,0000
Lwl	90,56	90,56	m	0,0000
B	24	24	m	0,0000
H	7	7	m	0,0000
T	5	5	m	0,0000
LCB dari midship	-1,946	-1,97	m	0,9879
LCF dari midship	-2,126	-2,13	m	0,1878
WPA	2099,472	2099	m ²	-0,0225
BMt	10,404	10,41	m	0,0577
BML	142,116	142,21	m	-0,0661
KMt	13,027	13,04	m	-0,0998
KML	144,739	144,83	m	-0,0629

Validasi model SPCB di atas perbandingan data hidrostatis keluaran Maxsurf dan MOSES dengan batas *error* tidak melebihi 5% . berikut adalah tabel nilai hidrostatis untuk sarat 1.5 – 5.0 m.

Tabel 3.4 Data Hidrostatis SPCB Odissei

<i>Draft m</i>	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
<i>Displacement t</i>	2587	3525	4493	5489	6511	7559	8626	9699
<i>Heel deg</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Draft at FP m</i>	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
<i>Draft at AP m</i>	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
<i>Draft at LCF m</i>	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
<i>WL Length m</i>	80.103	82.292	84.276	86.206	87.974	89.742	90.267	90.567
<i>Beam max extents on WL m</i>	24	24	24	24	24	24	24	24
<i>Wetted Area m²</i>	1963.399	2093.354	2223.3	2353.462	2483.333	2612.796	2716.333	2812.744
<i>Waterpl. Area m²</i>	1800.788	1859.621	1915.703	1969.636	2020.515	2068.466	2088.349	2099.472
<i>Prismatic coeff. (Cp)</i>	0.88	0.874	0.87	0.865	0.862	0.858	0.865	0.872
<i>Block coeff. (Cb)</i>	0.875	0.871	0.867	0.863	0.86	0.856	0.863	0.871
<i>Max Sect. area coeff. (Cm)</i>	0.995	0.996	0.997	0.997	0.998	0.998	0.998	0.998
<i>Waterpl. area coeff. (Cwp)</i>	0.937	0.942	0.947	0.952	0.957	0.96	0.964	0.966
<i>LCB from zero pt. (+ve fwd) m</i>	-1.671	-1.619	-1.619	-1.655	-1.721	-1.813	-1.897	-1.935
<i>LCF from zero pt. (+ve fwd) m</i>	-1.425	-1.536	-1.712	-1.942	-2.228	-2.562	-2.357	-2.126
<i>KB m</i>	0.771	1.032	1.294	1.559	1.824	2.091	2.358	2.623
<i>BMt m</i>	33.034	25.092	20.33	17.155	14.859	13.122	11.631	10.404
<i>BML m</i>	338.13	272.892	233.817	207.777	188.935	174.491	157.3	142.116
<i>KMt m</i>	33.805	26.124	21.624	18.713	16.684	15.213	13.989	13.027
<i>KML m</i>	338.902	273.924	235.112	209.336	190.759	176.583	159.658	144.739
<i>Immersion (TPc) tonne/cm</i>	18.458	19.061	19.636	20.189	20.71	21.202	21.406	21.52
<i>MTc tonne.m</i>	96.698	106.122	115.732	125.547	135.395	145.19	149.329	151.712
<i>RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.n</i>	1300.581	1299.623	1303.54	1313.623	1327.71	1347.375	1353.206	1358.733

5. Analisis Gerakan Heave dan Pitch

Setelah model selesai dan validasi telah selesai, langkah berikutnya adalah melakukan analisis gerakan *SPCB*, data *offset* kapal merupakan salah satu input yang amat penting dalam analisa gerakan kapal menggunakan perangkat lunak MOSES selain parameter-parameter lainnya seperti data lingkungan dan lain sebagainya. Perhitungan dilakukan dengan perangkat lunak MOSES untuk mendapatkan karakteristik hidrodinamis seperti RAO.

6. Distribusi Beban Struktur dan Analisis Respon Struktur (Shear Force & Bending Moment) pada Gelombang Reguler

Dilakukan pembebanan terhadap hull *SPCB* untuk mencari gaya reaksi dari struktur hull secara global pada gelombang reguler dengan $H = L/20$ pada kondisi Hogging dan Sagging.

7. Perhitungan Respon Struktur (Shear Force & Bending Moment) dengan Metode Quasi-Statis untuk Memperoleh Efek dari Gerakan Heave-Pitch.

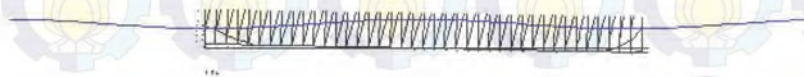
Perhitungan respon struktur dengan metode quasi-statis dilakukan dengan memperhatikan gerakan heave-pitch pada *SPCB* pada tiap siklus pada periode gerakan yang berbeda dengan tinggi gelombang unity (amplitudo=1m). Langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut:

- o Menentukan frekuensi dan periode yang akan dianalisa.
- o Mencari nilai panjang gelombang sesuai dengan periode-periode yang dianalisis. Panjang gelombang didapatkan dari rumus $\lambda = g \frac{T^2}{2\pi}$
- o Menentukan frekuensi yang ditinjau sehingga didapatkan nilai RAO *heave*, sudut fase *heave*, RAO *pitch* dan sudut fase *pitch* pada frekuensi tersebut.
- o Membagi periode yang didapatkan dari frekuensi yang dianalisis menjadi sepuluh variasi periode. Pembagian dilakukan dengan cara membuat deret bilangan dari angka nol hingga nilai periode tersebut.

- o Dari data-data yang diketahui diatas maka dapat ditentukan pergerakan gelombang ($\cos \omega t$), pergerakan heave ($\cos(\omega t + \epsilon z)$) serta pergerakan pitch ($\cos(\omega t + \epsilon \theta)$) pada tiap vareasi periode.
- o Dengan adanya pergerakan gelombang, pergerakan heave serta pergerakan pitch pada tiap periode menjadikan posisi kapal pada tiap periode berbeda-beda. Sehingga bouyancy yang didapatkan juga berbeda-beda pula.
- o Perbedaan bouyancy itulah yang membuat bentuk grafik sheer force dan bending moment yang beraneka ragam.

Berikut adalah salah satu contoh plot gambar pengerjaan pada perhitungan luasan badan kapal yang tercelup air untuk metode quasi-statis pada frekuensi .85 rad/s dengan periode 7.39 s

- langkah 1 pada $t = 0s$



- langkah 2 pada $t = 0.739 s$



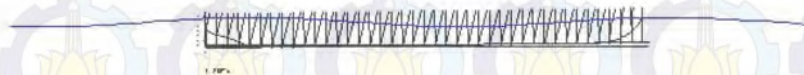
- langkah 3 pada $t = 1.478 s$



- langkah 4 pada $t = 2.218 s$



- langkah 5 pada $t = 2.957 s$



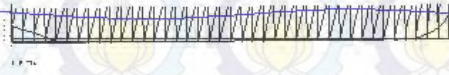
- langkah 6 pada $t = 3.696 s$



- langkah 7 pada $t = 4.435$ s



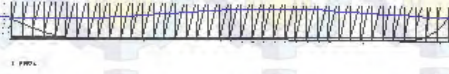
- langkah 8 pada $t = 5.174$ s



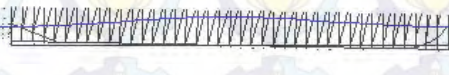
- langkah 9 pada $t = 5.914$ s



- langkah 10 pada $t = 6.653$ s



- langkah 11 pada $t = 7.392$ s



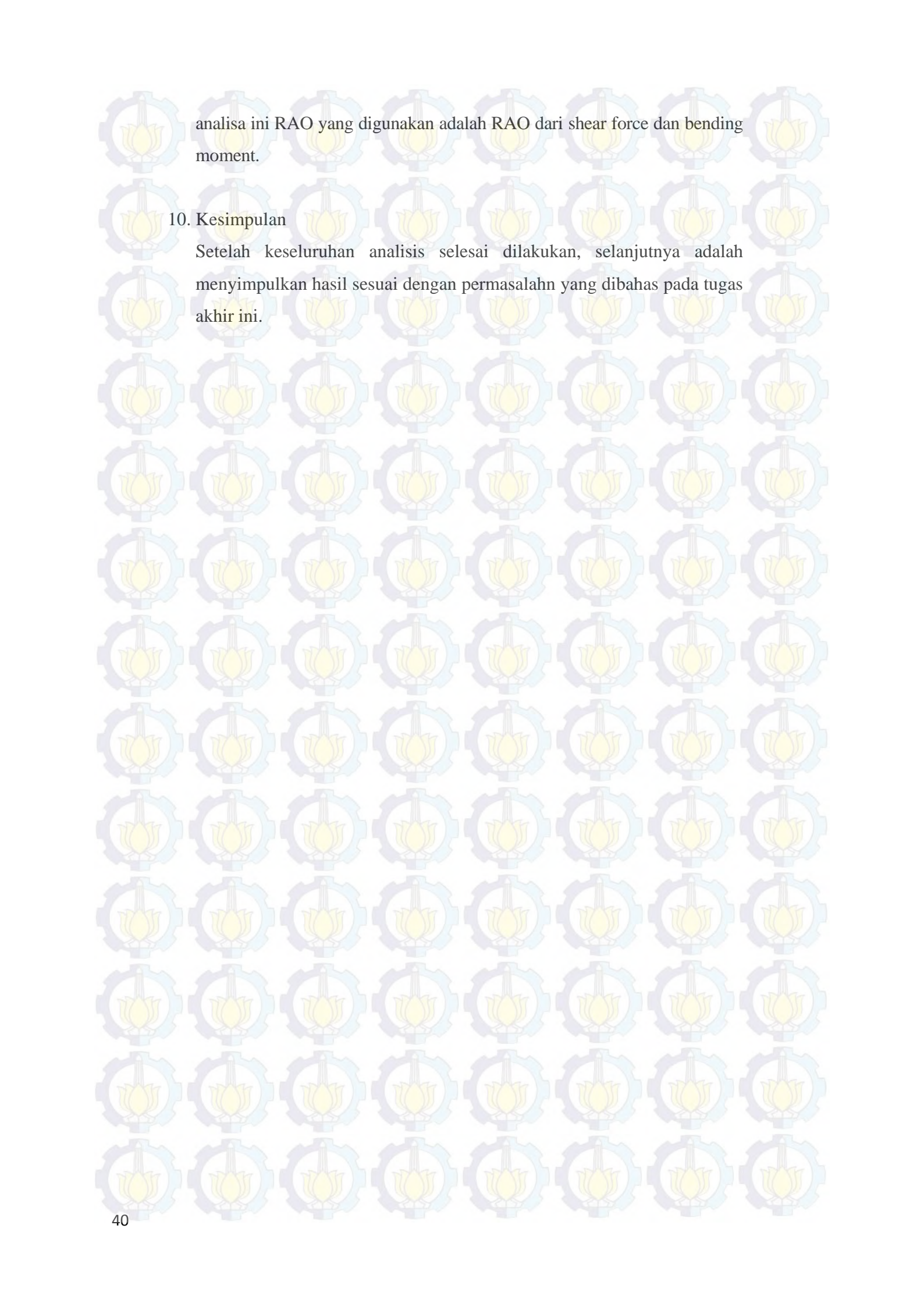
8. Analisis Spektra

Pada tahap ini akan dilakukan pemilihan formulasi spektra gelombang yang sesuai dengan perairan di mana SPCB secara hipotesis akan dioperasikan.

Formulasi spektra yang ada biasanya diklasifikasikan ke dalam tiga jenis, yakni untuk perairan terbuka, perairan tertutup atau kepulauan, serta perairan pantai. Analisis spektra, seperti telah dijelaskan sebelumnya, akan mengkorelasikan antara *RAO* dengan spektra gelombang, yang akan menghasilkan spektra respons. Berdasarkan spektra respons ini akan dapat ditentukan harga-harga statistik gerakan, misalnya harga rata-rata, harga signifikan, ataupun harga-harga ekstrem, yang mana dalam tugas akhir ini yang akan dicari adalah besaran shear force ekstrem dan bending moment ekstrem.

9. Analisis Respon Spektra

Dengan mengalikan *RAO* kuadrat dengan spektra energi dari gelombang acak maka akan didapatkan spektra respon di gelombang acak. Dalam



analisa ini RAO yang digunakan adalah RAO dari shear force dan bending moment.

10. Kesimpulan

Setelah keseluruhan analisis selesai dilakukan, selanjutnya adalah menyimpulkan hasil sesuai dengan permasalahan yang dibahas pada tugas akhir ini.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas hasil-hasil pemodelan dan analisis yang didapatkan dari bantuan *software* sesuai dengan metodologi penelitian untuk mencapai tujuan penelitian.

4.1 Pemodelan *Self Propelled Coal Barge (SPCB)*

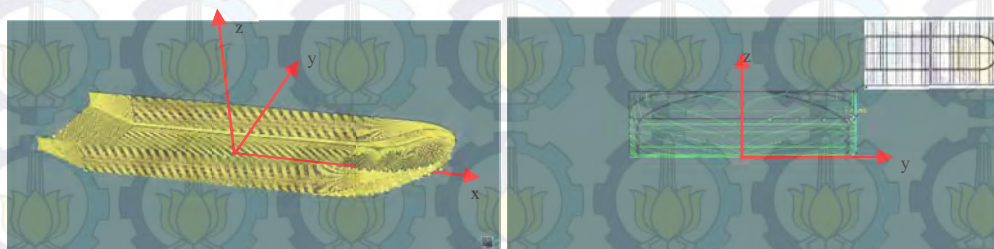
Pemodelan awal *Self Propelled Coal Barge* yang akan dianalisis dilakukan dengan bantuan aplikasi Maxsurf dan Moses. Pemodelan didasarkan pada general arrangement yang telah dibuat. Setelah model selesai dibuat selanjutnya bisa dilakukan analisis selanjutnya yaitu analisis hidrostatis.

Tabel 4.1 Ukuran Utama SPCB Odissei

Designation	Units	Minimum Operating Draft	Maximum Operating Draft
Loa	m	91.44	
Lwl	m	87.97	90.56
Lpp	m	89.31	
Breadth, B	m	24	
Depth, D	m	7	
Draft, T	m	3.5	5

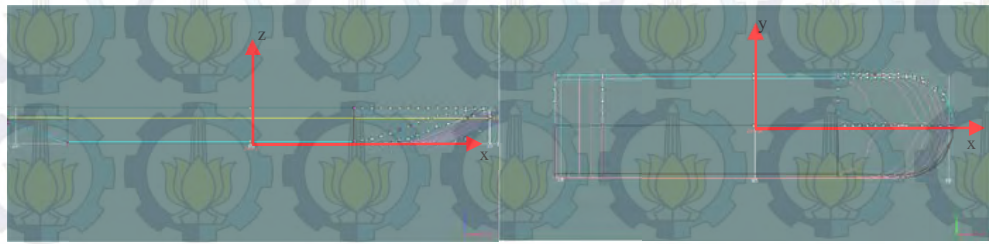
4.1.1 Pemodelan pada Software Maxsurf

Pemodelan SPCB Odissei dilakukan pada Maxsurf untuk mendapatkan data hidrostatis kapal. Pemodelan dilakukan pada kondisi full load. Hasil pemodelan SPCB Odissei seperti tampak pada gambar-gambar berikut ini:



A

B



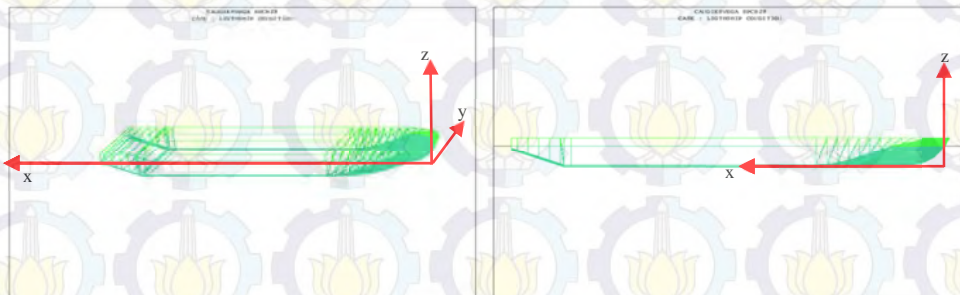
C

D

Gambar 4.1 Hasil pemodelan SPCB Odissei pada Maxsurf (A) tampak isometric (B) tampak depan/*body plan* (C) tampak samping/*sheer plan* (D) tampak atas/*halfbreadth plan*

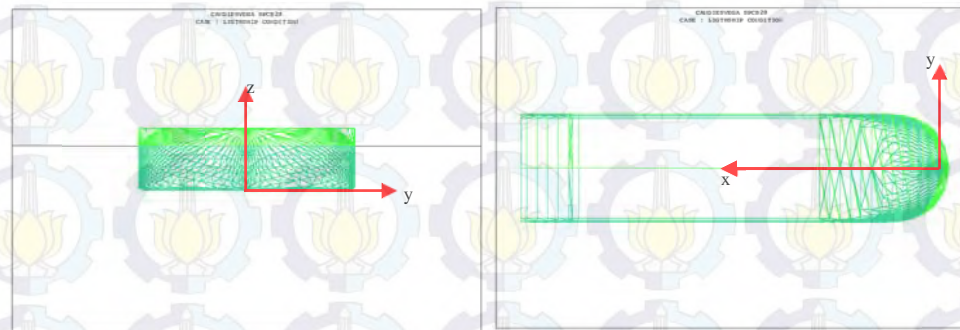
4.1.2 Pemodelan pada Software MOSES

Pemodelan pada MOSES untuk SPCB Odissei didasarkan pada ordinat pada maxsurf. Pemodelan pada aplikasi MOSES ini selain juga untuk analisis gerak SPCB juga sebagai pembandingan dari hasil pemodelan pada Maxsurf. Hasil pemodelan pada MOSES dapat dilihat pada gambar-gambar berikut ini:



A

B



C

D

Gambar 4.2 SPCB Odissei hasil *output* MOSES (A) tampak isometric (B) tampak samping (C) tampak depan (D) tampak atas

4.1.3 Validasi Model Maxsurf-Moses

Tabel 4.2 Validasi data hidrostatis SPCB Odissei *Full Load Condition*

Measurement	Model		unit	Koreksi(%)
	Maxsurf	Moses		
Displacement-Full	9699	9684,9	ton	0,1456
Loa	91,44	91,44	m	0,0000
Lwl	90,56	90,56	m	0,0000
B	24	24	m	0,0000
H	7	7	m	0,0000
T	5	5	m	0,0000
LCB dari midship	-1,946	-1,97	m	0,9879
LCF dari midship	-2,126	-2,13	m	0,1878
WPA	2099,472	2099	m ²	-0,0225
BMt	10,404	10,41	m	0,0577
BML	142,116	142,21	m	-0,0661
KMt	13,027	13,04	m	-0,0998
KML	144,739	144,83	m	-0,0629

Dari tabel di atas sudah dapat dilihat bahwa model self propelled barge sudah valid untuk dilanjutkan analisis selanjutnya dengan parameter koreksi tidak ada yang di atas +/- 1%.

4.2 Analisis Beban Gelombang

Pada tugas akhir ini digunakan beban gelombang dengan distribusi gelombang kurun waktu pendek dan distribusi gelombang kurun waktu panjang. Distribusi gelombang kurun waktu pendek digunakan untuk perhitungan beban gelombang pada kondisi operasi yang selanjutnya untuk mendapatkan shear force dan bending moment ekstrem pada kondisi operasi pada perairan tempat objek dioperasikan yakni perairan Indonesia yang diwakili data sebaran gelombang perairan tak terbatas.

4.2.1 Analisis Gelombang Kurun Waktu Pendek

Tabel 4.3 Periode gelombang yang digunakan pada analisa gelombang kurun waktu pendek

Wave Height (m)	Wave Periods (secs)										Jumlah	
	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5		13.5
0.5	8	260	1344	2149	1349	413	76	10	1	0	0	5610
1.5	-	55	1223	5349	7569	4788	1698	397	69	9	1	21158
2.5	-	9	406	3245	7844	7977	4305	1458	351	65	10	25670
3.5	-	2	113	1332	4599	6488	4716	2092	642	149	28	20161
4.5	-	-	30	469	2101	3779	3439	1876	696	192	43	12625
total	8	326	3116	12544	23462	23445	14234	5833	1759	415	82	85224

Perhitungan distribusi gelombang kurun waktu pendek dilakukan dengan menggunakan periode pada jumlah kejadian terbanyak pada masing-masing H_s yang terjadi pada data sebaran gelombang. Untuk tugas akhir ini hanya digunakan H_s sampai dengan 4.5 m untuk menggambarkan kondisi perairan laut Jawa. Sehingga didapatkan $T_p = 6.5s$ pada $H_s = 0.5m$, $T_p = 7.5s$ pada $H_s = 1.5m$, $T_p = 8.5s$ pada $H_s = 2.5m$, $T_p = 7.5s$ pada $H_s = 3.5m$, $T_p = 8.5s$ pada $H_s = 4.5m$.

4.2.2 Analisis Gelombang Kurun Waktu Panjang

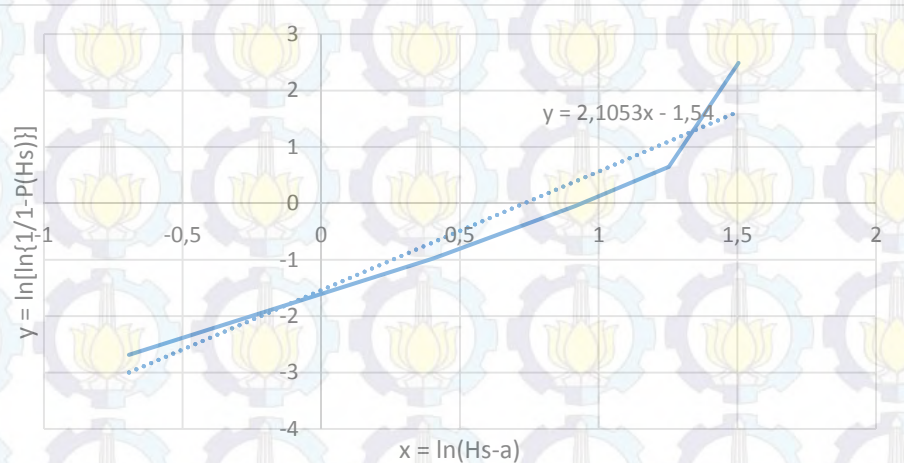
Perhitungan $P(H_s)$ pada, jumlah gelombang total yang terjadi ditambahkan dengan 0.5 kali kejadian gelombang. Nilai 0.5 jumlah gelombang adalah untuk mengantisipasi ketaktentuan karena kemungkinan adanya gelombang dengan intensitas di atas H_s terbesar dari data yang ada. Nilai $P(H_s)$ didapat dari pembagian antara kumulatif dari kejadian gelombang dibagi dengan jumlah total kejadian gelombang.

Tabel 4.4 Perhitungan komponen peluang kumulatif

H_s (m)	$P(H_s)$	$\ln(H_s - a)$	$\ln[\ln\{1/1-P(H_s)\}]$
(1)	(2)	(3)	(4)
0.5	0.065826142	-0.693147181	-2.68688506
1.5	0.314088085	0.405465108	-0.975494009
2.5	0.615292551	0.916290732	-0.045759051
3.5	0.85185598	1.252762968	0.646878281

4.5	0.999994133	1.504077397	2.488748544
-----	-------------	-------------	-------------

Dari hasil tabel di atas, didapat grafik distribusi seperti gambar di bawah



Gambar 4.3 Grafik korelasi antara tinggi gelombang dan distribusi kumulatif

Dalam tugas akhir ini prediksi gelombang kurun waktu panjang yang dihitung yakni pada kurun waktu 10 tahun, 20 tahun, dan 30 tahun menyesuaikan dengan umur dari objek yang dianalisa. Dan berikut adalah hasil perhitungan

Tabel 4.5 Perhitungan variabel linier distribusi Weibull

Kurun Waktu	$P_y(H_s)$	$\ln[\ln\{1/(1-P_y(H_s))\}]$	$\ln(H_s - a)$	H_s (m)
10 Tahun	0.999965753	2.330387401	1.838402	6.2865
20 Tahun	0.999982877	2.395626444	1.86939	6.4843
30 Tahun	0.999988584	2.431904552	1.886622	6.5970

Dari hasil perhitungan H_s pada kurun waktu panjang tersebut maka yang digunakan dalam analisa kurun waktu panjang adalah $H_s = 6.2865$ m pada kurun waktu 10 tahun, $H_s = 6.4843$ m pada kurun waktu 20 tahun, dan $H_s = 6.5970$ m pada kurun waktu 30 tahun. H_s tersebut digunakan

untuk memprediksi shear force dan bending moment ekstrem pada 10 tahunan, 20 tahunan, dan 30 tahunan pada perairan dunia.

Tabel 4.6 Periode gelombang untuk analisis gelombang kurun waktu panjang berdasarkan data gelombang aktivitas maritime di perairan tidak terbatas (ABS, 2010)

Wave Height (m)	Wave Periods (secs)														Jumlah	Kumulatif
	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5		
0.5	8	260	1344	2149	1349	413	76	10	1	0	0	0	0	0	5610	5610
1.5	-	55	1223	5349	7569	4788	1698	397	69	9	1	1	1	21158	26768	
2.5	-	9	406	3245	7844	7977	4305	1458	351	65	10	25670	52438			
3.5	-	2	113	1332	4599	6488	4716	2092	642	149	28	20161	72599			
4.5	-	-	30	469	2101	3779	3439	1876	696	192	43	12625	85224			
5.5	-	-	8	156	858	1867	2030	1307	564	180	46	7016	92240			
6.5	-	-	2	52	336	856	1077	795	390	140	40	3688	95928			
7.5	-	-	1	18	132	383	545	452	247	98	30	1906	97834			
8.5	-	-	-	6	53	172	272	250	150	65	22	990	98824			
9.5	-	-	-	2	22	78	136	137	90	42	15	522	99346			
10.5	-	-	-	1	9	37	70	76	53	26	10	282	99628			
11.5	-	-	-	-	4	18	36	42	32	17	7	156	99784			
12.5	-	-	-	-	2	9	19	24	19	11	4	88	99872			
13.5	-	-	-	-	1	4	10	14	12	7	3	51	99923			
14.5	-	-	-	-	1	5	13	19	19	13	7	77	100000			
total	8	326	3127	12779	24880	26874	18442	8949	3335	1014	266	100000				

Periode gelombang yang digunakan pada analisis gelombang kurun waktu panjang ini merupakan periode dimana jumlah kejadian gelombang terbanyak yang terjadi ketika tinggi gelombang 6.00 – 6.99 m. periode ini diambil pada data sebaran gelombang dunia yakni 9.5 s dikarenakan pada data sebaran gelombang perairan Indonesia tidak mencakup tinggi gelombang 6.00 – 6.99 m.

4.3 Analisis Gerakan *Self Propelled Coal Barge* (SPCB)

Setelah melakukan pemodelan SPCB langkah selanjutnya adalah analisis gerakan SPCB pada kondisi *free floating*. Analisis gerakan ini dibantu dengan menggunakan aplikasi MOSES. Hasil analisis dari Moses ini adalah RAO motion. Dari RAO motion ini dapat diketahui karakteristik gerakan kapal pada mode gerakan *surge*, *heave*, *sway*, *roll*, *pitch* dan *yaw*. Dalam input untuk software Moses dibutuhkan nilai radius girasi yang digunakan untuk menghitung inersia kapal yang nilai radius girasi tersebut diperoleh dari harga titik berat kapal. Titik berat kapal ini bergantung pada kondisi pembebanan pada kapal.

Analisis gerakan SPCB pada tugas akhir ini dilakukan pada kondisi pembebanan full dan arah datang gelombang dari arah head seas (180°). Dalam input untuk software Moses dibutuhkan nilai radius girasi yang berhubungan dengan 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.

4.3.1 Perhitungan Titik Berat *Self Propelled Coal Barge* (SPCB)

Meninjau pemodelan SPCB pada maxsurf dan MOSES yang hanya dimodelkan bagian lambung kapalnya saja, maka *center of gravity* dari lambung kapal tersebut perlu dikoreksi dengan menambahkan *point mass* dari bangunan atas, tangki 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 kapal yang akan semakin bertambah seiring dengan penambahan massa baru pada SPCB.

Titik Berat terhadap FP (kondisi muatan penuh)		
COG X (meter)	COG Y (meter)	COG Z (meter)
46.0290	0,0000	8.1861

4.3.2 Perhitungan Radius Girasi *Self Propelled Coal Barge* (SPCB)

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

- 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)

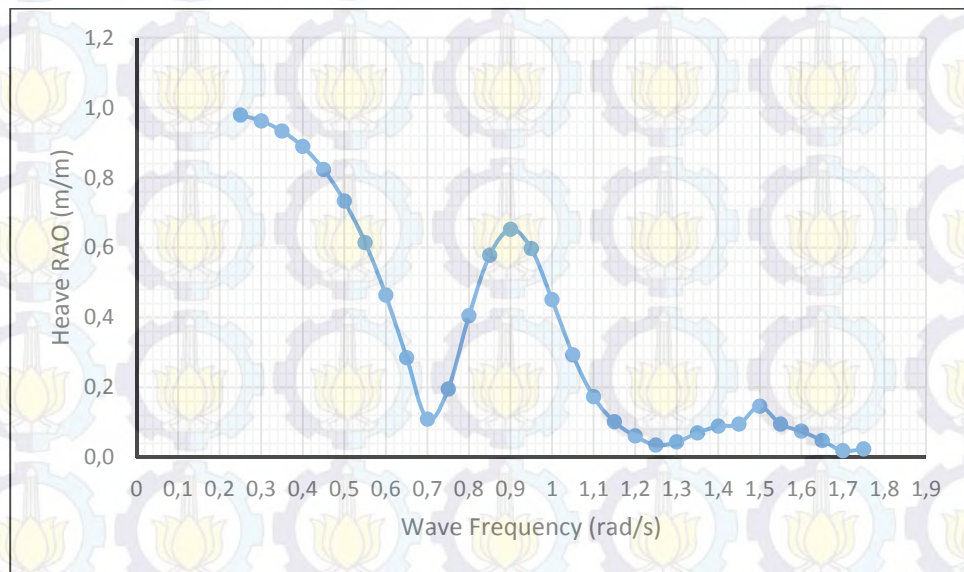
L = *Length of Water Line* (meter)

Berikut ini hasil dari perhitungan *center of gravity* dan radius girasi kapal dalam kondisi full load

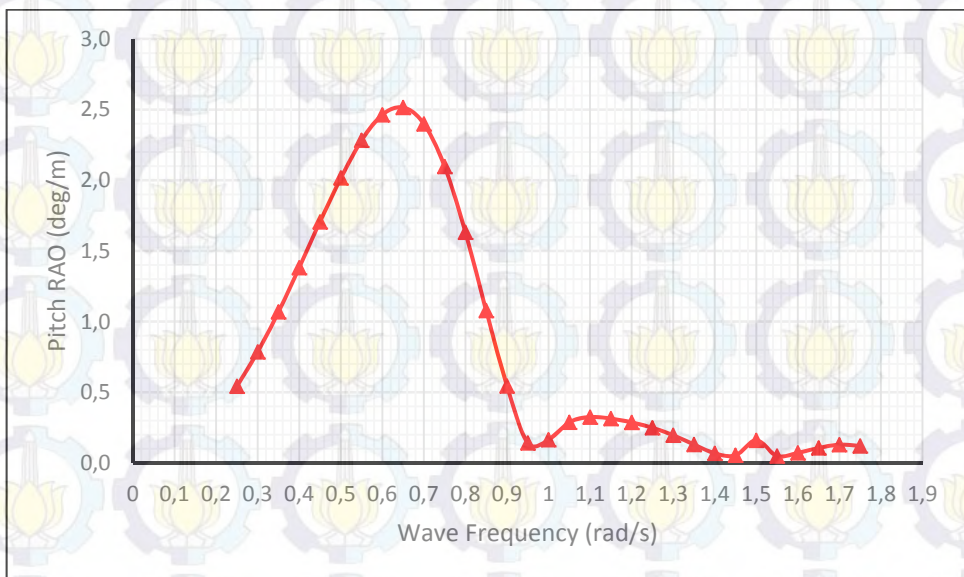
Radius Girasi		
k_{xx} (meter)	k_{yy} (meter)	k_{zz} (meter)
10.19896	26,14242	26,14242

4.3.3 RAO Gerakan SPCB Odissei

Analisis gerakan SPCB pada tugas akhir ini dilakukan pada kondisi pembebanan full dan arah datang gelombang dari arah head seas (180°) dengan gerakan yang dianalisa adalah Heave dan Pitch



Gambar 4.4 Grafik RAO gerakan Heave SPCB Odissei pada kondisi *full condition*



Gambar 4.5 Grafik RAO gerakan Pitch SPCB Odissei pada kondisi *full condition*

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa *heave* tertinggi ialah sebesar 0.979 (m/m) pada frekuensi(ω) 0.25rad/s, *pitch* maksimum sebesar 2.514 (deg/m) pada frekuensi(ω) 0.65 rad/s.

4.4 Distribusi Beban

Pada suatu kapal memiliki berat yaitu LWT dan DWT. Pemodelan serta perhitungan dilakukan dengan kondisi pembebanan DWT dengan muatan

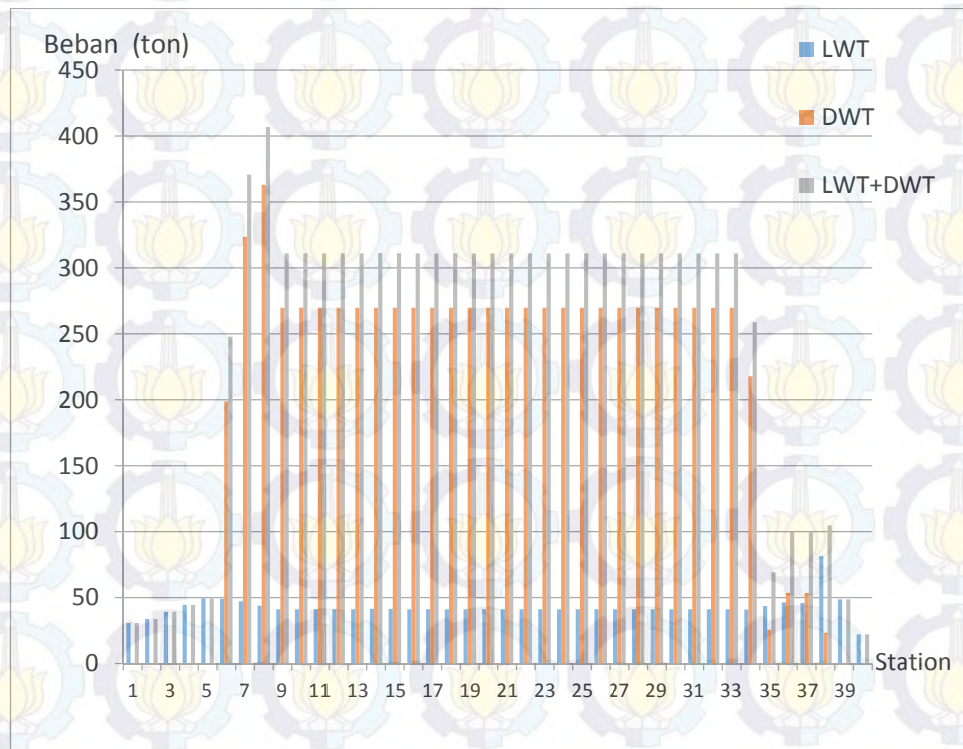
penuh. Perhitungan berat kapal digunakan untuk mengetahui gaya-gaya tekan ke bawah yang berkontribusi terhadap kekuatan memanjang kapal.

Tabel 4.7 Komponen Berat DWT

No.	Komponen SPCB	Berat (ton)
1	Batu Bara	7700
2	Bahan Bakar	94.45
3	Air Tawar	180.464
4	Minyak Pelumas	7.544
5	Logistik	20.82

Tabel 4.8 Komponen Berat LWT

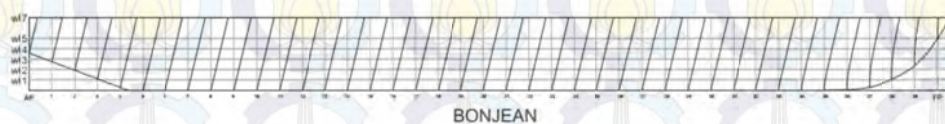
No.	Komponen SPCB	Berat (ton)
1	Berat Baja Kapal	1419.49
2	Accomodation Deck	11.105
3	Navigasi dan Komunikasi	8.05
4	Forecastle Deck	5.107
5	Upper Deck	100.847
6	Poop Deck	14.703
7	Side Wall	35.504
8	Pompa	5.22
9	Perpipaan	8.234
10	Anchor, Chain, Rudder	55.968
11	Ruang mesin dan permesinan	29.022
12	Poop Deck	14.703
13	Steering gear room dan equipment	5.681
	Total	1696.90



Gambar 4.6 Grafik Distribusi Beban SPCB pada kondisi Full Load

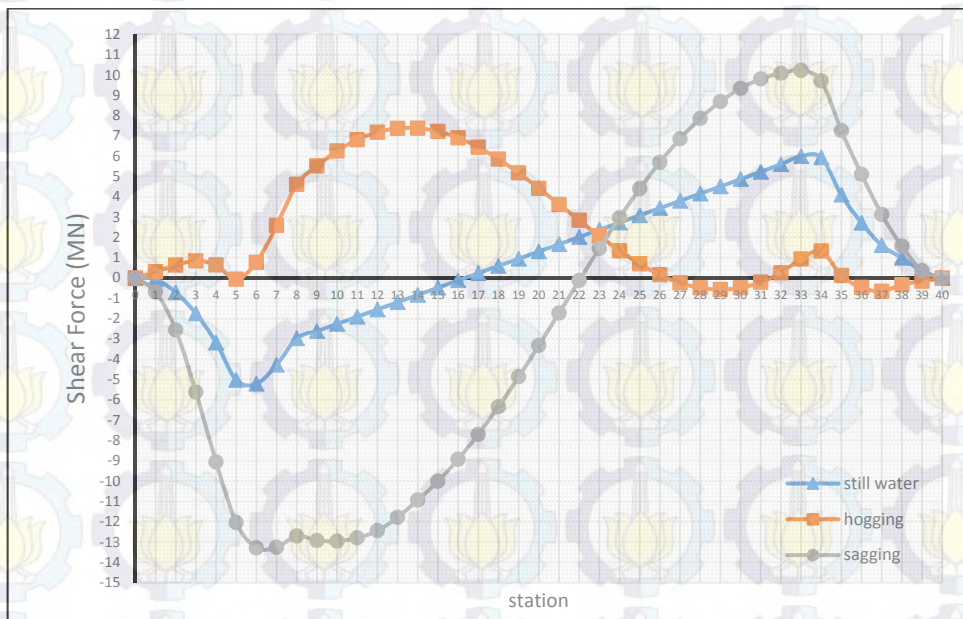
4.5 Analisa Gaya Geser dan Momen Lengkung (*Shear Force & Bending Moment*) pada Gelombang Reguler

Dalam perhitungan shear force dan bending moment luasan pada SPCB yang dipakai adalah luasan di bawah garis air. Oleh karena itu digunakan grafik bonjean untuk mengetahuinya. Pembebanan pada kondisi Hogging dan Sagging menggunakan tinggi gelombang $L/20 = 4,54$ m untuk mewakili tinggi gelombang maksimum pada gelombang reguler.



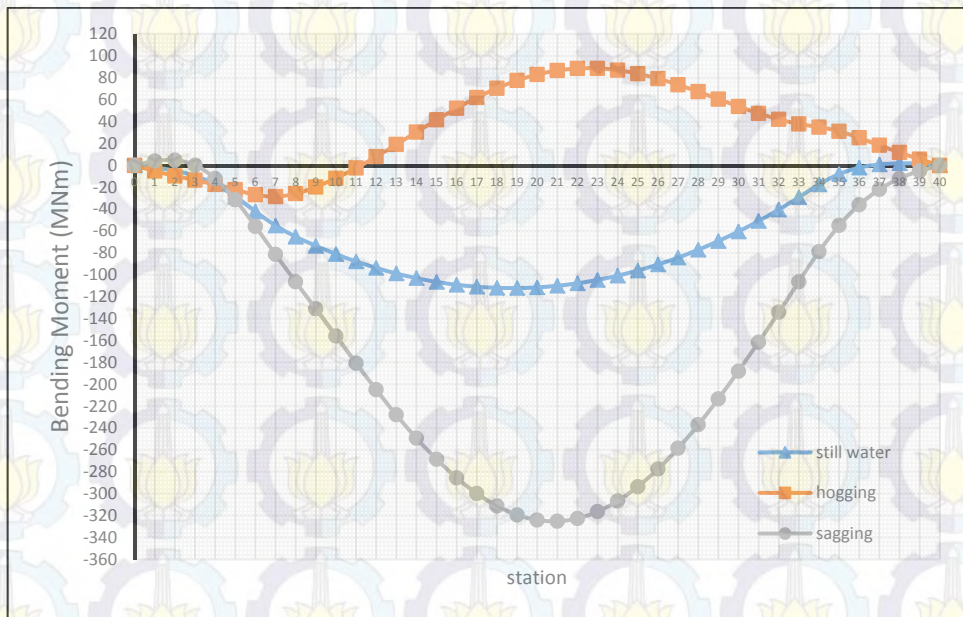
Gambar 4.7 Grafik Bonjean SPCB Odissei

Perhitungan kekuatan memanjang kapal dititik beratkan oleh pengaruh gelombang reguler dengan kondisi-kondisi batas pemodelan yang telah dilakukan dan *output* yang diperoleh serta perhitungan matematis dapat diperoleh sebaran gaya geser dan momen lengkung pada setiap *station*.



Gambar 4.8 Grafik shear force di gelombang regular pada kondisi air tenang, hogging dan sagging

Dari grafik shear force di atas didapatkan nilai gaya geser tertinggi ketika kondisi air tenang adalah 5.996 MN. Pada kondisi Hogging gaya geser terbesar adalah 7.378 MN. Dan pada saat Sagging gaya geser terbesar adalah 13.291 MN



Gambar 4.9 Grafik bending moment di gelombang regular pada kondisi air tenang, hogging dan sagging

Pada grafik bending moment gelombang regular di atas momen lengkung terbesar pada saat kondisi air tenang adalah 112.096 MNm. Pada kondisi Hogging momen lengkung terbesar adalah 88.689 MNm. Dan pada kondisi Sagging momen lengkung terbesar adalah 325.232 MNm

4.6 Analisa Gaya Geser dan Momen Lengkung (*Shear Force & Bending Moment*) dengan Metode Quasi Statis akibat Gerak Heave dan Pitch

Perhitungan dengan menggunakan metode quasi-statis adalah perhitungan dengan pendekatan statis terhadap perilaku dinamis objek. Dalam tugas akhir ini gerak objek, self propelled coal barge, ditinjau terhadap tiap-tiap siklus gelombang yang terjadi. Untuk perhitungan respon struktur dengan pendekatan Quasi-Statis, perhitungan dilakukan pada saat kapal bergerak kopel heave-pitch dengan tinggi gelombang unity (amplitudo=1m) dan menggunakan variasi sudut fase gelombang. Pemilihan tinggi gelombang unity dalam hal ini dimaksudkan untuk menjaga supaya kemiringan kapal dalam pengaruh gerakan kopel heave pitch tidak terlalu besar sehingga dapat mengakibatkan nilai shear force dan bending moment yang jauh lebih besar dari kondisi yang sebenarnya kapal ini beroperasi.

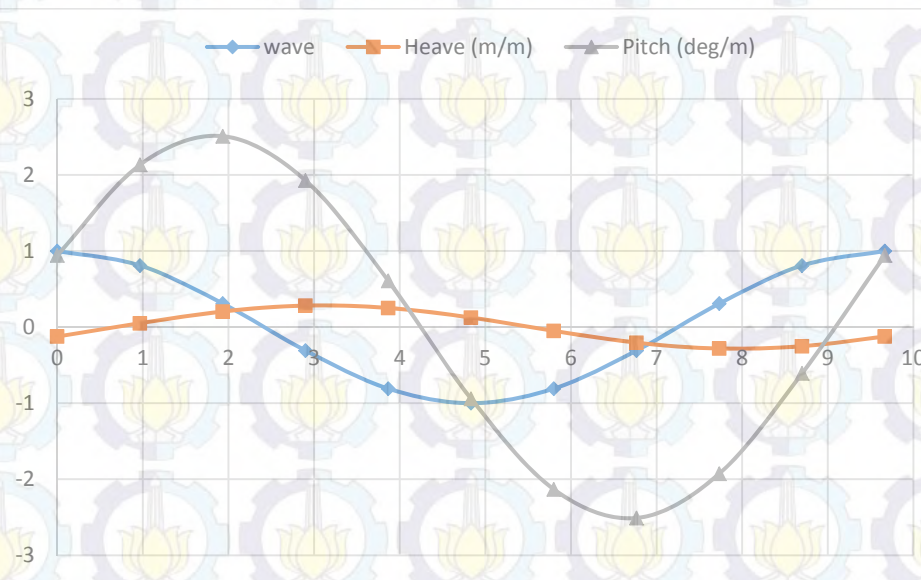
Pada perhitungan shear force dan bending moment dengan metode quasi statis ini perhitungan dilakukan pada sebelas frekuensi RAO hasil keluaran Moses. Yakni pada frekuensi 0.25, 0.35, 0.45, 0.55, 0.65, 0.75, 0.85, 0.95, 1.05, 1.15, 1.25 rad/s. Pada masing-masing frekuensi tersebut dilakukan analisis setiap periode per sepuluh pada tiap-tiap frekuensi yang sudah terpilih.

Berikut adalah contoh pengerjaan perhitungan shear force dan bending moment dengan metode quasi-statis untuk satu siklus pada frekuensi 0.65 rad/s

Tabel 4.9 Perhitungan pola gerakan frekuensi 0.65 rad/s dengan untuk satu siklus gerakan

t	Z_w (m)	Z_z (m)	Z_θ (m)
(s)	$(Z_w)_a \cos \omega_e t$	$(Z_z)_a \cos (\omega_e t + \epsilon_z)$	$(Z_\theta)_a \cos (\omega_e t + \epsilon_\theta)$
0.000	1.0000	0.0012	0.0014
0.125	0.9878	-0.0003	0.0008
1.933	0.3090	0.2050	2.5089
2.900	-0.3090	0.2822	1.9265
3.867	-0.8090	0.2516	0.6082
4.833	-1.0000	0.1249	-0.9424
5.800	-0.8090	-0.0495	-2.1330
6.767	-0.3090	-0.2050	-2.5089
7.733	0.3090	-0.2822	-1.9264
8.700	0.8090	-0.2516	-0.6082
9.666	1.0000	-0.1249	0.9424

Dari tabel diatas dapat diplot hubungan antara variasi periode sebagai absis dan persamaan gerak gelombang, *heave* dan *pitch* sebagai ordinat seperti gambar 4.10 berikut.



Gambar 4.10. Hubungan variasi periode dengan nilai persamaan gerak gelombang, *heave*, dan *pitch*.

Nilai persamaan gerak gelombang, *heave* dan *pitch* pada tiap variasi periode yang didapat dari tabel 4.9 diatas, digambar pada *bonjean curve*

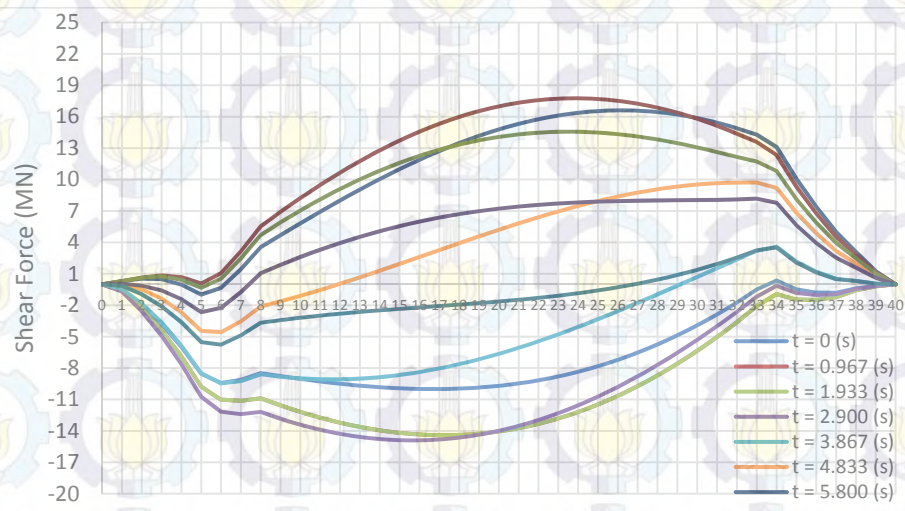
yang sudah dibuat pada Autocad untuk mendapatkan luasan pada tiap station. Seperti digambarkan pada gambar 4.11 berikut



Gambar 4.11 Posisi SPCB dalam satu siklus akibat pengaruh gerakan heave dan pitch pada frekuensi 0.65 rad/s

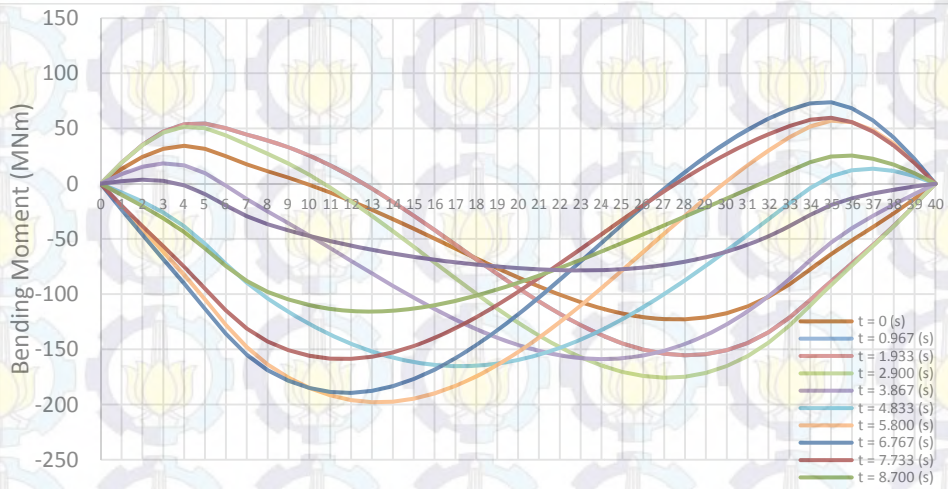
Perhitungan pola gerakan pada frekuensi yang lain dapat dihitung dengan menggunakan metode dan penjelasan yang sama seperti pada penjelasan diatas yang dapat dilihat semua pada lampiran. Dimana Z_w = gerakan gelombang, Z_z = gerakan heave, Z_θ = gerakan pitch. Dengan asumsi, Z_z bernilai positif menandakan *drillship* bergerak ke atas, Z_z bernilai negatif *drillship* bergerak ke bawah, sedangkan Z_θ bernilai positif menandakan haluan terangkat, dan Z_θ bernilai negatif haluan terbenam.

Berikut adalah grafik hasil perhitungan shear force dan bending moment dengan metode quasi statis pada frekuensi 0.65 rad/s.



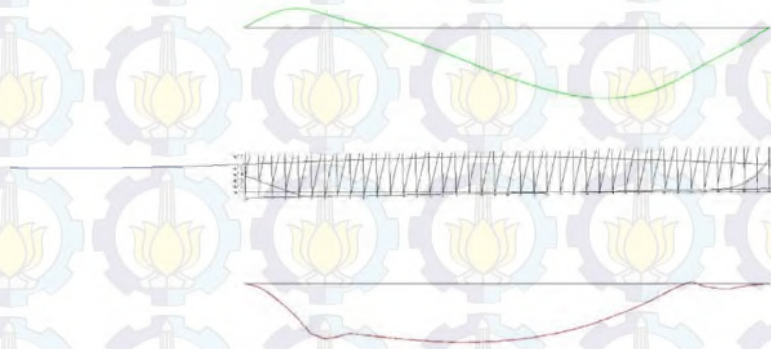
Gambar 4.12 Grafik shear force metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s

Dari gambar 4.10 menunjukkan pola *shear force* dengan variasi periode pada frekuensi 0.65 rad/s dengan panjang gelombang adalah 145.89 m. Dimana *shear force* terbesar terdapat pada periode 6.767 s senilai 17.7577 MN. Sedangkan gambar 4.11 di bawah menunjukkan pola *bending moment* dengan variasi periode pada frekuensi 0.65 rad/s dengan panjang gelombang adalah 145.89 m. Dimana *bending moment* terbesar terdapat pada periode 4.833 s senilai 197.374 MN.m

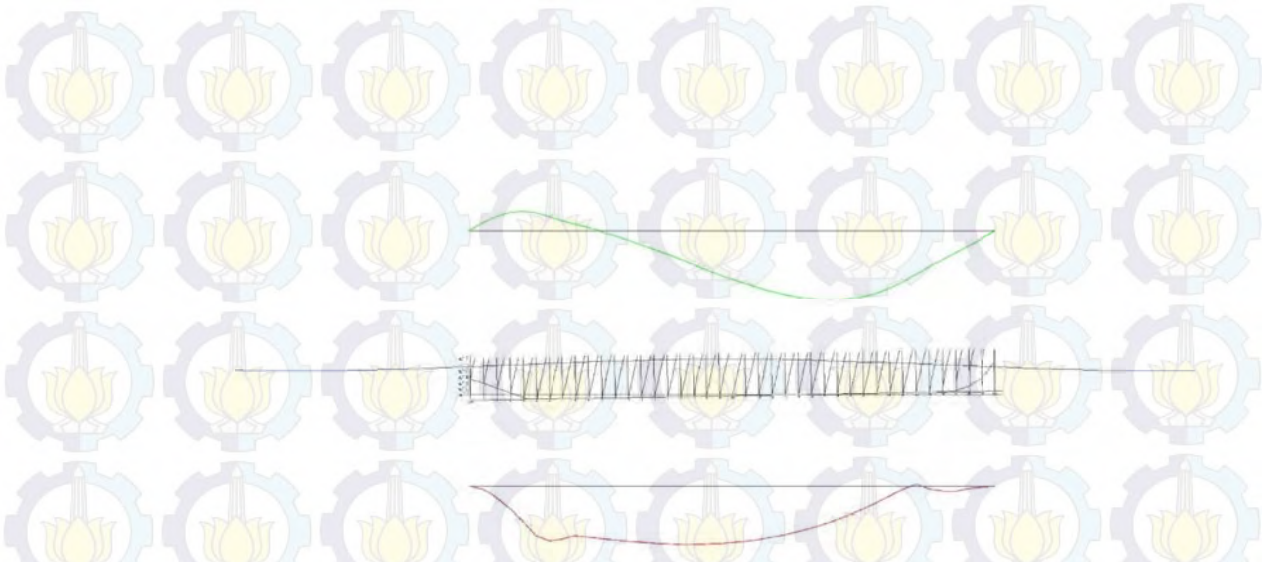


Gambar 4.13 Grafik bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s

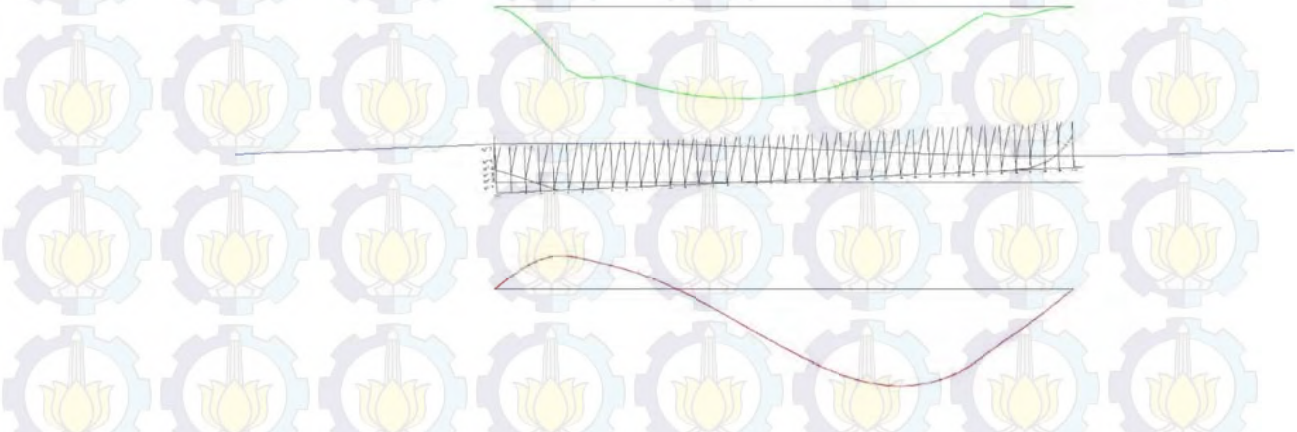
Untuk perincian shear force dan bending moment per Posisi SPCB dalam satu siklus akibat pengaruh gerakan heave dan pitch pada frekuensi 0.65 rad/s adalah sebagai berikut.



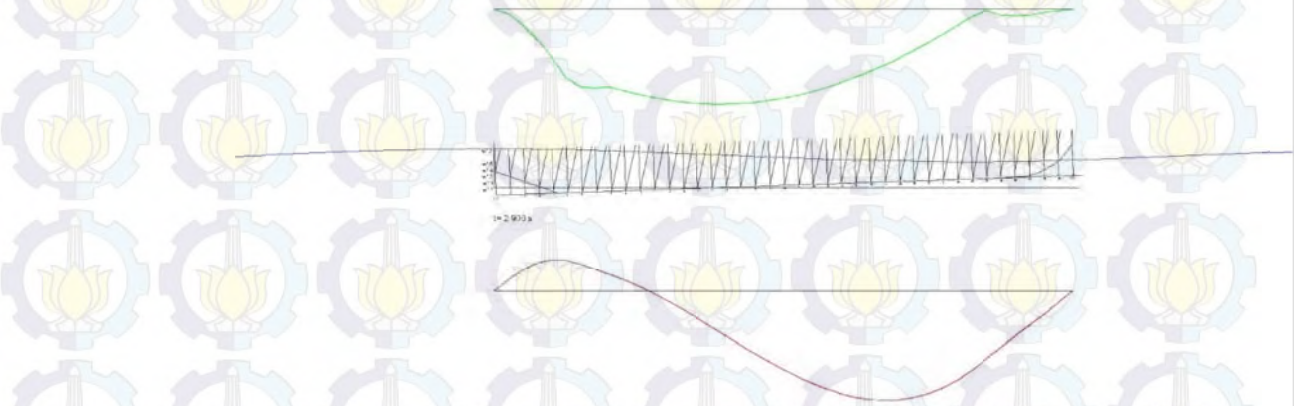
Gambar 4.14 Grafik shear force dan bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s pada t= 0 s



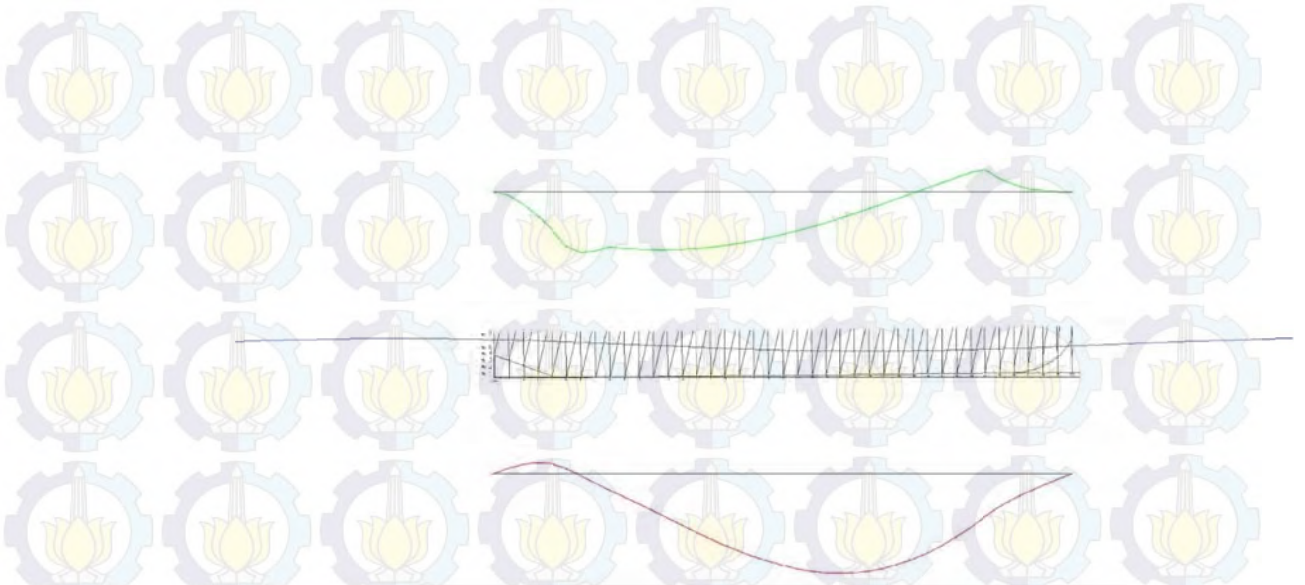
Gambar 4.15 Grafik shear force dan bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s pada $t = 0.967$ s



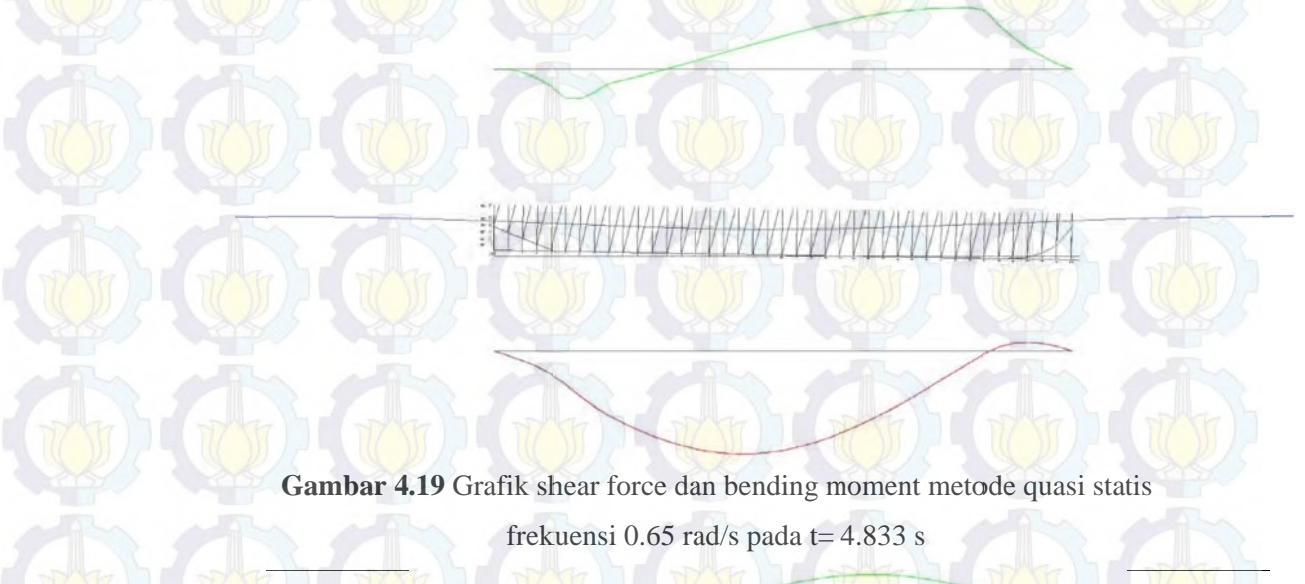
Gambar 4.16 Grafik shear force dan bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s pada $t = 1.933$ s



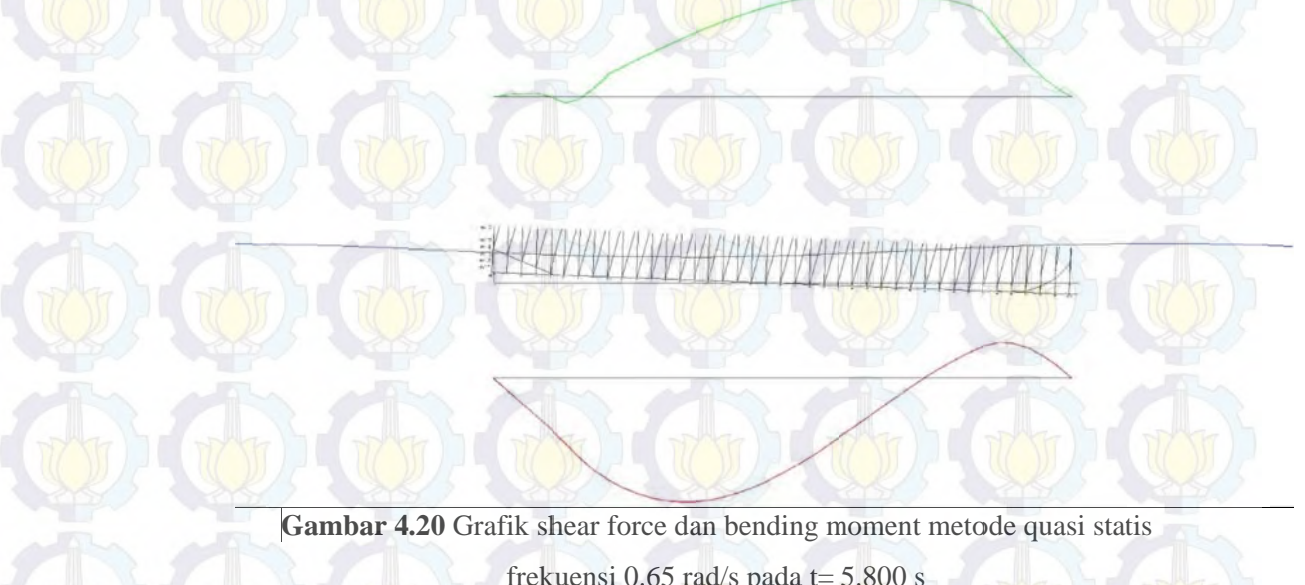
Gambar 4.17 Grafik shear force dan bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s pada $t = 2.900$ s



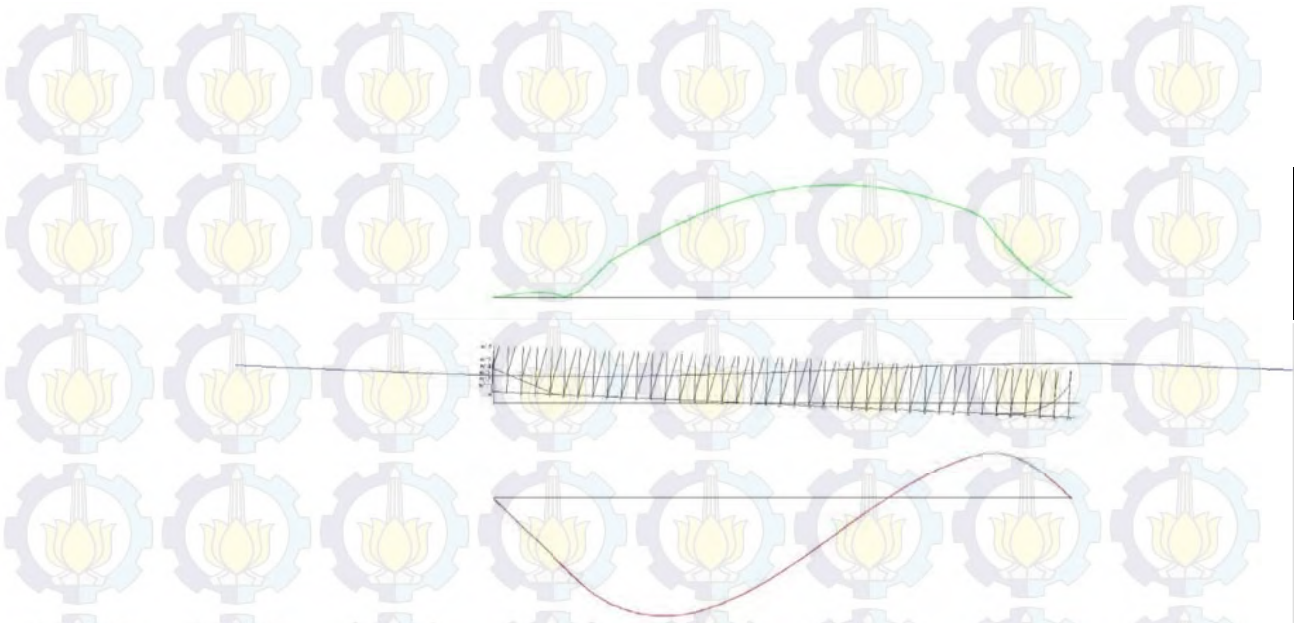
Gambar 4.18 Grafik shear force dan bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s pada $t = 3.867$ s



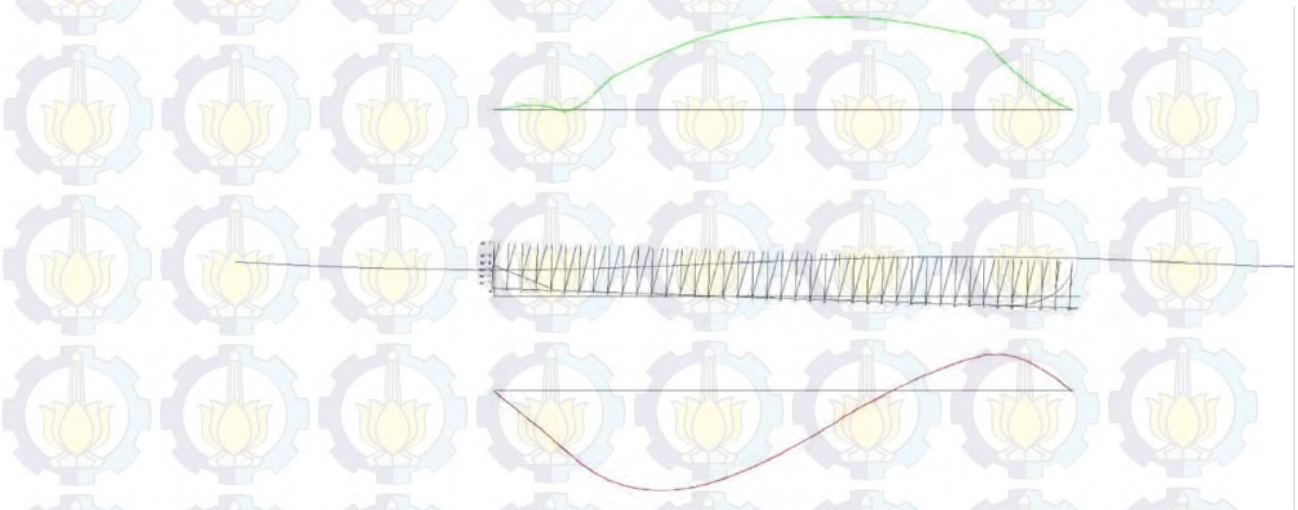
Gambar 4.19 Grafik shear force dan bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s pada $t = 4.833$ s



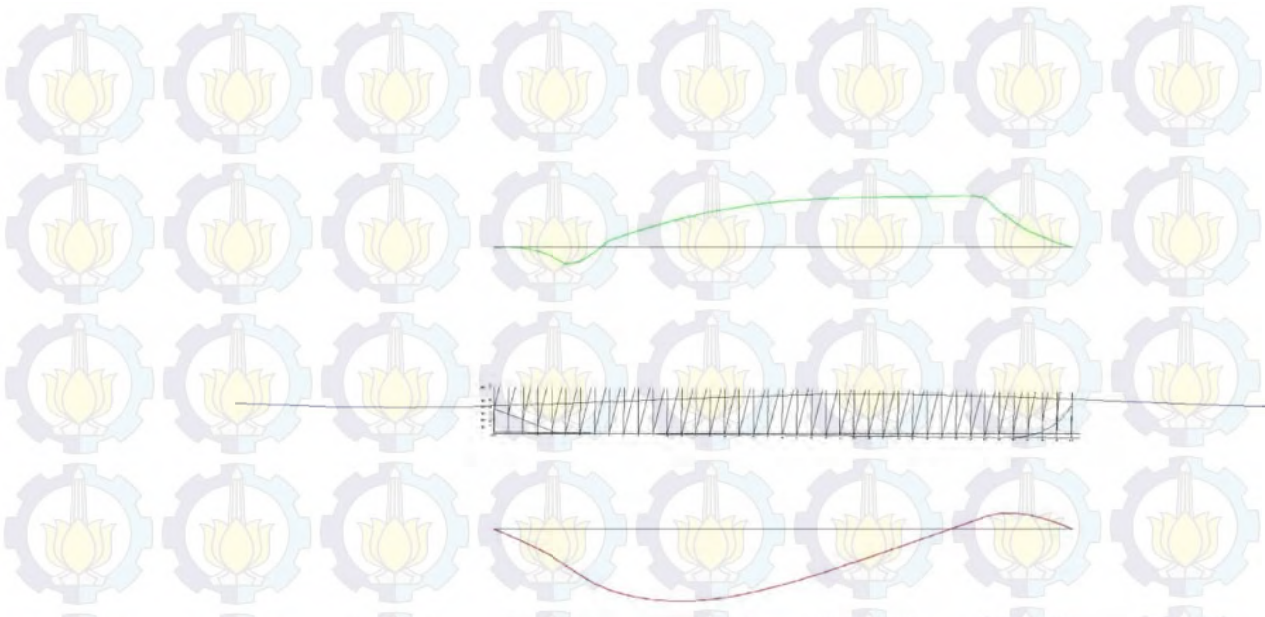
Gambar 4.20 Grafik shear force dan bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s pada $t = 5.800$ s



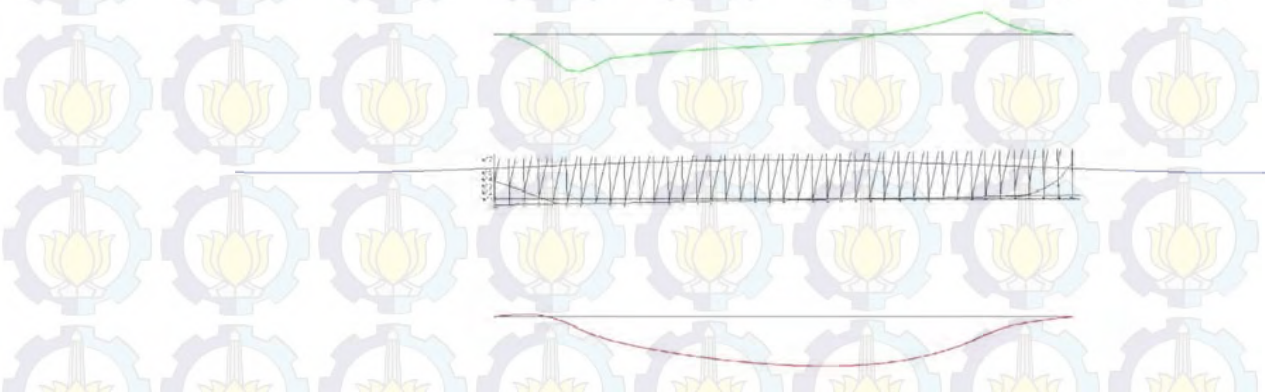
Gambar 4.21 Grafik shear force dan bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s pada $t = 6.767$ s



Gambar 4.22 Grafik shear force dan bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s pada $t = 7.733$ s



Gambar 4.23 Grafik shear force dan bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s pada t= 8.700 s



Gambar 4.24 Grafik shear force dan bending moment metode quasi statis frekuensi 0.65 rad/s pada t= 9.666 s

American Bureau Ship (ABS) memiliki standar tersendiri dalam penentuan perhitungan shear force dan bending moment. Dengan persamaan 2.16, 2.17, 2.18, dan 2.19. didapat

Hogging Moment (M_{wh}) = 256.9729 MNm

Sagging Moment (M_{ws}) = -268.3394 MNm

Untuk bagian $\frac{1}{4}$ AP yakni pada station 10

Positive Shear Force (F_{wp}) = 7.0513 MN

Negative Shear Force (F_{wn}) = -7.3631 MN

Untuk bagian midship yakni pada station 20

Positive Shear Force (F_{wp}) = 5.6024 MN

Negative Shear Force (F_{wn}) = -5.6024 MN

Untuk bagian ¼ FP yakni pada station 31

Positive Shear Force (F_{wp}) = 8.0034 MN

Negative Shear Force (F_{wn}) = -7.7483 MN

Dari hasil di atas terdapat perbedaan dengan hasil perhitungan quasi-statis, dan hasil perhitungan dari ABS tidak dapat menentukan dimana letak shear force dan bending momen maksimumnya.

4.7 RAO Shear Force dan Bending Moment

Berikut adalah hasil perhitungan analisis quasi statis pada masing-masing frekuensi. Perhitungan lengkap untuk dengan metode quasi statis ini terdapat pada lampiran. Bagian ¼ AP yang ditinjau dan memiliki Shear Force dan Bending Maksimum adalah pada station 10. Bagian tengah kapal yang ditinjau adalah station 20. Dan pada bagian ¼ FP bagian yang ditinjau adalah station 31.

Tabel 4.10 RAO Shear Force dan Bending Momen pada Bagian ¼ AP (station 10)

Frekuensi (rad/s)	1/4 AP (station 10)	
	Shear Force (MN/m)	Bending Moment (MN.m/m)
0.25	5.8226	85.4065
0.35	6.5521	99.7419
0.45	7.9768	127.8005
0.55	10.1077	170.9023
0.65	13.4064	185.1116
0.75	12.7698	174.2284
0.85	9.8884	131.3766
0.95	7.5564	130.2691
1.05	7.1438	111.5983
1.15	7.3140	102.5508
1.25	7.0706	118.5993

Tabel 4.11 RAO Shear Force dan Bending Momen pada Bagian Midship

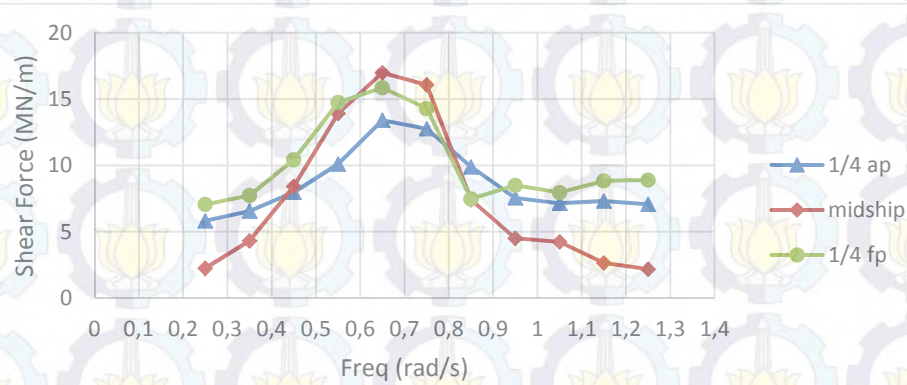
Frekuensi (rad/s)	Midship	
	Shear Force (MN/m)	Bending Moment (MN.m/m)
0.25	5.1673	116.8309
0.35	6.9778	122.4169
0.45	10.4374	142.3944
0.55	15.3738	180.2414
0.65	17.7577	197.9374
0.75	16.4553	192.2603
0.85	7.9352	206.9401
0.95	7.8198	198.9289
1.05	6.9611	172.0633
1.15	7.1692	129.2534
1.25	7.5912	140.0366

Tabel 4.12 RAO Shear Force dan Bending Momen pada Bagian 1/4 FP (station 31)

Frekuensi (rad/s)	1/4 FP (Station 31)	
	Shear Force (MN/m)	Bending Moment (MN.m/m)
0.25	7.0582	68.5543
0.35	7.7350	77.4467
0.45	10.4345	95.3595
0.55	14.7465	128.1098
0.65	15.8626	165.2108
0.75	14.2938	166.4346
0.85	7.4768	144.3671
0.95	8.5041	109.4913
1.05	7.9560	91.9988
1.15	8.8355	70.7252
1.25	8.9025	88.3789

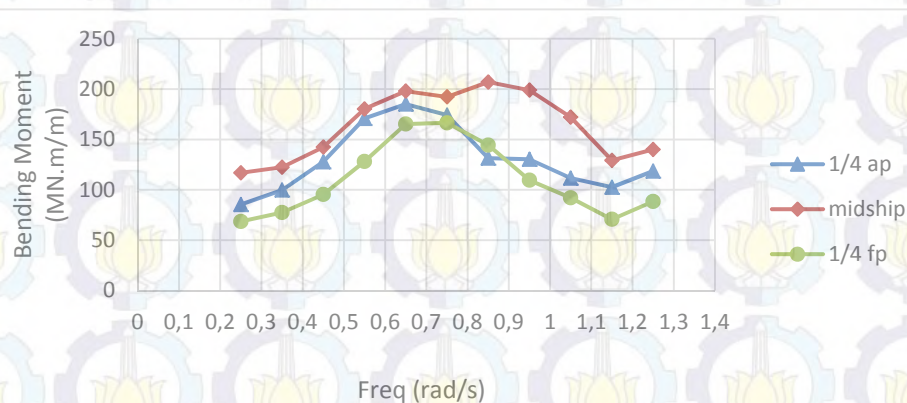
Dari semua perhitungan nilai shear force dan bending momen, nilai maksimum dari shear force dan bending moment untuk bagian 1/4 AP kapal, bagian Midship, dan bagian 1/4 FP kapal ditabulasikan sehingga

didapatkan RAO shear force dan RAO bending moment seperti pada di bawah ini



Gambar 4.25 RAO shear force SPCB Odissei

Pada RAO shear force hasil perhitungan metode quasi statis, RAO shear force dengan puncak tertinggi yakni pada bagian midship SPCB dengan nilai 17.577 MN/m pada frekuensi 0.65 rad/s. Begitu pula pada bagian ¼ AP dan ¼ FP SPCB RAO shear force maksimum juga terjadi pada frekuensi 0.65 rad/s dengan masing-masing nilai sebesar 13.4064 MN/m dan 15.8626 MN/m.



Gambar 4.26 RAO bending moment SPCB Odissei

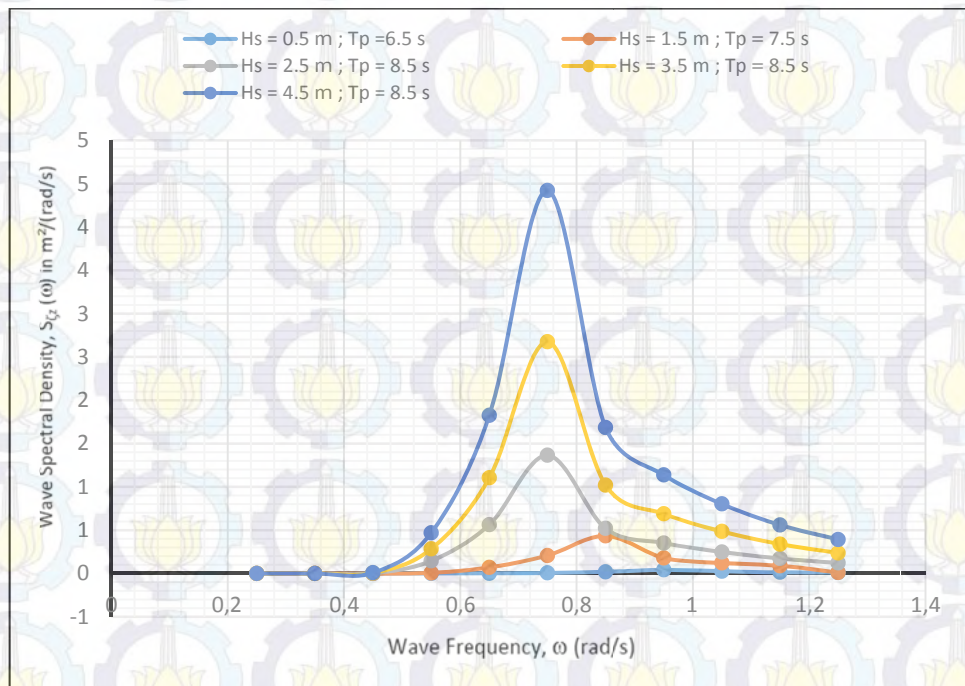
Pada RAO bending moment hasil perhitungan metode quasi statis, RAO bending moment dengan puncak tertinggi yakni pada bagian midship SPCB dengan nilai 206.9401 MNm/m pada frekuensi 0.85 rad/s. Pada

bagian $\frac{1}{4}$ AP SPCB RAO bending moment maksimum adalah sebesar 185.1116 MNm/m yang terjadi pada frekuensi 0.65 rad/s. Dan pada bagian $\frac{1}{4}$ FP SPCB RAO bending moment maksimum adalah sebesar 165.2108 MNm/m yang terjadi pada frekuensi 0.65 rad/s

4.8 Analisis Spektra Gelombang

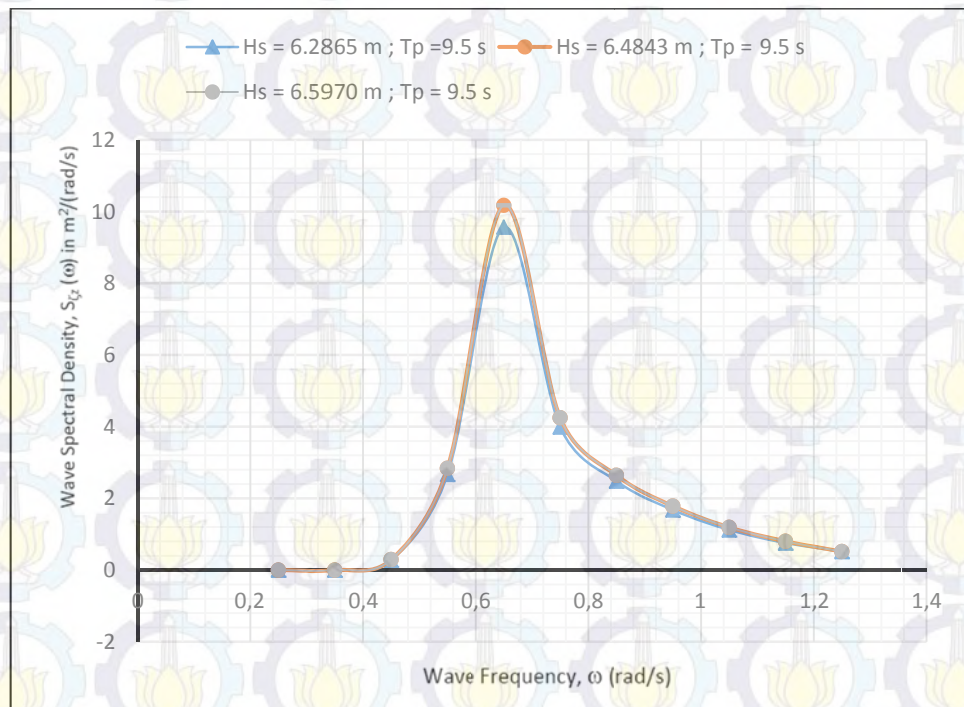
Analisis ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik respon gerakan struktur pada gelombang acak. Respon struktur pada gelombang acak dapat diperoleh dengan mengalikan harga kuadrat dari RAO tiap gerakan dengan spektra gelombang. Spektra gelombang yang sesuai dengan perairan Indonesia yang termasuk dalam kategori perairan terbuka adalah spektra gelombang JONSWAP seperti yang telah dijelaskan pada bab 2.

Untuk distribusi gelombang kurun waktu pendek terdapat lima variasi H_s dengan masing-masing T_p . Dengan bentuk kurva spektra seperti gambar di bawah selanjutnya dapat dihitung respon struktur SPCB di atas gelombang acak untuk perairan Indonesia pada kondisi operasi.



Gambar 4.27 Spektra Gelombang JONSWAP dengan variasi H_s pada distribusi gelombang kurun waktu pendek

Untuk distribusi gelombang kurun waktu panjang terdapat tiga variasi H_s dengan $T_p = 9.5$ s. Dengan bentuk kurva spectra seperti gambar 4.14 di bawah selanjutnya dapat dihitung respon struktur SPCB di atas gelombang acak untuk perairan Indonesia pada kondisi operasi 10 tahunan, 20 tahunan, dan 30 tahunan.



Gambar 4.28 Spektra Gelombang JONSWAP dengan variasi H_s pada distribusi gelombang kurun waktu panjang

4.9 Analisis Respon Struktur Ekstrem di Gelombang Acak

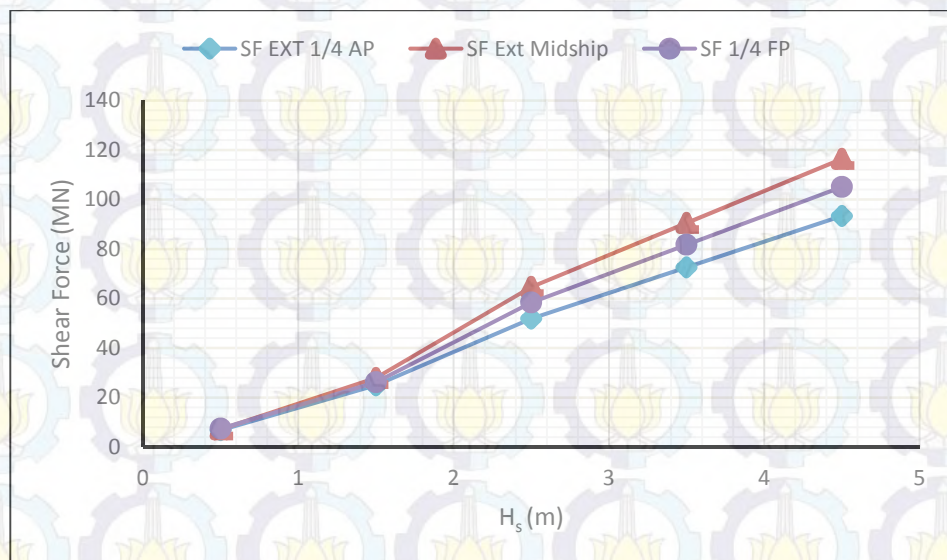
Analisa respon struktur pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar gaya yang dialami oleh struktur akibat eksitasi gelombang acak. Perhitungan gaya yang terjadi pada struktur akan dilakukan pada sarat air maksimum, yaitu 5 m dan menggunakan panjang gelombang yang divariasikan sesuai dengan frekuensi yang ditunjukkan pada RAO mode gerakan heave dan pitch.

Pembebanan gelombang akan menggunakan sudut datang gelombang dari arah 180° . Spektra yang digunakan adalah Spektra Gelombang JONSWAP dengan tinggi gelombang yang divariasikan. Pada perhitungan distribusi gelombang kurun waktu pendek H_s yang digunakan adalah pada $T_p = 6.5$ s pada $H_s = 0.5$ m, $T_p = 7.5$ s pada $H_s = 1.5$ m, $T_p = 8.5$ s pada $H_s = 2.5$ m, $T_p = 7.5$ s pada $H_s = 3.5$ m, $T_p = 8.5$ s pada $H_s = 4.5$ m. Sedangkan pada perhitungan distribusi gelombang kurun waktu panjang H_s

yang digunakan adalah $H_s = 6.2865$ m, $H_s = 6.4843$ m, dan $H_s = 6.597$ m.

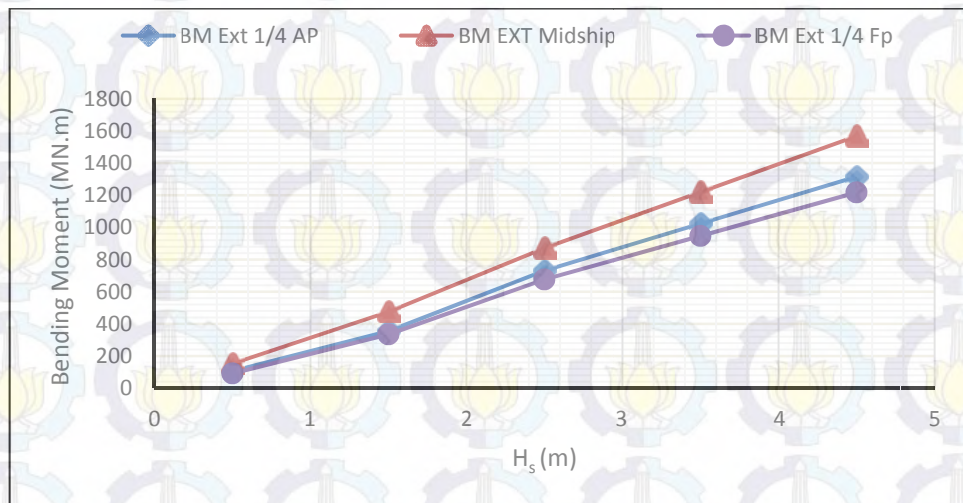
Berikut adalah hasil perhitungan respon struktur ekstrem yang paling mungkin terjadi yang pada SPCB untuk distribusi gelombang kurun waktu pendek dan panjang yang dilakukan pada bagian $\frac{1}{4}$ AP, Midship, dan $\frac{1}{4}$ FP dari SPCB untuk sudut datang gelombang 180° .

4.9.1 Analisis Respon Struktur Ekstrem pada Distribusi Gelombang Kurun Waktu Pendek



Gambar 4.29 Grafik hubungan H_s dengan Respon Struktur Ekstrem Shear Force yang paling mungkin terjadi

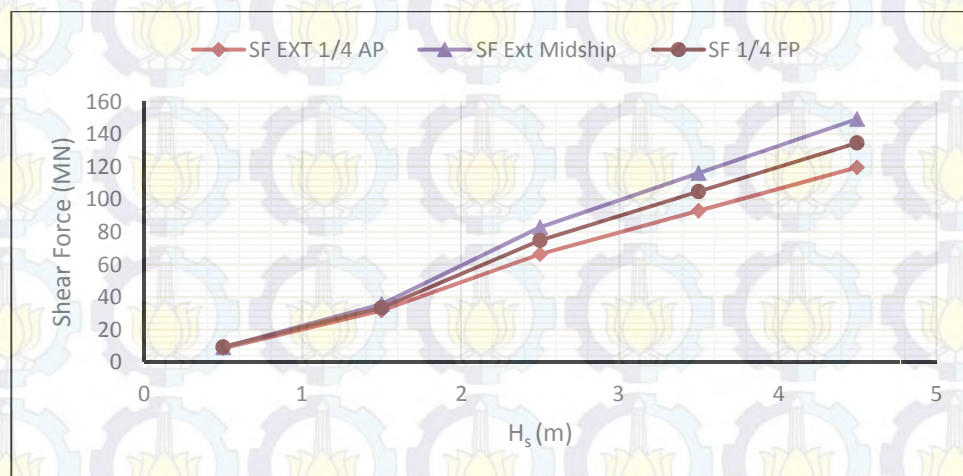
Gambar 4.29 di atas menunjukkan bahwa respon struktur ekstrem shear force terbesar yang paling mungkin terjadi adalah pada bagian tengah kapal, yakni pada midship. Dengan nilai sebesar 116.4 MN pada H_s 4.5 meter.



Gambar 4.30 Grafik hubungan H_s dengan Respon Struktur Ekstrem Bending Moment yang paling mungkin terjadi

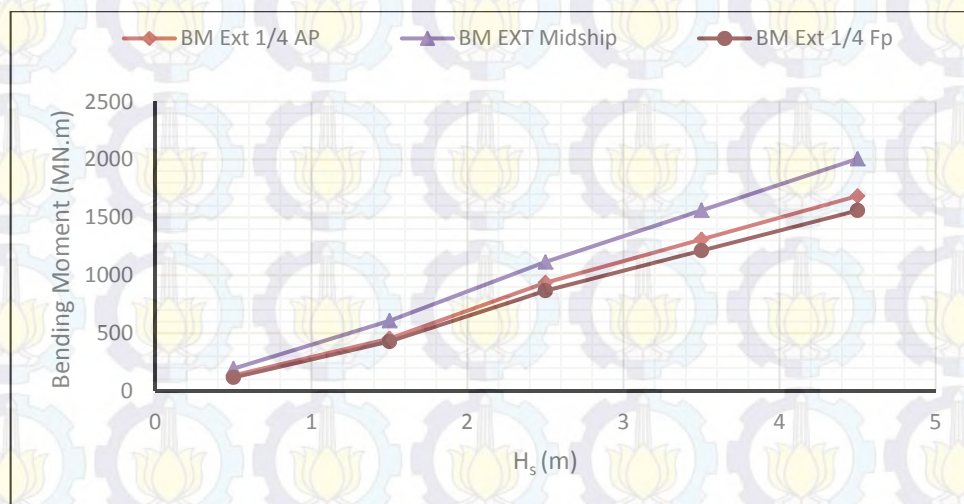
Grafik di atas menunjukkan menunjukkan bahwa respon struktur ekstrem bending moment terbesar yang paling mungkin terjadi adalah pada bagian tengah kapal. Dengan nilai sebesar 1568.3 MNm pada H_s 4.5 meter.

Sedangkan hasil dari perhitungan respons struktur ekstrim dengan peluang kejadian yang kecil atau tingkat keyakinan untuk tidak terlampaui sebesar 99% atau 0.99 dengan analisa kurun waktu pendek pada setiap bagian ditampilkan dalam grafik di bawah



Gambar 4.31 Grafik hubungan H_s dengan Respon Struktur Ekstrem Shear Force peluang kejadian kecil

Gambar 4.31 di atas menunjukkan bahwa respon struktur ekstrem shear force terbesar dengan peluang kejadian terkecil terjadi adalah pada bagian tengah kapal. Dengan nilai sebesar 149.20 MN pada H_s 4.5 meter.



Gambar 4.32 Grafik hubungan H_s dengan Respon Struktur Ekstrem Bending Moment peluang kejadian kecil

Grafik di atas menunjukkan menunjukkan bahwa respon struktur ekstrem bending moment terbesar dengan peluang kejadian terkecil terjadi adalah pada bagian tengah kapal. Dengan nilai sebesar 2006.3 MNm pada H_s 4.5 meter

4.9.2 Analisis Respon Struktur Ekstrem pada Distribusi Gelombang Kurun Waktu Panjang

Berikut adalah hasil perhitungan shear force dan bending moment pada SPCB untuk distribusi gelombang kurun waktu panjang. Sama dengan perhitungan shear force dan bending moment pada SPCB untuk distribusi gelombang kurun waktu pendek, perhitungan ini juga dilakukan pada bagian $\frac{1}{4}$ AP, Midship, dan $\frac{1}{4}$ FP dari SPCB untuk sudut datang gelombang 180° .

Tabel 4.13 Nilai maksimum respon struktur ekstrem untuk distribusi gelombang kurun waktu panjang yang paling mungkin terjadi

Respon Struktur	Kurun Waktu		
	10th	20th	30th
Shear Force pada 1/4 AP (MN)	125.83	129.77	132.04
Shear Force pada Midship (MN)	162.35	167.45	153.05
Shear Force pada 1/4 FP (MN)	148.40	153.05	155.73
Bending Moment pada 1/4 AP (MNm)	1810.92	1867.64	1900.38
Bending Moment pada Midship (MNm)	2097.49	2163.19	2201.11
Bending Moment pada 1/4 FP (MNm)	1611.57	1662.12	1691.18

Tabel 4.14 Nilai maksimum respon struktur ekstrem untuk distribusi gelombang kurun waktu panjang peluang kejadian paling kecil

Respon Struktur	Kurun Waktu		
	10th	20th	30th
Shear Force pada 1/4 AP (MN)	161.46	166.53	169.44
Shear Force pada Midship (MN)	208.54	215.09	218.85
Shear Force pada 1/4 FP (MN)	190.55	196.53	199.97
Bending Moment pada 1/4 AP (MNm)	2323.88	2396.69	2438.68
Bending Moment pada Midship (MNm)	2688.30	2772.52	2821.11
Bending Moment pada 1/4 FP (MNm)	2067.65	2131.52	2169.80

Perhitungan shear force dan bending moment baik pada analisa beban gelombang kurun waktu pendek maupun kurun waktu panjang menunjukkan bahwa shear force terbesar terjadi pada bagian tengah kapal. Begitu juga dengan nilai bending moment terbesar terjadi pada tengah kapal. Ini menunjukkan bahwa bagian tengah kapal sangat rentan terhadap beban gelombang.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini akan disampaikan kesimpulan dari kajian yang dilakukan. Kesimpulan disampaikan untuk menjadi jawaban spesifik pada pertanyaan-pertanyaan yang disampaikan pada rumusan masalah. 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-kesimpulan yang sekaligus menjawab perumusan masalah penelitian tugas akhir ini. Berikut kesimpulan dari Tugas Akhir ini :

1. Pada frekuensi rendah, karakteristik gerak *self-propelled coal barge* 8000 ton berada pada kondisi puncak utama dan kemudian menurun hingga pada frekuensi 0.9 rad/s naik lagi menuju puncak kedua. Hal tersebut terjadi karena adanya efek kopel gerakan *heave* dan *pitch*. Puncak kurva RAO pitch terjadi pada frekuensi 0.65 rad/s dengan harga 2.515 deg/m, yang merupakan frekuensi resonansi gerakan pitch. Meskipun nilai tertinggi berada pada frekuensi kecil, dimana merupakan gelombang panjang yang jarang terjadi, namun puncak kedua gerakan *heave* perlu dicermati lebih lanjut mengenai efek resonansi yang terjadi pada puncak kedua. Meskipun nilainya tidak terlalu besar, hal tersebut berpotensi memberikan dampak pada gerakan kapal di gelombang yang lebih tinggi.
2. Dengan menggunakan pendekatan quasi-statis, respons struktur *self-propelled coal barge* dalam bentuk *shear force* paling besar terjadi pada bagian *midship* dengan nilai 17.577 MN/m pada frekuensi 0.65 rad/s. Bending momen paling besar terjadi pada bagian *midship* SPCB dengan nilai

206.9401 MNm/m pada frekuensi 0.85 rad/s. Sedangkan secara keseluruhan pada gelombang reguler, *shear force* paling besar terjadi pada saat kondisi Sagging sebesar 13.291 MN, dan *bending moment* paling besar terjadi pada saat Sagging dengan nilai sebesar adalah 325.232 MNm.

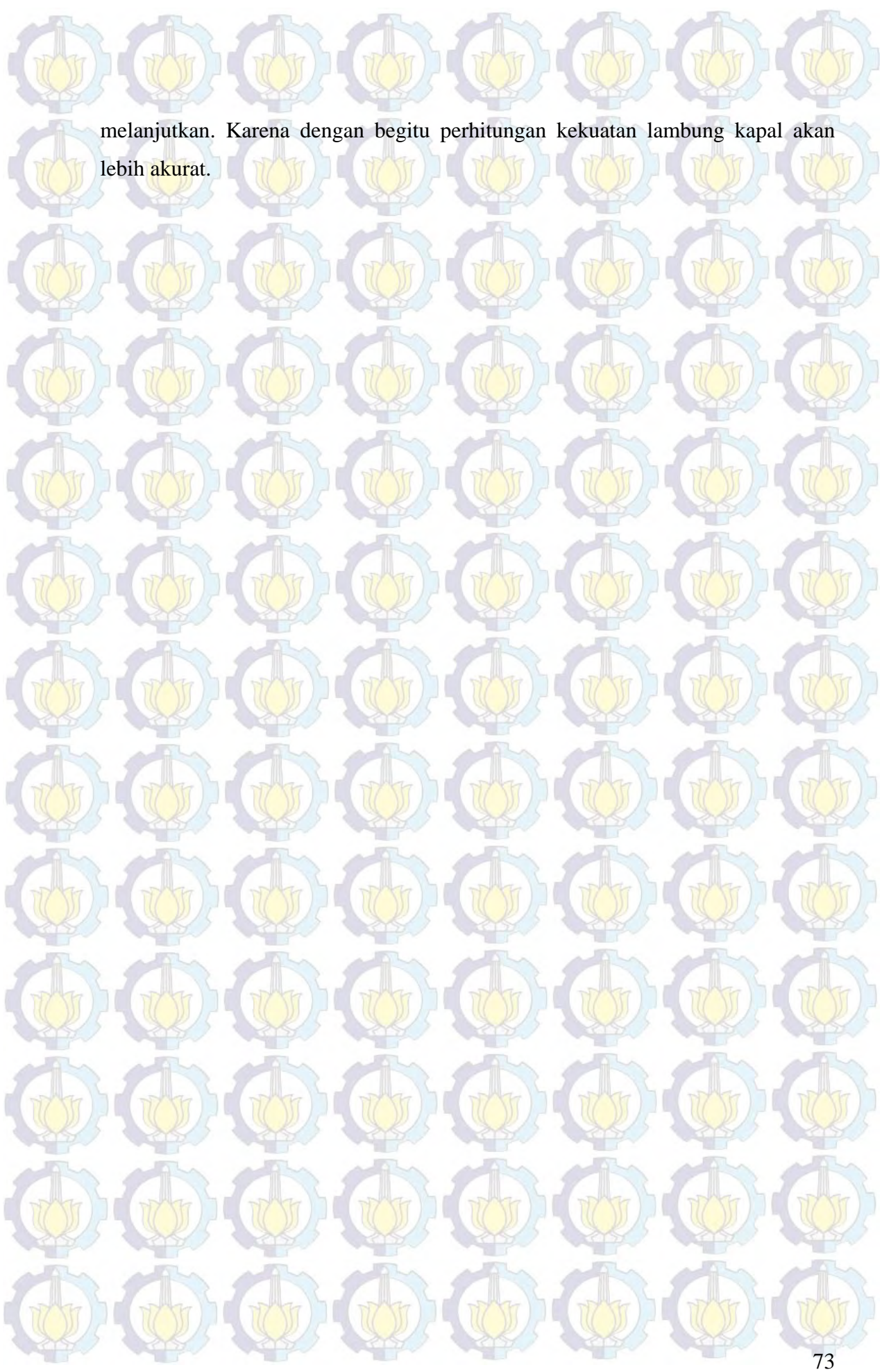
3. Pada analisis kurun waktu pendek, *shear force* terekstrem yang paling mungkin terjadi terdapat pada bagian *midship* pada saat $H_s = 4.5$ m dengan nilai 116.4 MN. Dan *Shear force* paling ekstrem dengan peluang kejadian kecil atau tingkat keyakinan untuk tidak terlampaui sebesar 99% atau 0.99 terdapat pada bagian *midship* dengan nilai 149.20 MN pada saat $H_s = 4.5$ m. Sedangkan *bending moment* terekstrem yang paling mungkin terjadi terdapat pada bagian *midship* pada saat $H_s = 6$ m dengan $T_p = 12.5$ s dengan nilai 1568.3 MN.m. Dan *Bending moment* paling ekstrem dengan peluang kejadian kecil terdapat pada bagian *midship* dengan nilai 2006.3 MN pada saat $H_s = 4.5$ m.

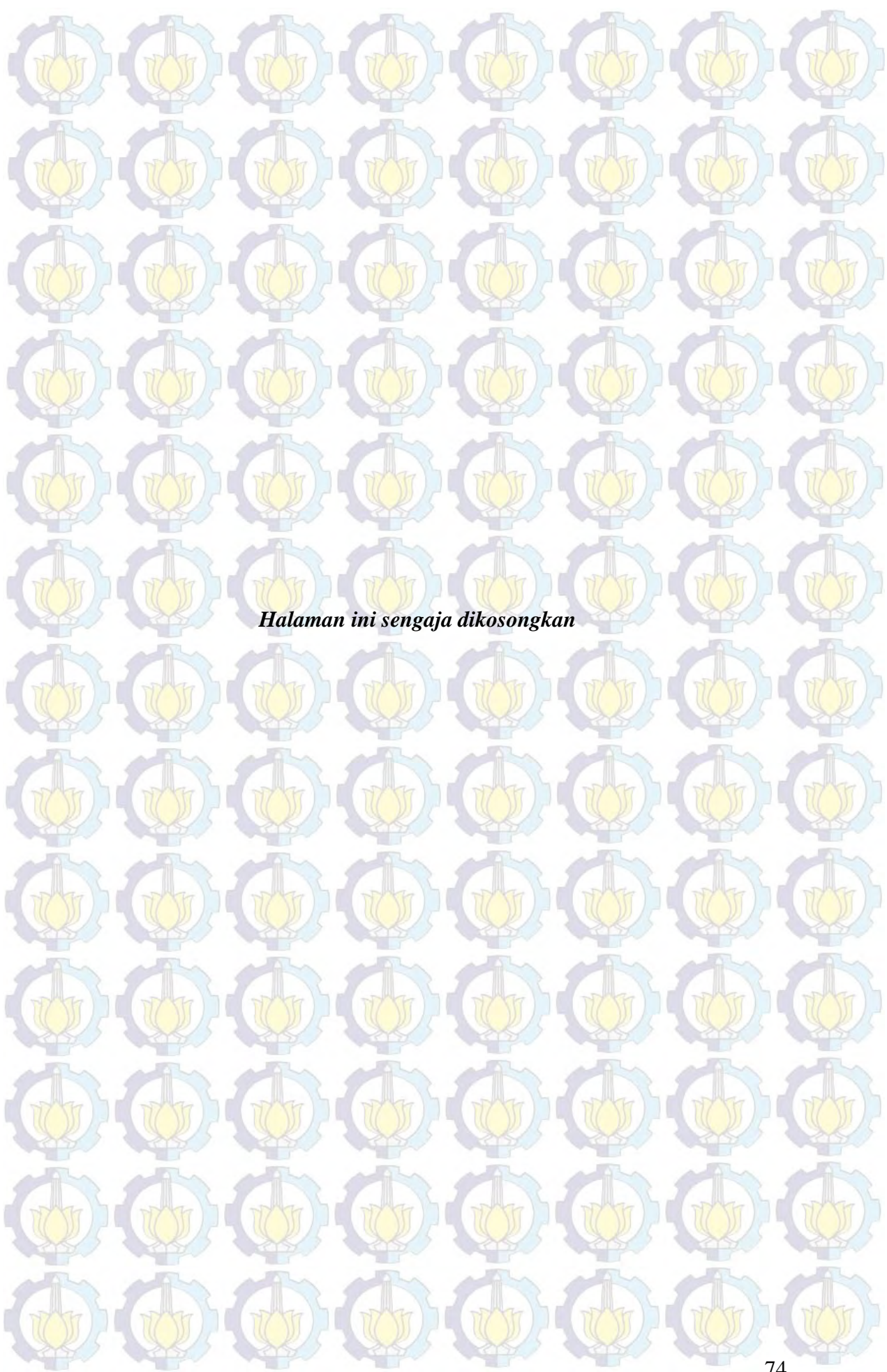
Dari masing-masing tinggi gelombang signifikan pada analisis kurun waktu -10, -20,-30 tahunan, yakni $H_s = 6.2865$ m, $H_s = 6.4843$ m, dan $H_s = 6.597$ m dengan $T_p = 9.5$ s. *Shear force* terekstrem yang paling mungkin terjadi terdapat pada bagian $\frac{1}{4}$ FP dengan nilai 155.73 MN. Sedangkan *bending moment* terekstrem yang paling mungkin terjadi terdapat pada bagian *midship* dengan nilai 2201.11 MN.m. Sedangkan *Shear force* paling ekstrem dengan peluang kejadian paling kecil terdapat pada bagian *midship* dengan nilai 218.85 MN. *Bending moment* paling ekstrem dengan peluang kejadian paling kecil terdapat pada bagian *midship* sebesar 2821.11 MN.m.

5.2. Saran

Tugas Akhir ini dapat dilanjutkan untuk memperkaya ilmu pengetahuan dan menambah fakta-fakta baru yang dapat menjadi pertimbangan dalam perancangan moda transportasi laut terutama *Self-Propelled Coal Barge*. Untuk menyempurnakan penelitian ini perhitungan modulus penampang tiap-tiap bagian kapal mulai buritan sampai haluan bisa dilakukan bagi peneliti yang berkenan

melanjutkan. Karena dengan begitu perhitungan kekuatan lambung kapal akan lebih akurat.





Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- ABS. 2013. Rules for Building dan Classing Steel Vessels Part 3 Section 1.
Vol. 2 Section 5. Bhattacharyya. R., 1978, *Dynamics of Marine Vehicles*, New York: John Wiley & Sons Inc.
- Chakrabarti, S.K., 1987, *Hydrodynamics of Offshore Structures*, USA: Computational Mechanics Publications Southampton.
- Djarmiko, E. B. and Murdijanto, 2003, *Seakeeping: Perilaku Bangunan Apung di atas Gelombang*, Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Indiyono, P., 2003, "*Hidrodinamika Bangunan Lepas Pantai*", SIC, Surabaya.
- Murtedjo, Mas dkk. 2013. "Analisis Sistem Distribusi Batubara dari *Coal Mining* hingga *Coal Mother vessel* di Provinsi Kalimantan".
- Murtedjo, M. 1990, "Teori Gerak". Fakultas Teknologi Kelautan, Surabaya.
- Ramadhan A., 2010, "Analisa Kekuatan Memanjang Double Hull CPO Barge Pengaruh Heaving-Pitching Couple dan Distribusi Beban". Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya
- Rawson, K.J., 2001, "Basic Ship Theory vol.1". London: Longman Group
- Soedjono, J. J., 1989, *Kuliah Perencanaan Sistem Bangunan Laut 1*, Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan.
- Tupper, E. 2002, "Introduction to Naval Architecture".
- Watson, David D.G.M., 1998, *Practical Ship Design*, UK: Elsevier Science Ltd
- Yunus, M., 2013, "Evaluasi Aspek Respon Struktur Global Akibat Beban Gelombang pada Perancangan *Drillship* Displasemen 35000 ton". Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya

BIODATA PENULIS



Razik Maulana Pahlevi, lahir di Malang, 22 April 1993. Pendidikan formal tingkat dasar di MIN Malang I (1999-2005), tingkat menengah pertama di MTsN Malang I (2005-2008) dan tingkat menengah atas di SMA N 3 Malang (2008-2010). Setelah lulus dari SMA N 3 Malang pada tahun 2010, Penulis melanjutkan studi S1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan- Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur PMDK Reguler. Selama menempuh masa kuliah penulis aktif pada organisasi minat bakat kampus di bidang olahraga air. Penulis juga aktif di berbagai kegiatan sebagai panitia maupun peserta. Berbagai pelatihan dan seminar pernah diikutinya dalam rangka untuk pengembangan dirinya. Penulis pernah menjabat sebagai Ketua Divisi Dayung Unit Kegiatan Mahasiswa Olah Raga Air ITS pada 2011-2012 dan Ketua Umum Unit Kegiatan Mahasiswa Olah Raga Air ITS pada 2012-2013. Penulis memiliki minat di bidang hidrodinamika dan struktur lepas pantai sehingga tugas akhir yang diambil berhubungan dengan olah gerak bangunan apung dan respon struktur bangunan apung lepas pantai.



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Rencana Garis *Self-Propelled Coal Barge* (SPCB) “Odisei”

LAMPIRAN B *General Arrangement Self-Propelled Coal Barge* (SPCB) “Odisei”

LAMPIRAN C Pemodelan *Self-Propelled Coal Barge* (SPCB) “Odisei”

LAMPIRAN D Perhitungan COG dan Radius Girasi *Self-Propelled Coal Barge*
(SPCB) “Odisei”

LAMPIRAN E Input Command untuk Moses

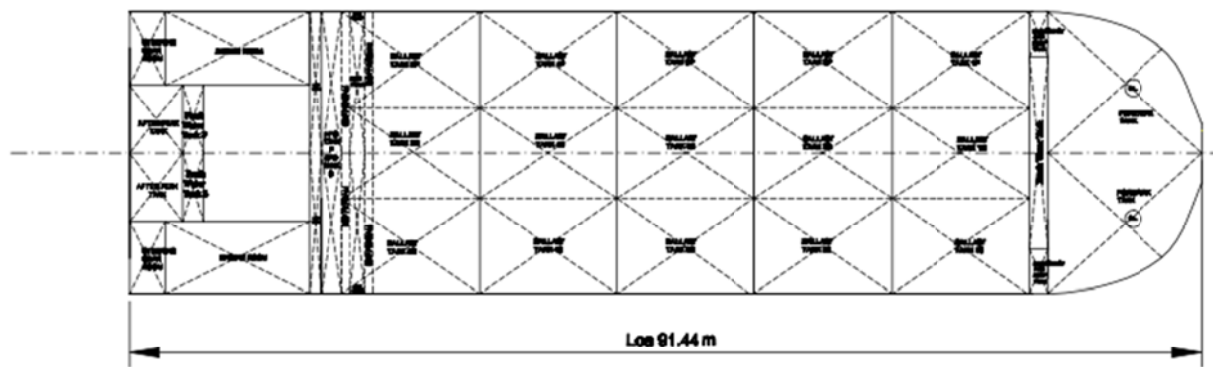
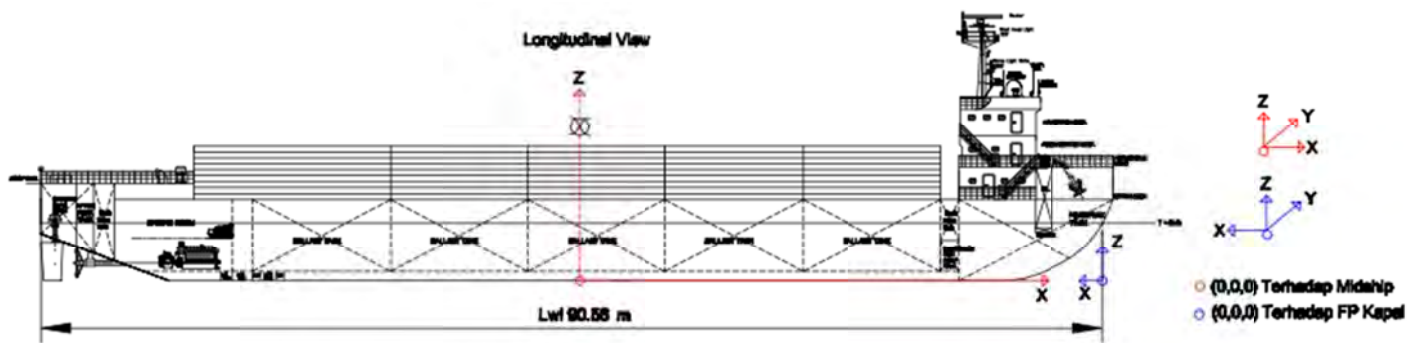
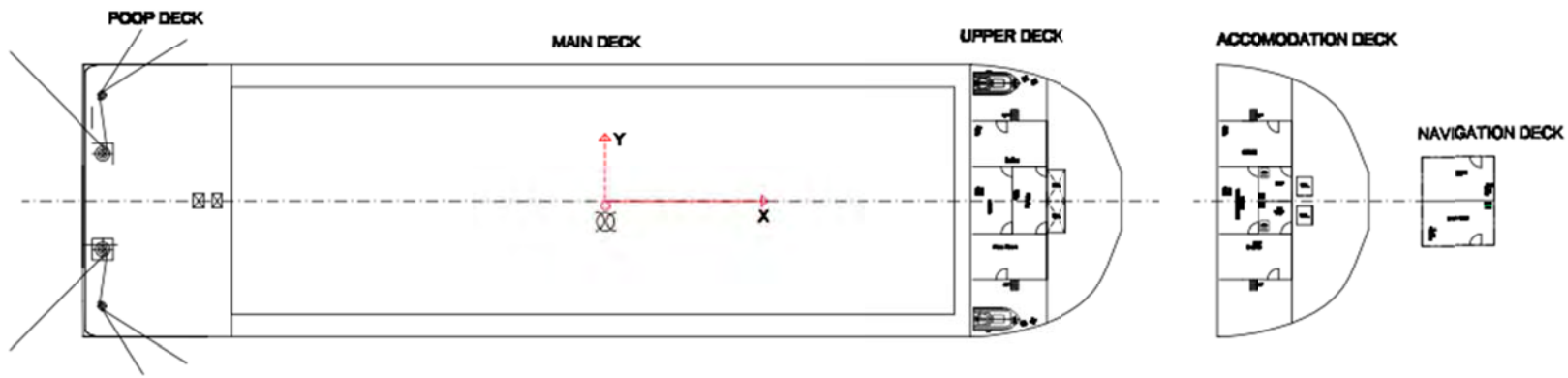
LAMPIRAN F Output Moses RAO

LAMPIRAN G Distribusi Beban LWT dan DWT *Self-Propelled Coal Barge* (SPCB)
“Odisei”

LAMPIRAN H Perhitungan Shear Force dan Bending Moment pada Gelombang
Reguler

LAMPIRAN I Perhitungan Shear Force dan Bending Moment dengan Metode Quasi-
Statis

LAMPIRAN J Perhitungan Shear Force dan Bending Moment pada Gelombang Acak



PRINCIPAL DIMENSION

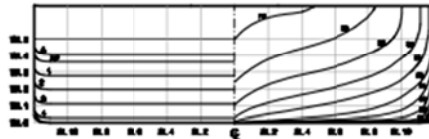
LPP	: 88.21 m
LWL	: 90.55 m
LOA	: 91.44 m
B	: 24 m
H	: 7 m
T	: 8 m
Vs	: 7 MW
Cb	: 0.871
Type	: Self Propelled Barge

NO-0136 - TUGAS AKHIR			
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY			
DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING			
SEALU TOGETHER INSTITUTE OF TECHNOLOGY			
SELF PROPELLED-COAL BARGE 6000 DWT			
General Arrangement PB COAL-000512			
Date	: 1-0-2025	Uptask	: 2025
Revisi	: 1 (dua kali)		
Revisi	: 1 (dua kali) 02025-05-10		02/1
13-05-2025			02/1/2025

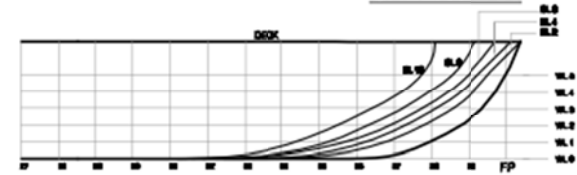
SHEER PLAN



BODY PLAN



SHEER PLAN



HALFBREADTH PLAN



TABLE ORDINATE OF HALF BREADTH (mm)

Ordinate	AP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	FP
BL.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BL.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BL.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BL.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BL.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BL.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TABLE ORDINATE OF HEIGHT ABOVE BASELINE (mm)

Ordinate	AP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	FP	
BL.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
BL.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BL.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BL.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BL.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BL.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

PRINCIPAL DIMENSION

- LPP : 88.21 m
- LWL : 88.89 m
- LOA : 91.44 m
- B : 34 m
- H : 7 m
- T : 8 m
- Vb : 7 mm
- Cb : 0.871
- Type : Self Propelled Barge

HO-0706 - TUGAS AKHIR

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF OCEAN TECHNOLOGIES
SEBELUM KEMERDEKAAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SELF PROPELLED-COAL BARGE 6000 DWT
General Arrangement 70 COAL-000602

Date : 4/2024	Subject :	Date :	Sheet :
Group : 1/2024			
Sheet : 1/2024			
18/07/2024		4/19/2024	

MODEL PLANE SELF PROPELLED COAL BARGE ODISSEI

```
$
$
$@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
$@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
$@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
$
$
$d.section SPB COAL-ODISSEI42 GO
$d.out
$d
$d USE_VES COAL-ODISSEI42
$d
$d Main Particulars: 91.44 X 24.00 X 7 meter
$d Light Ship Weight: 1886.7 ton
$d
$d
$d
$d
$d
$d
$d
$d
$d
$d
$
$
$@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
$@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
$@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
$
$
$***** local variables
$
&local lft hft bft litl bigl d_type win_cur plate
$
$***** factors for dimen
$
&if &uname(bl) .ne. 'meters' &then
  &set bigl = &number(real 3.28)
  &set litl = &number(real 1./25.4)
&else
  &set bigl = 1
  &set litl = 1
&endif
&dimen -save -dimen meters m-tons
&default -save
$
$***** basic variables
$
&set vname = ODIS
&set v_npref = *b@
&set ves_type = carrier
&set lwa_ok = .false.
&set cmp_ok = .false.
&set flex_ok = .false.
$
$***** diffraction type
$
&if &v_exist(diftyp) &then
  &set d_type = %diftyp
&elseif &v_exist(diftype) &then
  &set d_type = %diftype
&else
  &set d_type = strip
&endif
$
$***** wind & current
$
&set win_cur =
&if &v_exist(v_cur) &then
  &set win_cur = %win_cur -cs_curr &number(scale %v_cur .2 1. 1. )
&endif
&if &v_exist(v_win) &then
  &set win_cur = %win_cur -cs_wind &number(scale %v_win 1. 1. 1. )
&endif
$
$***** structural model
```



```

plane 6.699 -cart 0 0.27 \
            -cart 0.1556 0.4 \
            -cart 0.4728 0.6 \
            -cart 0.8885 0.8 \
            -cart 1.5994 1.05 \
            -cart 2.088 1.2 \
            -cart 2.8837 1.4 \
            -cart 3.7902 1.6 \
            -cart 4.7303 1.8 \
            -cart 5.615 2 \
            -cart 6.3948 2.2 \
            -cart 7.0539 2.38 \
            -cart 7.7226 2.6 \
            -cart 8.2743 2.8 \
            -cart 8.7414 3 \
            -cart 9.1304 3.2 \
            -cart 9.4388 3.4 \
            -cart 9.6916 3.6 \
            -cart 9.9496 3.8 \
            -cart 10.2153 4 \
            -cart 10.4499 4.2 \
            -cart 10.6248 4.4 \
            -cart 10.7469 4.6 \
            -cart 10.8314 4.8 \
            -cart 10.9127 5
plane 8.932 -cart 0 0.06 \
            -cart 0.4543 0.2 \
            -cart 1.4093 0.4 \
            -cart 2.6228 0.6 \
            -cart 3.8093 0.8 \
            -cart 5.2325 1.05 \
            -cart 5.966 1.2 \
            -cart 6.8928 1.4 \
            -cart 7.6897 1.6 \
            -cart 8.3739 1.8 \
            -cart 8.9429 2 \
            -cart 9.4148 2.2 \
            -cart 9.7671 2.38 \
            -cart 10.0795 2.6 \
            -cart 10.3189 2.8 \
            -cart 10.5503 3 \
            -cart 10.7448 3.2 \
            -cart 10.9269 3.4 \
            -cart 11.0851 3.6 \
            -cart 11.2161 3.8 \
            -cart 11.3069 4 \
            -cart 11.3769 4.2 \
            -cart 11.4277 4.4 \
            -cart 11.4769 4.6 \
            -cart 11.5162 4.8 \
            -cart 11.5566 5
plane 11.165 -cart 0 0 \
            -cart 1.5859 0.1 \
            -cart 3.2053 0.2 \
            -cart 5.7422 0.4 \
            -cart 7.2831 0.6 \
            -cart 8.2284 0.8 \
            -cart 8.9133 1 \
            -cart 9.4324 1.2 \
            -cart 9.8334 1.4 \
            -cart 10.1489 1.6 \
            -cart 10.4328 1.8 \
            -cart 10.6941 2 \
            -cart 10.9269 2.2 \
            -cart 11.1291 2.4 \
            -cart 11.2903 2.6 \
            -cart 11.4269 2.8 \
            -cart 11.5233 3 \
            -cart 11.5969 3.2 \
            -cart 11.6469 3.4 \
            -cart 11.7033 3.6 \
            -cart 11.7469 3.8 \
            -cart 11.8153 4.08 \
            -cart 11.8369 4.4 \
            -cart 11.8724 4.6 \
            -cart 11.8969 4.94 \
            -cart 11.9269 5
plane 13.398 -cart 0 0 \

```



```

-cart 3.7182 0.1 \
-cart 6.2565 0.2 \
-cart 8.6132 0.4 \
-cart 9.6032 0.6 \
-cart 10.1582 0.8 \
-cart 10.5033 1 \
-cart 10.7892 1.2 \
-cart 11.0149 1.4 \
-cart 11.1949 1.6 \
-cart 11.3296 1.8 \
-cart 11.4379 2 \
-cart 11.539 2.2 \
-cart 11.627 2.4 \
-cart 11.7006 2.6 \
-cart 11.7569 2.8 \
-cart 11.8069 3 \
-cart 11.8469 3.2 \
-cart 11.8769 3.4 \
-cart 11.9169 3.6 \
-cart 11.9528 3.8 \
-cart 12 4.08 \
-cart 12 5 \
plane 15.631 -cart 0 0 \
-cart 9.1875 0.2 \
-cart 10.4082 0.4 \
-cart 10.894 0.6 \
-cart 11.1884 0.8 \
-cart 11.3831 1.05 \
-cart 11.4581 1.2 \
-cart 11.5569 1.4 \
-cart 11.6269 1.6 \
-cart 11.6869 1.8 \
-cart 11.743 2 \
-cart 11.787 2.2 \
-cart 11.8369 2.38 \
-cart 11.877 2.6 \
-cart 11.9269 2.8 \
-cart 11.9669 3 \
-cart 12 3.2 \
-cart 12 5 \
plane 17.864 -cart 0 0 \
-cart 9.0021 0.1 \
-cart 10.7527 0.2 \
-cart 11.3012 0.4 \
-cart 11.4769 0.6 \
-cart 11.5859 0.8 \
-cart 11.6869 1.05 \
-cart 11.733 1.2 \
-cart 11.7969 1.4 \
-cart 11.8469 1.6 \
-cart 11.8881 1.8 \
-cart 11.9369 2 \
-cart 11.9769 2.2 \
-cart 12 2.38 \
-cart 12 5 \
plane 20.097 -cart 0 0 \
-cart 11.1904 0.1 \
-cart 11.357 0.2 \
-cart 11.5427 0.4 \
-cart 11.6669 0.6 \
-cart 11.757 0.8 \
-cart 11.8569 1.05 \
-cart 11.9069 1.2 \
-cart 11.9645 1.4 \
-cart 12 1.6 \
-cart 12 5 \
plane 22.33 -cart 0 0 \
-cart 11.3571 0.1 \
-cart 11.5069 0.2 \
-cart 11.6787 0.4 \
-cart 11.8069 0.6 \
-cart 11.9169 0.8 \
-cart 12 0.95 \
-cart 12 5 \
plane 24.563 -cart 0 0 \
-cart 11.1117 0.01 \
-cart 11.5772 0.1 \
-cart 11.7469 0.2 \

```



```

        -cart 11.907 0.4 \
        -cart 12 0.55 \
        -cart 12 5 \
plane 26.796 -cart 0 0 \
        -cart 11.04 0 \
        -cart 11.3117 0.01 \
        -cart 11.6869 0.1 \
        -cart 11.8446 0.2 \
        -cart 11.9869 0.4 \
        -cart 12 0.41 \
        -cart 12 5 \
plane 78.1692 -cart 0 0 \
        -cart 11.04 0 \
        -cart 11.3117 0.01 \
        -cart 11.6869 0.1 \
        -cart 11.8446 0.2 \
        -cart 11.9869 0.4 \
        -cart 12 0.41 \
        -cart 12 5 \
plane 79.6792 -cart 0 0 \
        -cart 11.04 0 \
        -cart 11.3117 0.01 \
        -cart 11.6869 0.1 \
        -cart 11.8446 0.2 \
        -cart 11.9869 0.4 \
        -cart 12 0.41 \
        -cart 12 5 \
plane 80.4022 -cart 0 0.27 \
        -cart 11.0408 0.27 \
        -cart 11.5631 0.32 \
        -cart 11.8331 0.46 \
        -cart 12 0.68 \
        -cart 12 5 \
plane 82.6352 -cart 0 1.1 \
        -cart 11.0408 1.1 \
        -cart 11.5231 1.15 \
        -cart 11.8231 1.28 \
        -cart 12 1.52 \
        -cart 12 5 \
plane 84.8682 -cart 0 1.94 \
        -cart 11.0408 1.94 \
        -cart 11.6931 2.03 \
        -cart 11.9131 2.22 \
        -cart 12 2.35 \
        -cart 12 5 \
plane 87.1012 -cart 0 2.77 \
        -cart 11.0408 2.77 \
        -cart 11.6931 2.87 \
        -cart 11.9131 3.05 \
        -cart 12 3.19 \
        -cart 12 5 \
plane 89.3342 -cart 0 3.61 \
        -cart 11.0408 3.61 \
        -cart 11.6931 3.7 \
        -cart 11.9131 3.89 \
        -cart 12 4.02 \
        -cart 12 5 \
plane 90.56 -cart 0 4.02 \
        -cart 11.0408 4.02 \
        -cart 11.6931 4.16 \
        -cart 11.9131 4.35 \
        -cart 12 4.48 \
        -cart 12 5

```

end_PGEN

```

$*****
$
*B000c 0.0 0.0 20.0
*B120c 120.0 0.0 20.0
$
$*****
$
&dimen -remember
&default -remember
$
$*****
$

```

NODES
 reset
 all done

INPUT HYDROSTATIC COMMAND

```
&title SPB COAL-ODISSEI42
&SUBTI CASE : FULLDRAFT CONDITION
&devi -cecho yes -oecho NO -PRIMA DEV -auxin ODIS.dat
inmo
&DIMEN -DIMEN METERS M-TONS
&instate ODIS -condi 5 0.0 0.0
&WEIGHT -compute ODIS 8.2062 10.21485 26.14242 26.14242
```

```
&EQUI
&status b_w h
&dcptime Time for Equilibrium
```

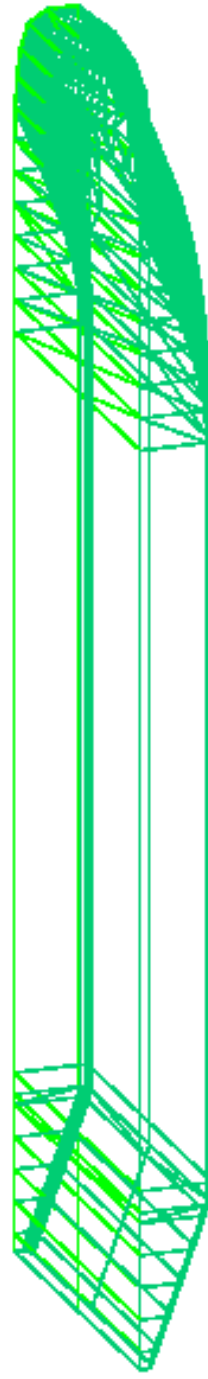
```
MEDIT
&DESCRIBE BODY ODIS
END_MEDIT
&PLTMODEL VESSEL
  PIC ISO
  PIC STARBOARD
  PIC BOW
  PIC TOP
```

```
END
Hstati
CFORM 0.4 0.0 0.0 -DRAFT 0.01 660
REPORT
end
```

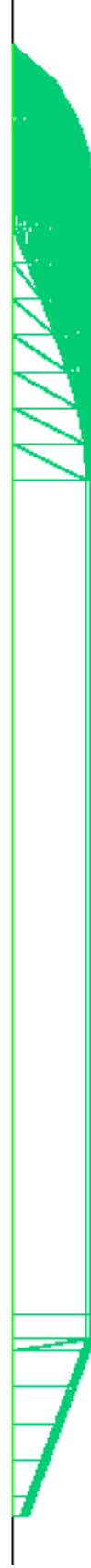

INPUT RAO COMMAND

```
&title "SPB COAL-ODISSEI42" RESPONSE AMPLITUDE OPERATOR
&devi -cecho yes -oecho no -PRIMA DEV -AUXIN ODIS.dat
inmo
&DIMEN -DIMEN METERS M-TONS
&instate ODIS -condi 5 0 0
&weight -compute ODIS 8.1861 10.19896 26.14242 26.14242
$
$end
$
hstati
equi -num 500 -echo yes
$
&stat -hard
&stat comp -h
&stat draft -h
END
hydro
&para -m_dist 0.1
g_press ODIS -speed 0.0 -heading 180 -period 25.1328 20.944 17.952 15.708 13.96267 12.5664
11.424 10.472 9.666462 8.976 8.3776 7.854 7.392 6.981333 6.613895 6.2832 5.984 5.712
5.463652 5.236 5.02656 4.833231 4.654222 4.488 4.333241 4.1888 4.053677 3.927 3.808 3.696
3.5904
&DIMEN -DIMEN METERS K-NTS
V_MDRIFT
REPORT
END
end
$
freq_resp
rao -speed 0.0 -heading 180 -period 25.1328 20.944 17.952 15.708 13.96267 12.5664 11.424
10.472 9.666462 8.976 8.3776 7.854 7.392 6.981333 6.613895 6.2832 5.984 5.712 5.463652
5.236 5.02656 4.833231 4.654222 4.488 4.333241 4.1888 4.053677 3.927 3.808 3.696 3.5904
$
&subti VESSEL MOTIONS
&DIMEN -DIMEN METERS K-NTS
fp_std &BODY(CG ODIS)
equ_sum
MATRICES -FILE YES
REPORT
END
&EOFILE
```

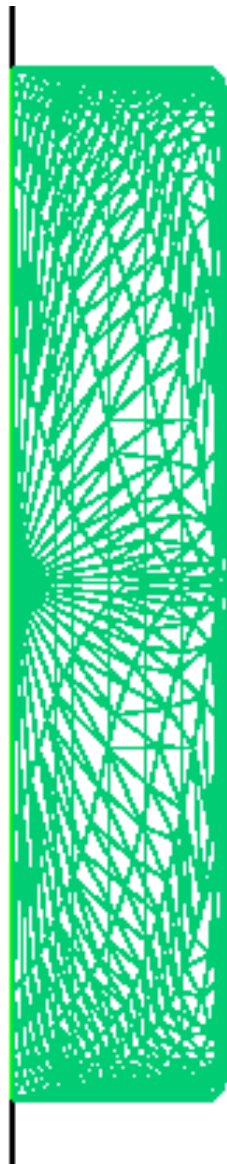

SFB COAL-ODISSEI42
CASE : FULLDRAFT CONDITION



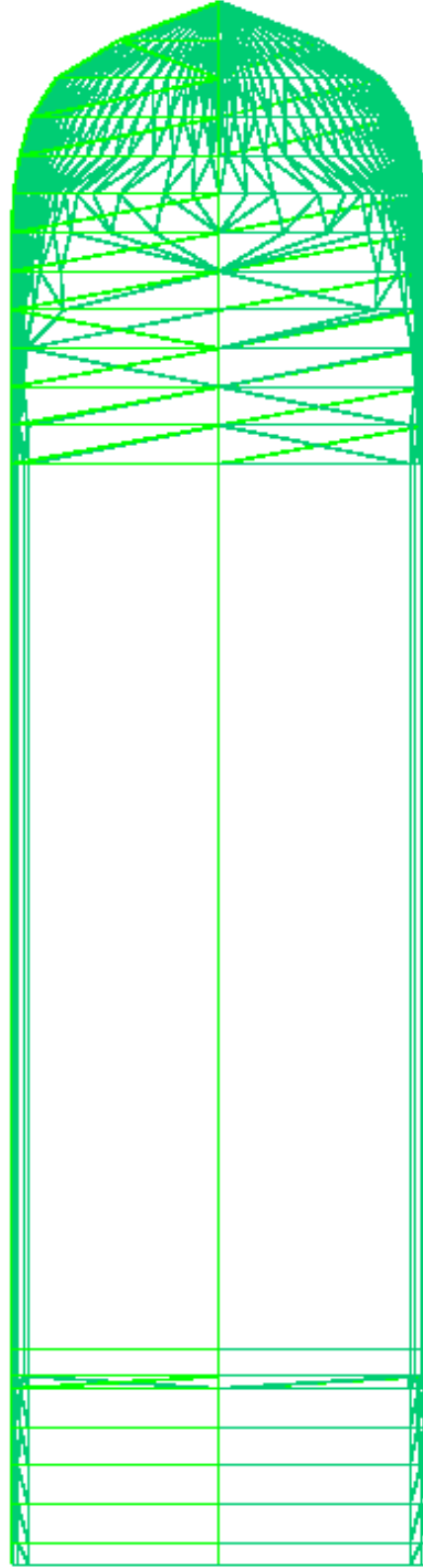
SP8 COAL-ODISSEI.42
CASE : FULLDRAFT CONDITION



SPB COAL-ODISSEI42
CASE : FULLDRAFT CONDITION



SPB COAL-ODISSEI.42
CASE : FULLDRAFT CONDITION




```

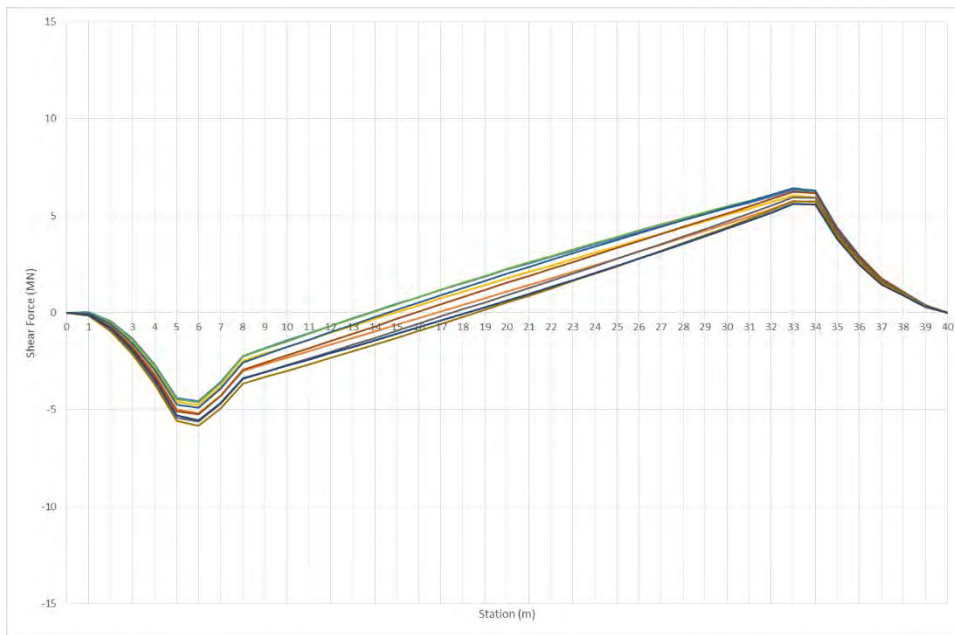
*****
*                                     *** MOSES ***                             *
*                                     -----                             *
*                                     5 August, 2014                             *
* "SPB COAL-ODISSEI42" RESPONSE AMPLITUDE OPERATOR                             *
* VESSEL MOTIONS                                                                *
* Draft = 5.0 Meters                    Trim Angle = 0.00 Deg.                GMT = 4.84 Meters *
* Roll Gy. Radius = 10.2 Meters         Pitch Gy. Radius = 26.1 Meters       Yaw Gy. Radius = 26.1 Meters *
* Heading = 180.00 Deg.                 Forward Speed = 0.00 Knots           Linearization Based on 1/ 20 *
*****

```

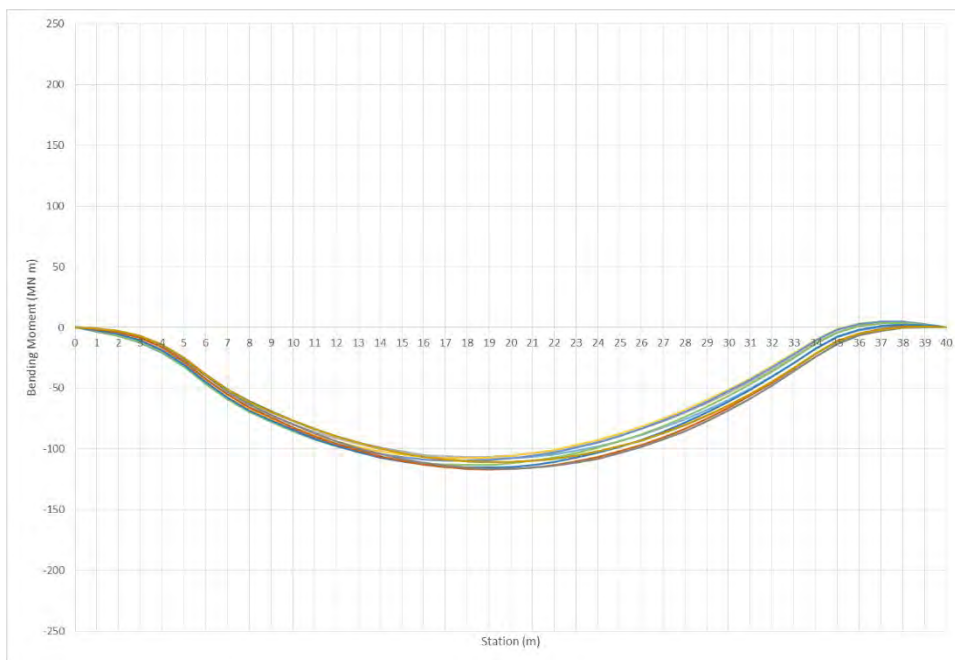
+++ M O T I O N R E S P O N S E O P E R A T O R S +++

=====
Of Point On Body ODIS At X = 46.7 Y = 0.0 Z = 8.2
Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

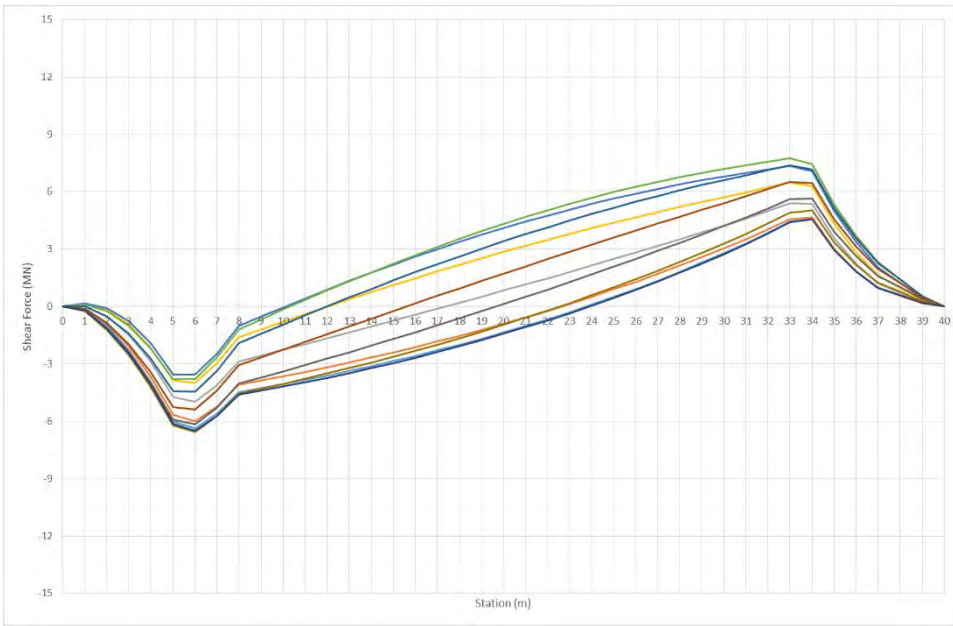
E N C O U N T E R		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.2500	25.13	0.931	-106	0.000	0	0.978	-16	0.008	-177	0.541	71	0.000	0
0.3000	20.94	0.912	-114	0.000	0	0.961	-24	0.009	-177	0.784	61	0.000	0
0.3500	17.95	0.886	-123	0.000	0	0.932	-33	0.012	179	1.066	48	0.000	0
0.4000	15.71	0.850	-133	0.000	0	0.887	-44	0.016	174	1.377	34	0.000	0
0.4500	13.96	0.803	-145	0.000	0	0.822	-56	0.023	166	1.701	18	0.000	0
0.5000	12.57	0.743	-158	0.000	0	0.731	-70	0.041	155	2.012	0	0.000	0
0.5500	11.42	0.670	-173	0.000	0	0.612	-85	0.128	136	2.278	-19	0.001	-40
0.6000	10.47	0.584	171	0.001	-131	0.461	-100	0.121	-45	2.459	-41	0.001	130
0.6500	9.67	0.487	154	0.000	0	0.283	-113	0.039	-69	2.511	-65	0.001	97
0.7000	8.98	0.382	135	0.000	0	0.108	-96	0.020	-90	2.396	-92	0.001	63
0.7500	8.38	0.272	115	0.000	0	0.197	-29	0.012	-111	2.096	-121	0.000	0
0.8000	7.85	0.164	94	0.000	0	0.407	-43	0.006	-130	1.632	-152	0.000	0
0.8500	7.39	0.062	72	0.000	0	0.579	-71	0.003	-138	1.077	173	0.000	0
0.9000	6.98	0.025	-133	0.000	0	0.653	-105	0.002	-135	0.543	138	0.000	0
0.9500	6.61	0.091	-158	0.000	0	0.597	-140	0.002	-135	0.139	83	0.000	0
1.0000	6.28	0.131	174	0.000	0	0.452	-173	0.001	-141	0.165	-68	0.000	0
1.0500	5.98	0.143	145	0.000	0	0.293	159	0.001	-151	0.289	-107	0.000	0
1.1000	5.71	0.127	115	0.000	0	0.173	141	0.001	-169	0.325	-133	0.000	0
1.1500	5.46	0.092	83	0.000	0	0.102	132	0.001	166	0.315	-156	0.000	0
1.2000	5.24	0.045	47	0.000	0	0.061	129	0.000	0	0.287	-178	0.000	0
1.2500	5.03	0.004	-104	0.000	0	0.035	145	0.000	0	0.249	156	0.000	0
1.3000	4.83	0.039	166	0.000	0	0.044	174	0.000	0	0.196	124	0.000	0
1.3500	4.65	0.057	127	0.000	0	0.070	159	0.000	0	0.130	82	0.000	0
1.4000	4.49	0.056	87	0.000	0	0.089	125	0.000	0	0.068	18	0.000	0
1.4500	4.33	0.038	45	0.000	0	0.095	83	0.001	19	0.054	-86	0.000	0
1.5000	4.19	0.012	-2	0.001	97	0.146	61	0.011	-54	0.161	127	0.003	-76
1.5500	4.05	0.012	160	0.000	0	0.095	-19	0.001	173	0.049	110	0.000	0
1.6000	3.93	0.025	106	0.000	0	0.075	-69	0.000	0	0.071	31	0.000	0
1.6500	3.81	0.026	57	0.000	0	0.048	-113	0.000	0	0.106	-33	0.000	0
1.7000	3.70	0.015	5	0.000	0	0.019	-133	0.000	0	0.129	-87	0.000	0
1.7500	3.59	0.003	-98	0.000	0	0.024	-75	0.000	0	0.120	-134	0.001	-175



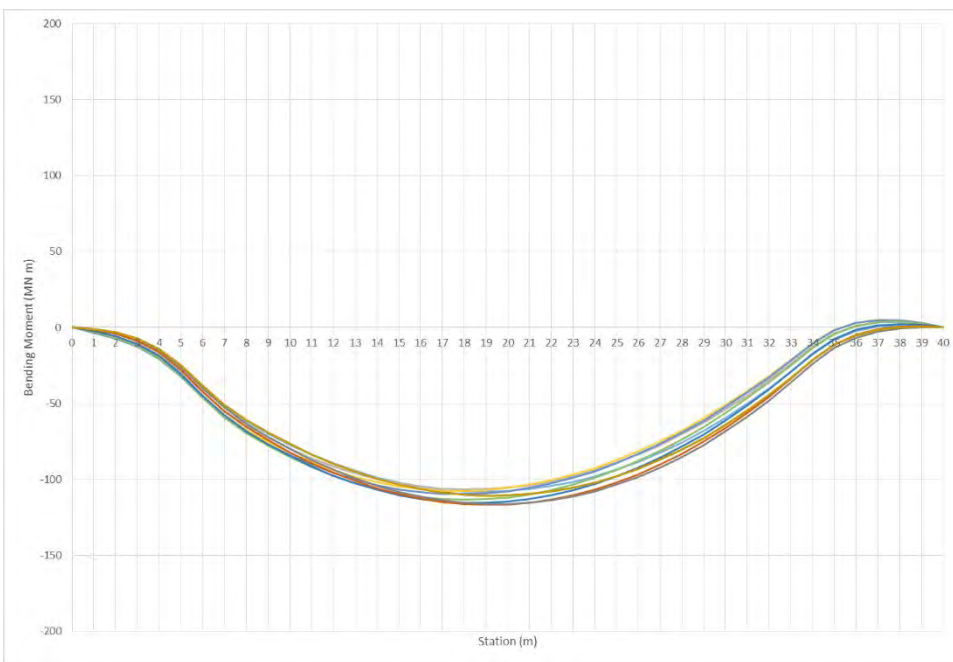
Grafik Shear Force pada frekuensi 0.25 rad/s



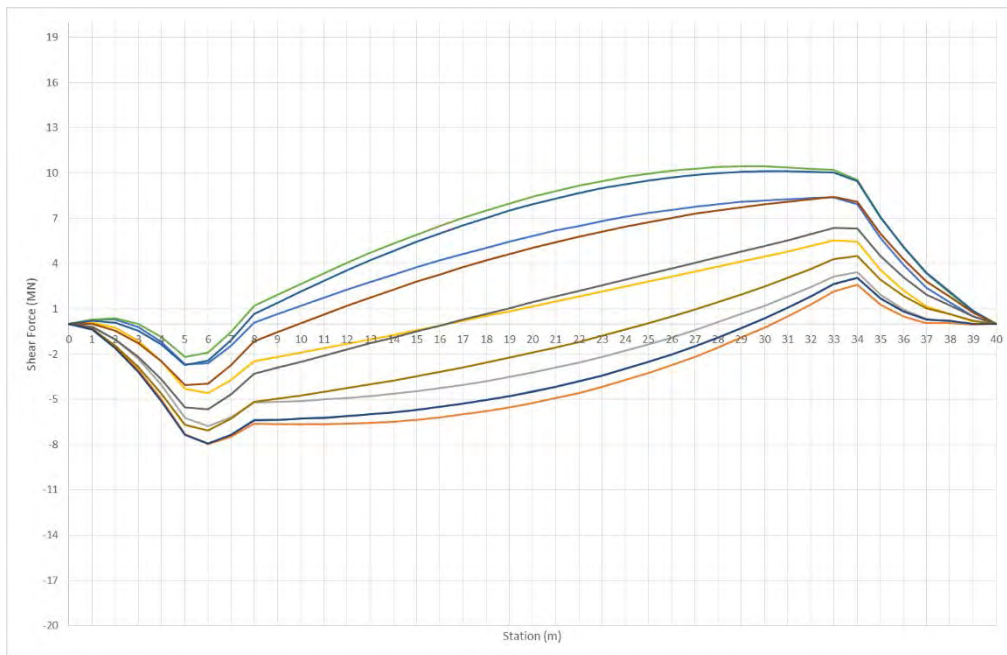
Grafik Bending Moment pada frekuensi 0.25 rad/s



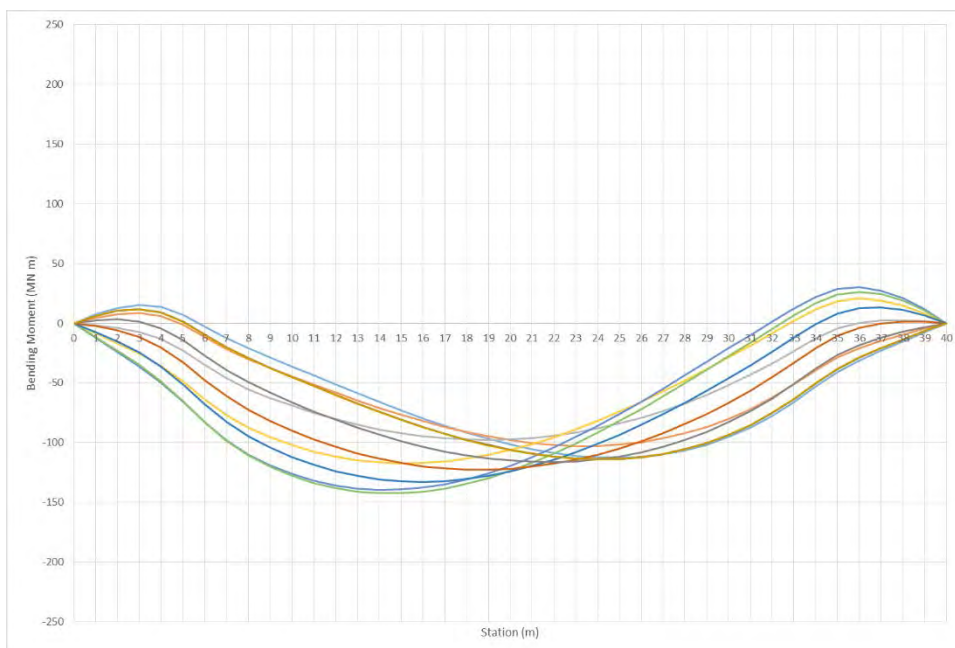
Grafik Shear Force pada frekuensi 0.35 rad/s



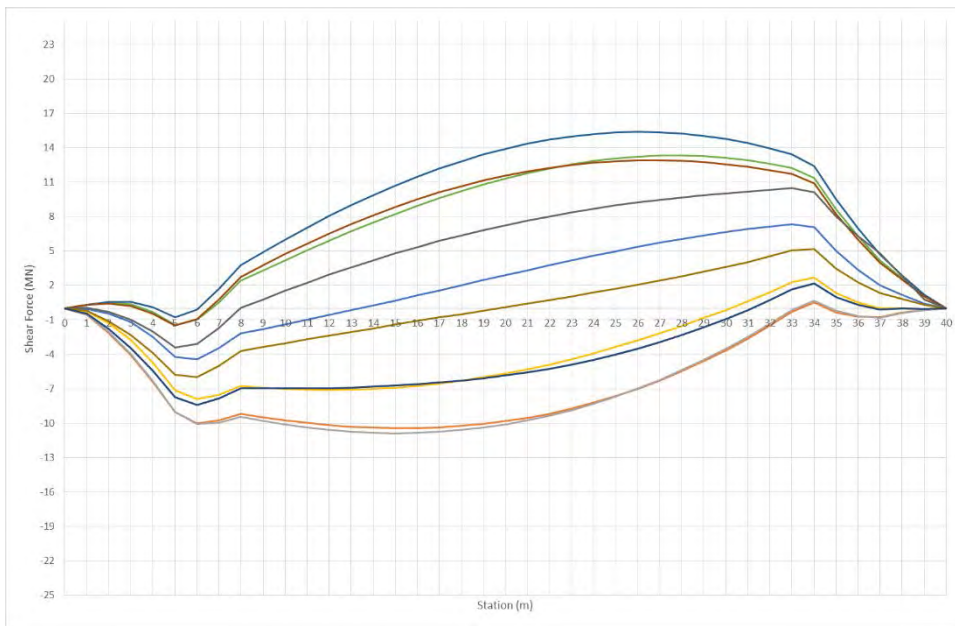
Grafik Bending Moment pada frekuensi 0.35 rad/s



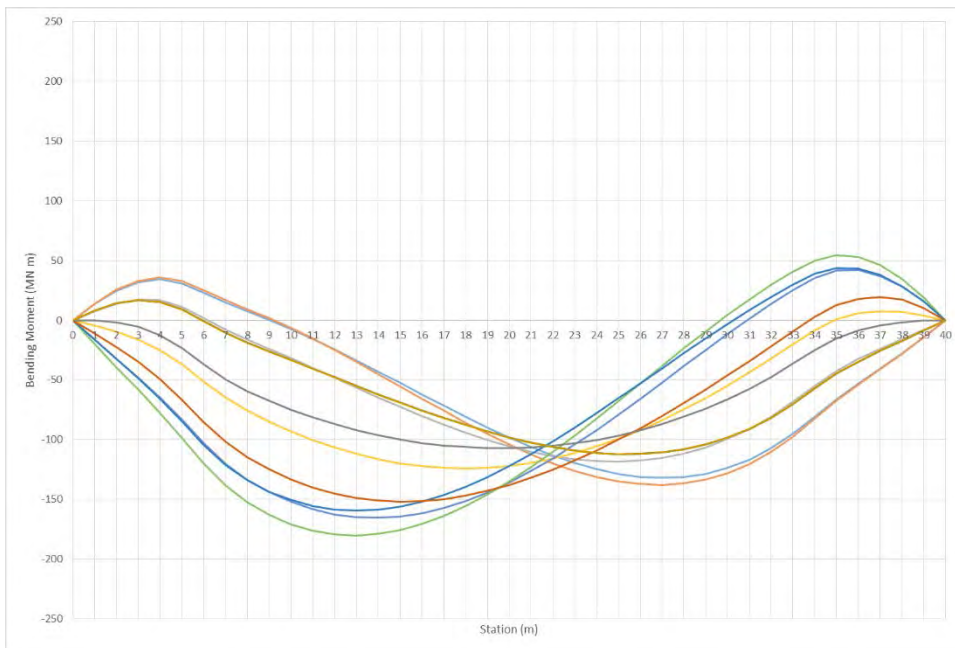
Grafik Shear Force pada frekuensi 0.45 rad/s



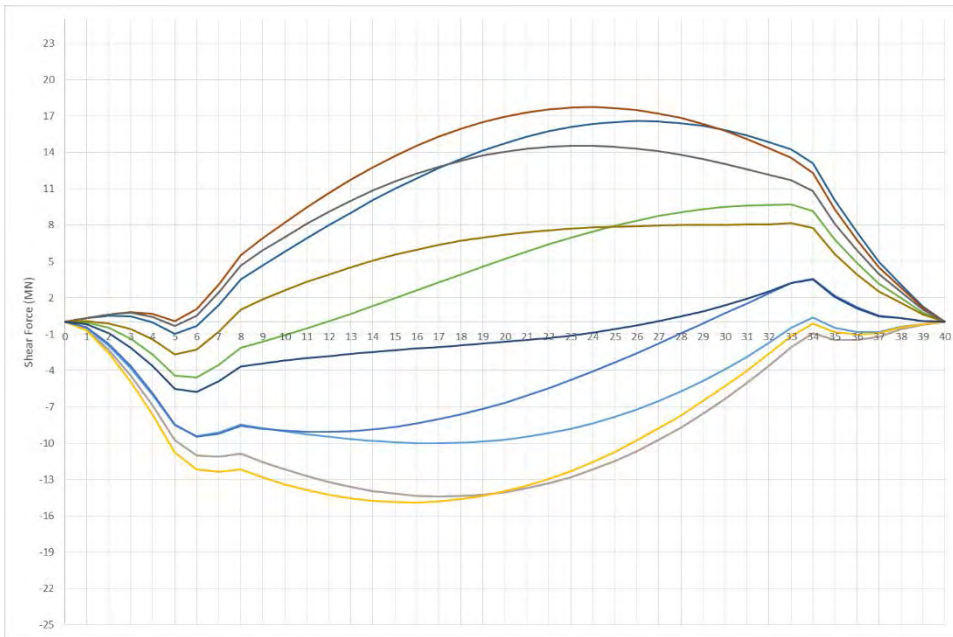
Grafik Bending Moment pada frekuensi 0.45 rad/s



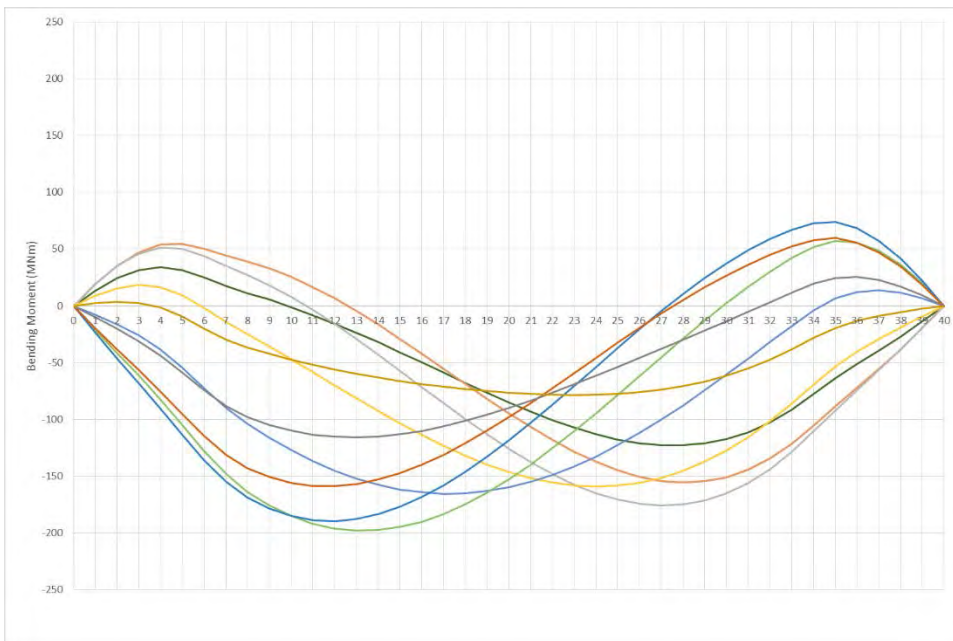
Grafik Shear Force pada frekuensi 0.55 rad/s



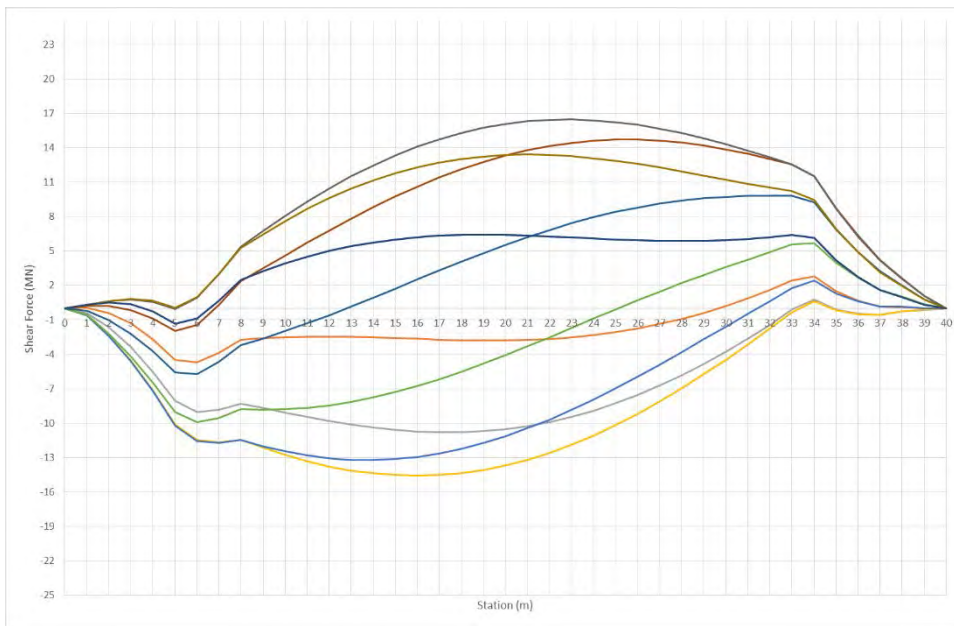
Grafik Bending Moment pada frekuensi 0.55 rad/s



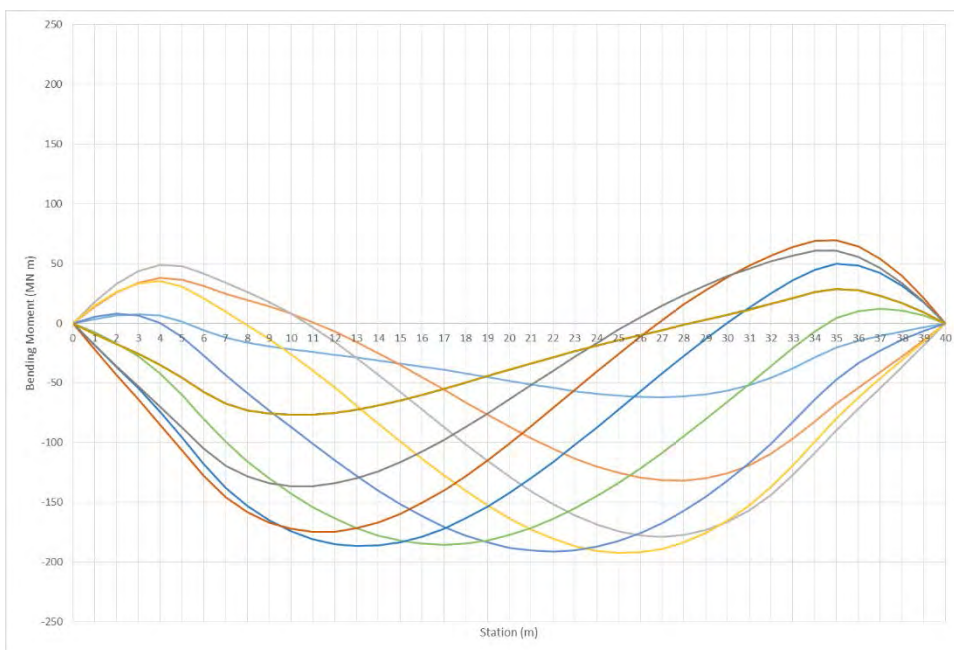
Grafik Shear Force pada frekuensi 0.65 rad/s



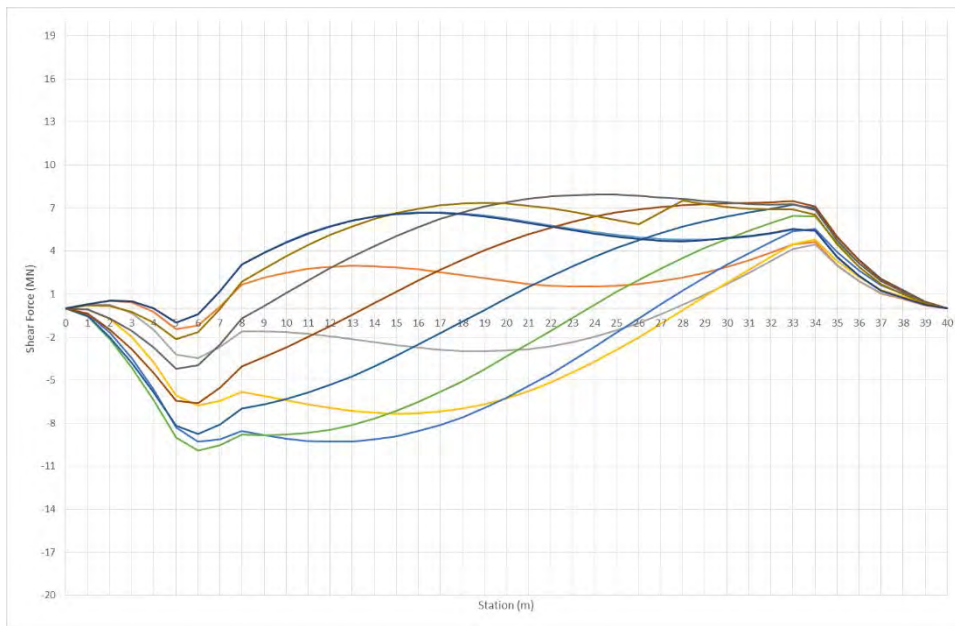
Grafik Bending Moment pada frekuensi 0.65 rad/s



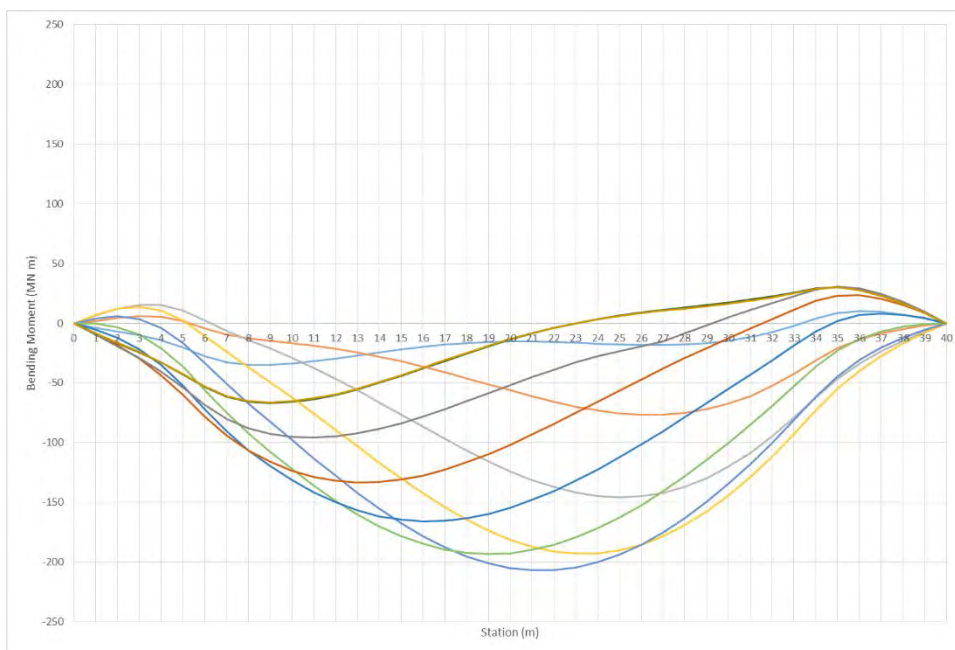
Grafik Shear Force pada frekuensi 0.75 rad/s



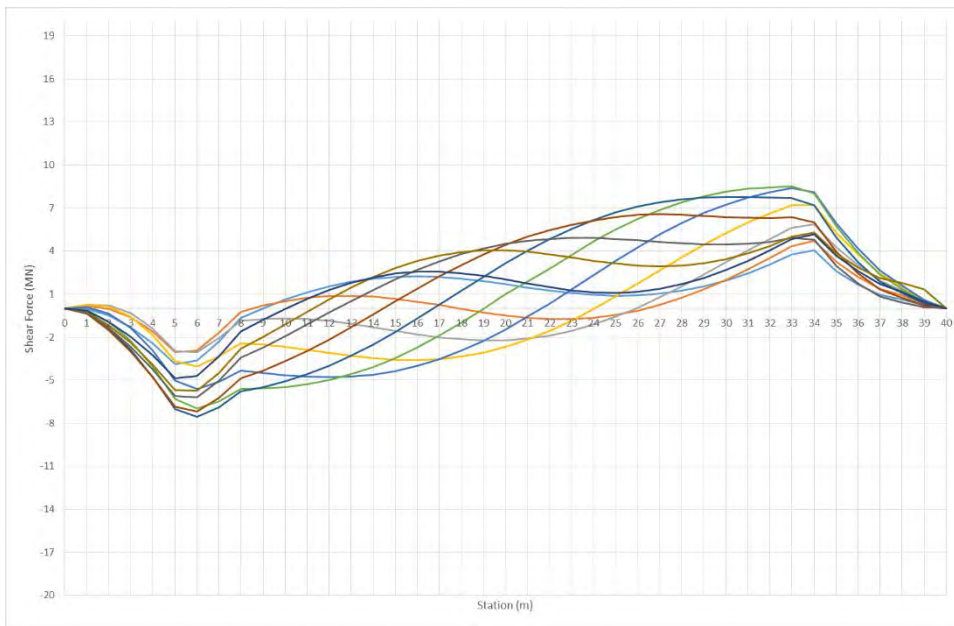
Grafik Bending Moment pada frekuensi 0.75 rad/s



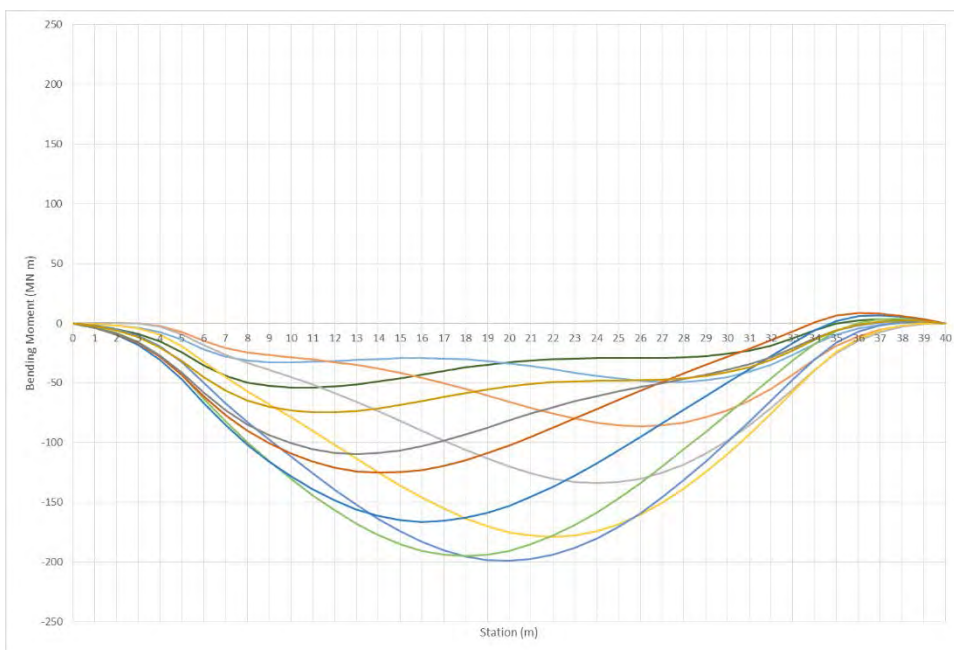
Grafik Shear Force pada frekuensi 0.85 rad/s



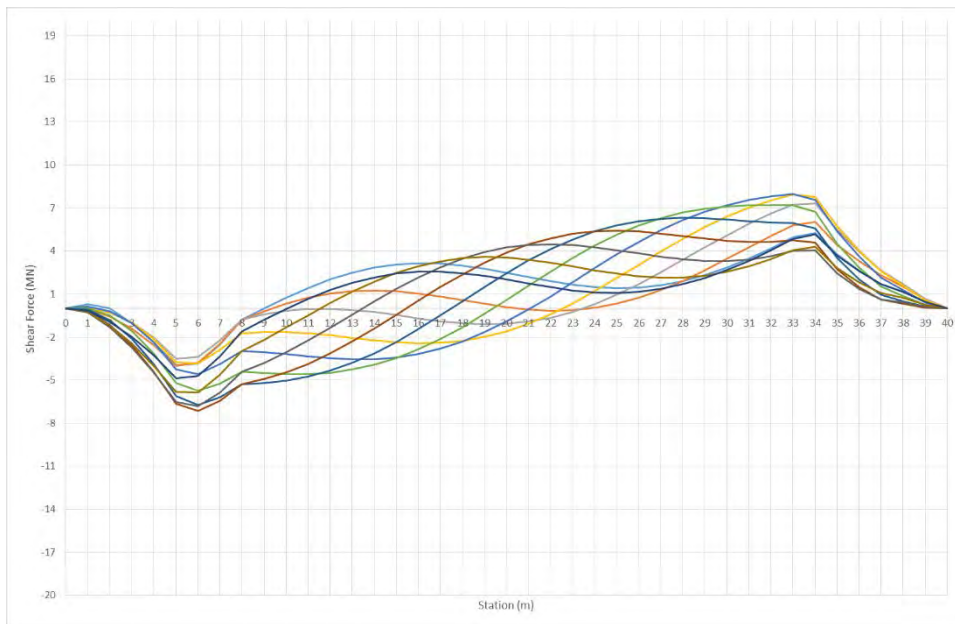
Grafik Bending Moment pada frekuensi 0.85 rad/s



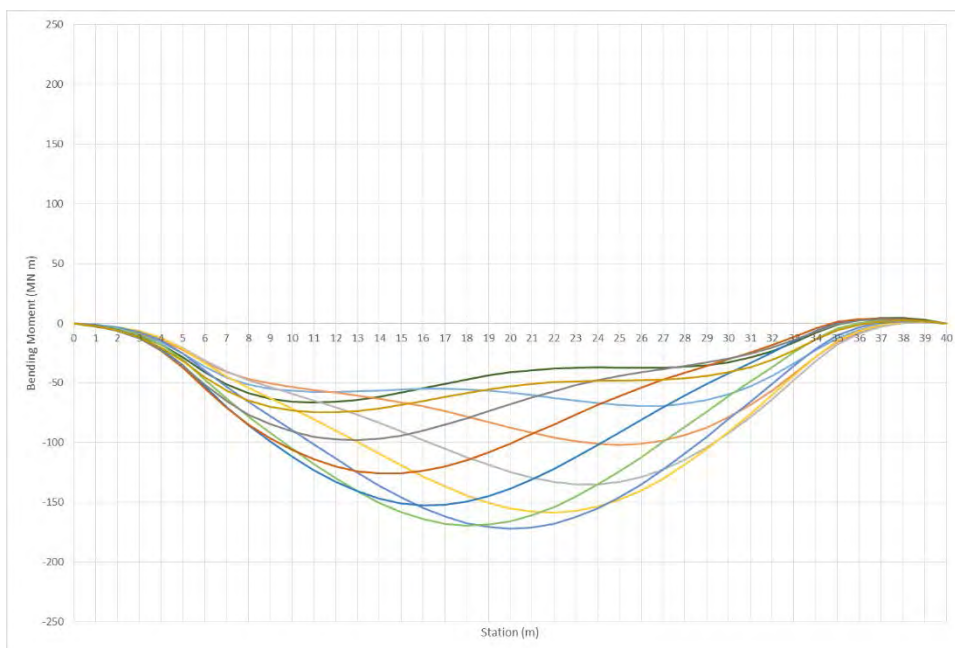
Grafik Shear Force pada frekuensi 0.95 rad/s



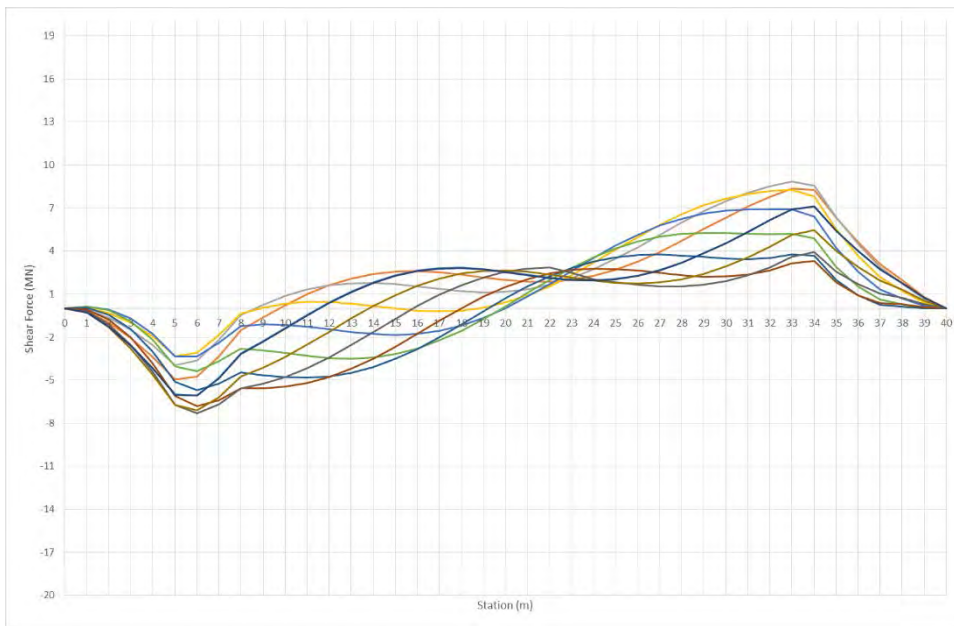
Grafik Bending Moment pada frekuensi 0.95 rad/s



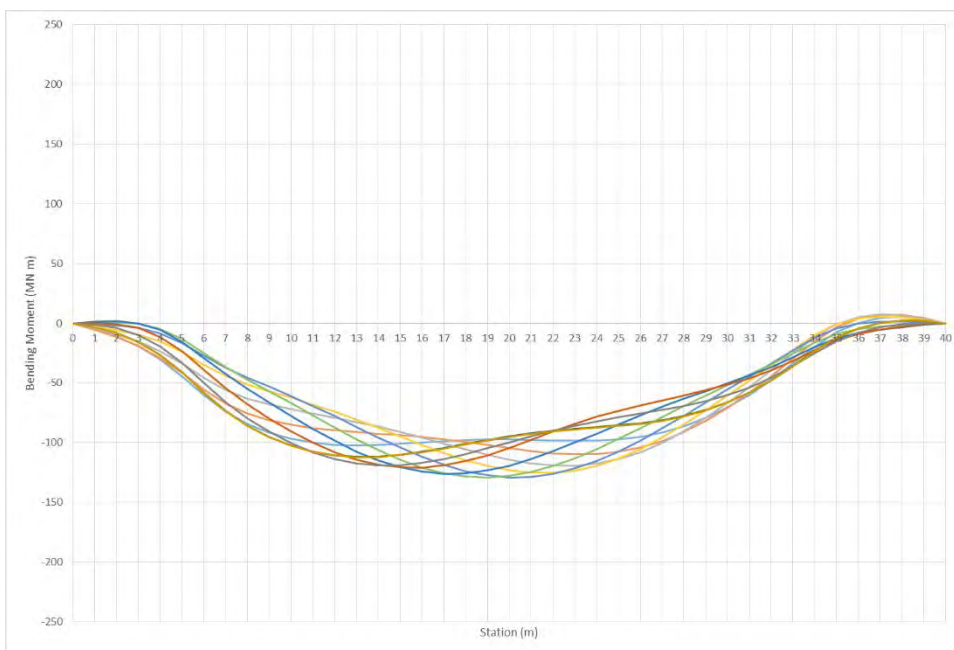
Grafik Shear Force pada frekuensi 1.05 rad/s



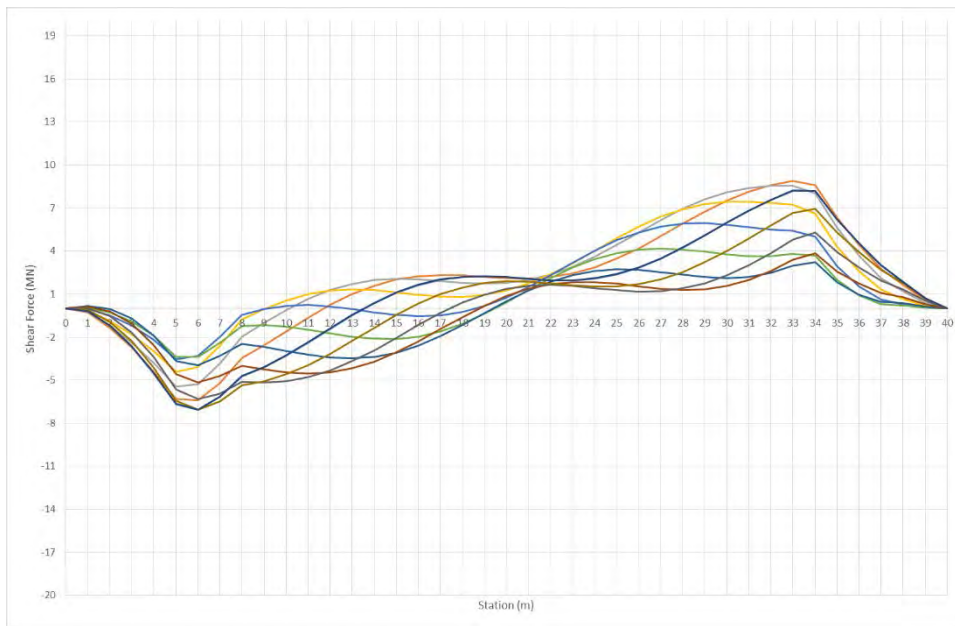
Grafik Bending Moment pada frekuensi 1.05 rad/s



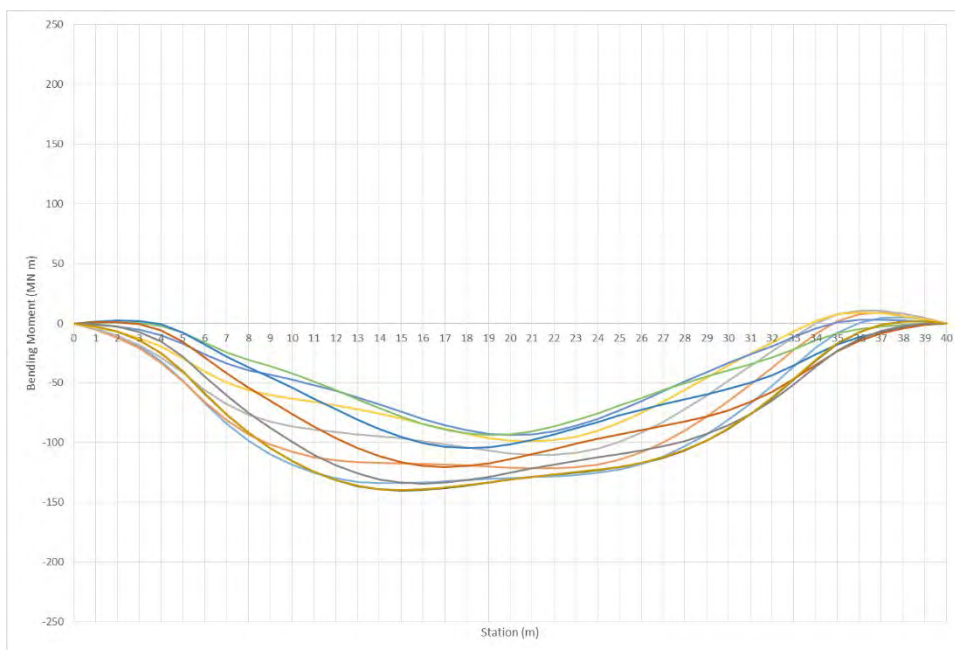
Grafik Shear Force pada frekuensi 1.15 rad/s



Grafik Bending Moment pada frekuensi 1.15 rad/s



Grafik Shear Force pada frekuensi 1.25 rad/s



Grafik Bending Moment pada frekuensi 1.25 rad/s