



TUGAS AKHIR - MO141326

ANALISIS KEANDALAN STRUKTUR MEMANJANG *SELF-PROPELLED COAL BARGE* DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI MONTE CARLO

INTIFADA FIKRI MUHAMMAD

NRP. 4311 100 065

Dosen Pembimbing:

Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D

Agro Wisudawan, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Tekonolgi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016



FINAL PROJECT - MO141326

RELIABILITY ANALYSIS OF SELF-PROPELLED COAL BARGE LONGITUDINAL STRUCTURE USING MONTE CARLO SIMULATION

INTIFADA FIKRI MUHAMMAD

NRP. 4311 100 065

Supervisors:

Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D

Agro Wisudawan, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2016

**ANALISIS KEANDALAN STRUKTUR MEMANJANG *SELF-PROPELLED COAL*
BARGE DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI MONTE CARLO**

TUGAS AKHIR


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

Oleh :

INTIFADA FIKRI MUHAMMAD

NRP. 4311 100 065

Disetujui oleh

- 
1. Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 1)
 2. Agro Wisudawan, S.T., M.T. (Pembimbing 2)
 3. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D. (Penguji 1)
 4. Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D. (Penguji 2)
 5. Ir. Murdjito, M.Sc. (Penguji 3)
 6. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. (Penguji 4)
 7. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji 5)

SURABAYA, JANUARI 2016

ANALISIS KEANDALAN STRUKTUR MEMANJANG *SELF-PROPELLED COAL BARGE* DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI MONTE CARLO

Nama Mahasiswa : Intifada Fikri Muhammad
NRP : 4311100065
Jurusan : Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Dosen Pembimbing : Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D
Agro Wisudawan, S.T., M.T.

ABSTRAK

Self Propelled Coal Barge (SPCB) atau tongkang batu bara bermesin penggerak sendiri adalah teknologi baru yang digunakan dalam distribusi batu bara antar pulau. SPCB memiliki kelebihan efisiensi dibandingkan dengan tongkang yang masih ditarik oleh kapal tunda (tug boat) untuk bergerak. Pada penelitian ini akan dikaji keandalan struktur kekuatan memanjang SPCB. Variasi tinggi dan periode gelombang diaplikasikan dalam rangka pencarian distribusi *bending moment*. Variasi tinggi gelombang yang digunakan sebesar 0,5–4,5 m dan variasi periode gelombang 3,5–13,5 sekon. Distribusi bending moment mengikuti distribusi normal dengan nilai rata-rata sebesar 21069,017 MNm pada kondisi *sagging* dan sebesar 20984,63 MNm pada kondisi *hogging*. Nilai standar deviasi bending moment sebesar 5640,628 MNm pada kondisi *sagging* dan 3903,234 MNm pada kondisi *hogging*. Analisis perhitungan modulus penampang dilakukan dengan perhitungan manual berdasarkan Rawson, K J. dan Tupper, E. C. (2001). Analisis keandalan Pada kondisi *sagging* menunjukkan struktur memiliki keandalan sebesar 1 untuk 10 dan 100 kali simulasi. Keandalan terkecil sebesar 0,9983 terjadi pada saat 100000 kali simulasi. Pada kondisi *hogging*, struktur memiliki keandalan sebesar 1 untuk 10, 100, 10000 dan 10000 kali simulasi. Keandalan terkecil sebesar 0,999902 terjadi saat 1000000 kali simulasi.

Kata kunci – keandalan, *bending moment*, *self-propelled coal barge*

**RELIABILITY ANALYSIS OF SELF-PROPELLED COAL BARGE
LONGITUDINAL STRUCTURE USING MONTE CARLO SIMULATION**

Name : Intifada Fikri Muhammad
Reg Number : 4311100065
Department : Ocean Engineering
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Supervisors : Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D
Agro Wisudawan, S.T., M.T

ABSTRACT

Self Propelled Barge Coal (SPCB) is a new technology used in coal distribution between islands. SPCB has efficiency advantages compared with a barge that was pulled by tugboat (tug boat) to move. In this study will be assessed the reliability of longitudinal structure extends SPCB. Variations height and wave period is applied in order to find the distribution of bending moment. Wave height variation which is used extends from 0.5 to 4.5 m and wave period variation from 3.5 to 13.5 second. Bending moment distribution follow a normal distribution with an average value of 21069.017 MNM in sagging conditions and 20984.63 MNM in hogging conditions. Standard deviation value of bending moment is 5640.628 MNM in sagging condition and 3903.234 MNM in hogging condition. Analysis section modulus calculation performed by manual calculation based Rawson, K J. and Tupper, EC (2001). In the reliability analysis showed in sagging condition of the structure has a reliability of 1 to 10 and 100 times the simulation. The smallest reliability of 0.9983 occurs during simulation 100000 times. At hogging condition, the structure has a reliability of 1 to 10, 100, 10 000 and 10000 times the simulation. The smallest reliability of 0.999902 occurs 1000000 times simulation.

Keyword – *reliability, bending moment, self-propelled coal barge*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi besar Muhammad SAW, para keluarga, sahabat, dan pengikutnya yang setia. Judul yang diambil pada Tugas Akhir ini adalah “**ANALISIS KEANDALAN STRUKTUR MEMANJANG *SELF-PROPELLED COAL BARGE* DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI MONTE CARLO.**”

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tujuan akhir dalam pengerjaan Tugas Akhir ini yaitu untuk mengetahui keandalan struktur memanjang Self-Propelled Coal Barge.

Tiada gading yang tak retak, oleh karena itu penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu masukan dalam bentuk saran dan kritik dari semua pihak yang bersifat membangun sangat penulis harapkan sebagai penyempurnaan untuk penulisan selanjutnya. Penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi perkembangan teknik kelautan, bagi pembaca umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, Januari 2016

Intifada Fikri Muhammad

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1. Keandalan Struktur.....	6
2.2.2. Simulasi Monte Carlo.....	7
2.2.3. Barge.....	9
2.2.4. Gerakan Bangunan Apung Akibat Eksitasi Gelombang.....	9
2.2.5. Beban Gelombang.....	11
2.2.6. <i>Response Amplitude Operator</i>	12
2.2.7. Kekuatan Memanjang Kapal.....	12
2.2.8. Bending Moment.....	14

2.2.9. Stress (Tegangan).....	15
2.2.5. Distribusi Frekuensi, Hstogram dan Probability Density Function.....	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	18
3.1. Metode Penelitian	18
BAB IV ANALISIS PEMBAHASAN.....	26
4.1 Pemodelan <i>Self-Propelled Coal Barge</i>	26
4.2 Analisis Gerakan RAO <i>Self Propelled Coal Barge</i>	28
4.3 Berat Muatan SPCB Odissei	31
4.4 Analisis <i>Bending Moment</i> dengan Variasi Tinggi dan Periode Gelombang	33
4.5 Perhitungan Modulus Penampang	39
4.6 Penentuan Tegangan Perencanaan	42
4.7 Perhitungan Keandalan Struktur.....	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	49
5.1. Kesimpulan.....	49
5.2 Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN.....	52
BIODATA PENULIS.....	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 <i>Self-Propelled Coal Barge</i> yang Sedang Beroperasi	02
Gambar 2.1 Algoritma Tipikal untuk Simulasi Monte Carlo	08
Gambar 2.2 <i>Self-Propelled Coal Barge</i>	09
Gambar 2.3 Ilustrasi Gerakan <i>Six Degree of Freedom</i> pada Kapal	10
Gambar 2.4 Ilustrasi Kondisi <i>Hogging</i>	13
Gambar 2.5 Ilustrasi Kondisi <i>Sagging</i>	13
Gambar 3.1 <i>Flow Chart</i> Pengerjaan Tugas Akhir	19
Gambar 3.2 <i>General Arrangement Coal Carrier Barge</i> Tampak Atas	20
Gambar 3.3 <i>General Arrangement Coal Carrier Barge</i> Tampak Samping	21
Gambar 3.4 <i>General Arrangement Coal Carrier Barge Below Main Deck</i>	21
Gambar 3.5 <i>General Arrangement Coal Carrier Barge Forecastle Deck</i>	21
Gambar 3.6 Hasil Pemodelan SPCB Odissei pada Maxsurf	23
Gambar 3.7 Hasil Pemodelan SPCB Odissei pada MOSES	23
Gambar 4.1 Hasil Pemodelan SPCB Odissei pada Maxsurf	27
Gambar 4.2 Hasil Pemodelan SPCB Odissei pada MOSES	28
Gambar 4.3 Grafik RAO Gerakan <i>Heave</i> SPCB Odissei.....	31
Gambar 4.4 Grafik RAO Gerakan <i>Pitch</i> SPCB Odissei	31
Gambar 4.5 Grafik <i>Bending Moment</i> SPCB Odissei	33
Gambar 4.6 Histogram Momen Lengkung Kondisi <i>Sagging</i>	36
Gambar 4.7 Histogram Momen Lengkung Kondisi <i>Hogging</i>	36
Gambar 4.8 PDF <i>Bending Moment</i> Kondisi <i>Sagging</i>	38
Gambar 4.8 PDF <i>Bending Moment</i> Kondisi <i>Hogging</i>	39
Gambar 4.10 Penampang Melintang <i>Barge</i>	39
Gambar 4.11 Detil Gambar <i>Stiffner</i> dan <i>Beam</i> pada Barge.....	40
Gambar 4.12 Algoritma Perhitungan Keandalan SPCB	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Contoh Penyajian Data dalam Bentuk Distribusi Frekuensi.....	16
Tabel 3.1 Data Utama SPCB Odissei.....	20
Tabel 3.2 Data Sebaran Gelombang Perairan Dunia	22
Tabel 3.3 Validasi Data Hidrostatik SPCB Odissei <i>Full Load Condition</i>	24
Tabel 4.1 Ukuran Utama SPCB Odissei	26
Tabel 4.2 Validasi Data Hidrostatik SPCB Odissei <i>Full Load Condition</i>	28
Tabel 4.3 Komponen Berat DWT	32
Tabel 4.4 Komponen Berat LWT	32
Tabel 4.6 Variasi Periode dan Tinggi Gelombang dalam Analisis <i>Bending Moment</i>	34
Tabel 4.7 Distribusi Frekuensi <i>Bending Moment</i> di Station 10 Kondisi <i>Sagging</i>	35
Tabel 4.8 Distribusi Frekuensi <i>Bending Moment</i> di Station 10 Kondisi <i>Hogging</i>	35
Tabel 4.9 Uji Distribusi Data Bending Moment pada Kondisi <i>Hogging</i> dan <i>Sagging</i>	37
Tabel 4.10 Data Nilai <i>Mean</i> dan Standar Deviasi <i>Bending Moment</i>	38
Tabel 4.11 Tabulasi Perhitungan Komponen Struktur.....	41
Tabel 4.12 Data Beban, <i>Mechanical Properties</i> dan Tegangan Ijin.....	43
Tabel 4.13 Perhitungan <i>Software Scilab</i>	47
Tabel 4.14 Hasil <i>Running</i> Keandalan Struktur Kondisi <i>Hogging</i>	47
Tabel 4.15 Hasil <i>Running</i> Keandalan Struktur Kondisi <i>Sagging</i>	48

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk di seluruh dunia maka semakin bertambah pula kebutuhan dunia akan energi. Hal ini memacu pengembangan industri yang mendukung produksi energi di seluruh dunia, salah satunya adalah industri kapal pengangkut energi baik itu energi minyak, gas, batu bara ataupun yang lainnya. Pengembangan konsep perancangan dan penelitian terkait struktur kapal pengangkut tersebut pun semakin banyak dilakukan. Salah satu aspek yang penting dalam perancangan struktur lepas pantai adalah analisis keandalan struktur.

Indonesia adalah negara penghasil batu bara yang cukup besar dengan pusatnya berada di Pulau Kalimantan. Di sana, batu bara tersebar di provinsi bagian tengah, selatan dan timur. Provinsi yang memberikan kontribusi terbesar terhadap penghasilan batu bara Indonesia adalah Provinsi Kalimantan Tengah. Proses distribusi tambang batu bara ke luar Kalimantan menggunakan tongkang dengan ditarik/didorong oleh kapal tunda. Permasalahan terjadi ketika perairan laut mengalami cuaca buruk, menarik/mendorong tongkang dalam kondisi cuaca buruk sangat berbahaya sehingga proses distribusi harus berhenti. Untuk mengatasi permasalahan distribusi batu bara yang sangat bergantung kapal tunda (tugboat) tersebut, dikembangkan perancangan barge dengan sistem penggerak sendiri. *Self-Propelled Coal Barge* (SPCB) merupakan salah satu pengembangan dari teknologi barge yang sudah ada.

Secara umum, keandalan struktur dapat diartikan sebagai kemampuan dari suatu struktur untuk memenuhi tujuan desain dalam rentang waktu tertentu (Chakrabarti, 2005). Konsep dasar dalam perancangan struktur adalah bagaimana membuat kekuatan struktur mampu menopang beban-beban yang mengenai struktur tersebut (Haldar dan Mahadevan, 2000). Kekuatan dari struktur ini sangat dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain yaitu beban yang bekerja pada struktur dan mechanical properties dari komponen-komponen penyusun struktur tersebut. Dalam pelaksanaannya di lapangan, faktor-faktor ini bekerja secara tidak pasti.

Baik besarnya beban yang bekerja ataupun kekuatan *mechanical properties* komponen struktur selalu berubah-ubah dan tidak mungkin *menghasilkan* angka yang sama persis. Untuk mengatasi permasalahan ketidakpastian ini, analisis keandalan diperlukan untuk menentukan peluang sukses kinerja dari suatu struktur.



Gambar 1.1. *Self-Propelled Coal Barge* yang Sedang Beroperasi

Pada tugas akhir ini, dilakukan analisis kekuatan memanjang pada konstruksi *Self-Propelled Coal Barge*. Ukuran utama dari *Self-Propelled Coal Barge* ini mengacu kepada struktur SPCB Odissei. Analisis ini akan menghasilkan suatu informasi mengenai keandalan kekuatan memanjang pada struktur SPCB Odissei. analisis ini dapat dijadikan suatu referensi dalam prosedur *preinspection* untuk menekan terjadinya kegagalan struktur (Bea, 2007).

Pada penelitian Tugas Akhir yang sudah ada sebelumnya, perhitungan keandalan menggunakan variabel acak yang diasumsikan. Variabel acak ini didapat dari hasil perhitungan deterministik sehingga didapat suatu nilai/angka. kemudian nilai/angka tadi dianggap sebagai nilai rata-rata dari suatu distribusi normal. Pada Tugas Akhir ini, dilakukan pendekatan baru untuk mendapatkan

suatu *probability density function* (pdf) dari variabel acak. Pdf ini nantinya akan digunakan dalam perhitungan keandalan struktur SPCB.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik gerakan (RAO) *Self-Propelled Coal Barge* (SPCB) pada kondisi *heave* dan *pitch*?
2. Bagaimana respons struktur memanjang (momen lengkung) pada struktur memanjang lambung *Self-Propelled Coal Barge* (SPCB)?
3. Berapa keandalan kekuatan struktur memanjang lambung *Self-Propelled Coal Barge* (SPCB)?

1.3. TUJUAN

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah :

1. Mengetahui karakteristik gerakan (RAO) *heave* dan *pitch* *Self-Propelled Coal Barge* (SPCB) pada gelombang regular.
2. Mengetahui karakteristik respon struktur memanjang (momen lengkung) pada struktur memanjang lambung *Self-Propelled Coal Barge* (SPCB).
3. Mengetahui keandalan kekuatan struktur memanjang lambung *Self-Propelled Coal Barge* (SPCB).

1.4. MANFAAT

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan pemahaman mengenai respon struktur *memanjang Self-Propelled Coal Barge*.
2. Memberikan pemahaman mengenai keandalan kekuatan struktur memanjang *Self-Propelled Coal Barge*.

1.5. BATASAN MASALAH

Batasan-batasan masalah dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Beban gelombang yang dianalisis merupakan gelombang regular.
2. Analisis gerakan Response Amplitude Operator (RAO) hanya pada kondisi *heave* dan *pitch*.
3. Semua peralatan dan perlengkapan dan dek tidak dimodelkan.
4. Kondisi yang dianalisis adalah kondisi *full-load*.

5. Pengaruh gelombang yang akan dikaji adalah dari arah 180° .
6. Daerah operasi *Self-Propelled Coal Barge* ditetapkan di perairan Indonesia dengan data sebaran gelombang diwakili oleh perairan Natuna.
7. Beban arus dan angin diabaikan.
8. Simulasi Monte Carlo dilakukan sampai 1.000.000 kali
9. Analisis keandalan dilakukan pada kekuatan memanjang struktur *Self-Propelled Coal Barge*.
10. Struktur didefinisikan gagal apabila tegangan aktual yang bekerja pada struktur lebih kecil daripada tegangan perencanaan.

1.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini dimulai dengan pendahuluan pada Bab Satu yang menjelaskan tentang latar belakang Tugas Akhir yang dilakukan, perumusan masalah, dan tujuan yang ingin dicapai. Selain itu, akan dijelaskan pula mengenai manfaat yang dapat diperoleh, batasan masalah untuk membatasi analisis yang dilakukan dan sistematika laporan Tugas Akhir.

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

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

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. TINJAUAN PUSTAKA

World Coal Institute (2004) menyebutkan bahwa *belt conveyor* atau truk pengangkut adalah moda transportasi yang umum digunakan untuk distribusi Batu Bara jarak dekat. Sedangkan untuk pasar yang lebih luas seperti pasar nasional bisa menggunakan kereta api ataupun tongkang (*barge*). Sedangkan untuk pasar dunia, transportasinya 90% menggunakan kapal besar dengan ukuran berkisar 60000 DWT sampai 80000 DWT.

Indonesia yang merupakan negara kepulauan, dalam distribusi batu bara pada umumnya menggunakan tongkang atau *barge*. Namun transportasi menggunakan *barge* atau tongkang yang masih ditarik atau didorong kapal tunda (*tugboat*) masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, dilakukan pengembangan berupa perancangan *barge* yang memiliki sistem penggerak sendiri yang dinamakan *Self-Propelled Coal Barge* (SPCB). SPCB ini memiliki kelebihan dibandingkan dengan *barge* biasa yang sistem penggerakannya masih bergantung kepada kapal tunda (*tugboat*). Metode tersebut sangat kurang efisien, yakni disamping harus mengeluarkan biaya untuk dua item transportasi, juga cenderung lamban dan prosesnya kompleks (Murtedjo, 2013).

Murtedjo (2013) telah melakukan penelitian mengenai *Self-Propelled Coal Barge* (SPCB) dimana jenis dan ukuran SPCB yang optimal dari aspek ekonomis dapat diperoleh. SPCB merupakan salah satu jenis dari struktur terapung. Struktur terapung adalah struktur yang mempunyai karakter bergerak mengikuti gerakan gelombang.

Dalam perhitungan respon struktur berupa momen lengkung (*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 disesuaikan dengan kondisi perairan Indonesia.

Simulasi Monte Carlo adalah suatu metode dalam analisis ketidakpastian dengan menggunakan *random number*. Metode ini digunakan untuk

mensimulasikan berbagai fenomena fisik yang terjadi. Baik untuk struktur yang sederhana maupun untuk struktur yang kompleks (Fishman, 1996).

2.2. DASAR TEORI

2.2.1. Keandalan Struktur

Di dalam desain struktur anjungan lepas pantai, tidak ada parameter perancangan dan kinerja operasi yang dapat diketahui dengan pasti. Hal ini karena tidak ada seorang pun yang mampu memprediksi kepastian atau ketidakpastian atas suatu kejadian tertentu. Oleh karena itu, dalam setiap perancangan pasti mengandung ketidakpastian yang pada akhirnya menimbulkan ketidakandalan dalam suatu tingkatan tertentu. Keandalan sebuah komponen atau sistem adalah peluang komponen atau sistem tersebut untuk memenuhi tugas yang telah ditetapkan tanpa mengalami kegagalan selama kurun waktu tertentu apabila dioperasikan dengan benar dalam lingkungan tertentu (Rosyid, 2007).

Untuk melakukan analisis keandalan, perkiraan dari ketidakpastian fisik pada beban gelombang ekstrem juga diperlukan. Oleh karena itu dalam mendesain sebuah struktur perlu juga dipertimbangkan keandalannya. Salah satu masalah utama pada perhatian desain struktur yang pertama adalah kegagalan penyimpangan dan syarat tradisional yaitu informasi yang memperhatikan karakteristik respon ekstrem dan dalam pendekatan modern nilai distribusi ekstrem.

Pemakaian konsep analisis keandalan yang didasarkan pada metode probabilistik telah berkembang dan semakin penting peranannya terutama untuk memecahkan masalah- masalah dalam perancangan praktis (Baker, 1979). Hal ini dikarenakan ketidakpastian dari lingkungan dan kondisi operasi dapat divalidasi secara lebih baik dengan konsep ini.

Indeks keandalan β adalah perbandingan antara nilai rata-rata dan nilai simpangan baku dari margin keselamatan, S , yaitu :

$$\beta = \frac{\mu}{\sigma} \quad (2.1)$$

Jika menggunakan nilai kritis *margin* keselamatan, $S = 0$, dan jaraknya dengan nilai rata-rata margin keamanan μ_s , maka indeks keandalan i ni

dapat diinterpretasikan sebagai jumlah kelipatan simpangan baku σ pada jarak ini. Artinya, jarak antara $S = 0$ dengan μ ini dapat dibagi menjadi beberapa simpangan baku. Semakin panjangnya, relatif terhadap simpangan baku, maka semakin besar indeks keandalannya. Selanjutnya, indeks keandalan juga berbanding terbalik dengan koefisien variasi margin keselamatan, atau dapat dituliskan $\beta = 1/V_s$.

Perhitungan keandalan juga bisa dilakukan dengan menggunakan metode *Monte Carlo*. Nilai keandalan didapatkan dengan cara sebagai berikut :

$$K = 1 - Pf$$

(2.2)

Dengan :

K = keandalan

Pf = *Probability of failure* atau peluang kegagalan

2.2.2. Simulasi *Monte Carlo*

Simulasi *Monte Carlo* adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis keandalan struktur. Ketika suatu sistem mengandung variabel atau parameter yang memiliki nilai random, atau mengandung peubah acak, maka metode simulasi *Monte Carlo* dapat digunakan. Unsur pokok dalam simulasi *Monte Carlo* adalah penggunaan *random number generator* (RNG). Simulasi dilakukan dengan mengambil beberapa sampel dari peubah acak berdasarkan distribusi peluang peubah acak tersebut.

Prinsipnya, sampel yang diambil berdasarkan *RNG* tadi akan dipakai sebagai masukan ke dalam fungsi kinerja $FK(x)$, dan harga $FK(x)$ kemudian dihitung. Misalnya untuk suatu fungsi kinerja tertentu, setiap $FK(x) > 0$, maka sistem atau komponen dianggap gagal. Jika jumlah sampel tersebut adalah N , maka dicatat jumlah kejadian $FK(x) > 0$ sejumlah n kali. Dengan demikian maka peluang kegagalan sistem/komponen yang sedang ditinjau adalah perbandingan antara jumlah kejadian gagal dengan jumlah kejadian yang dilakukan. Dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Pg = \frac{n}{N} \tag{2.3}$$

Dengan :

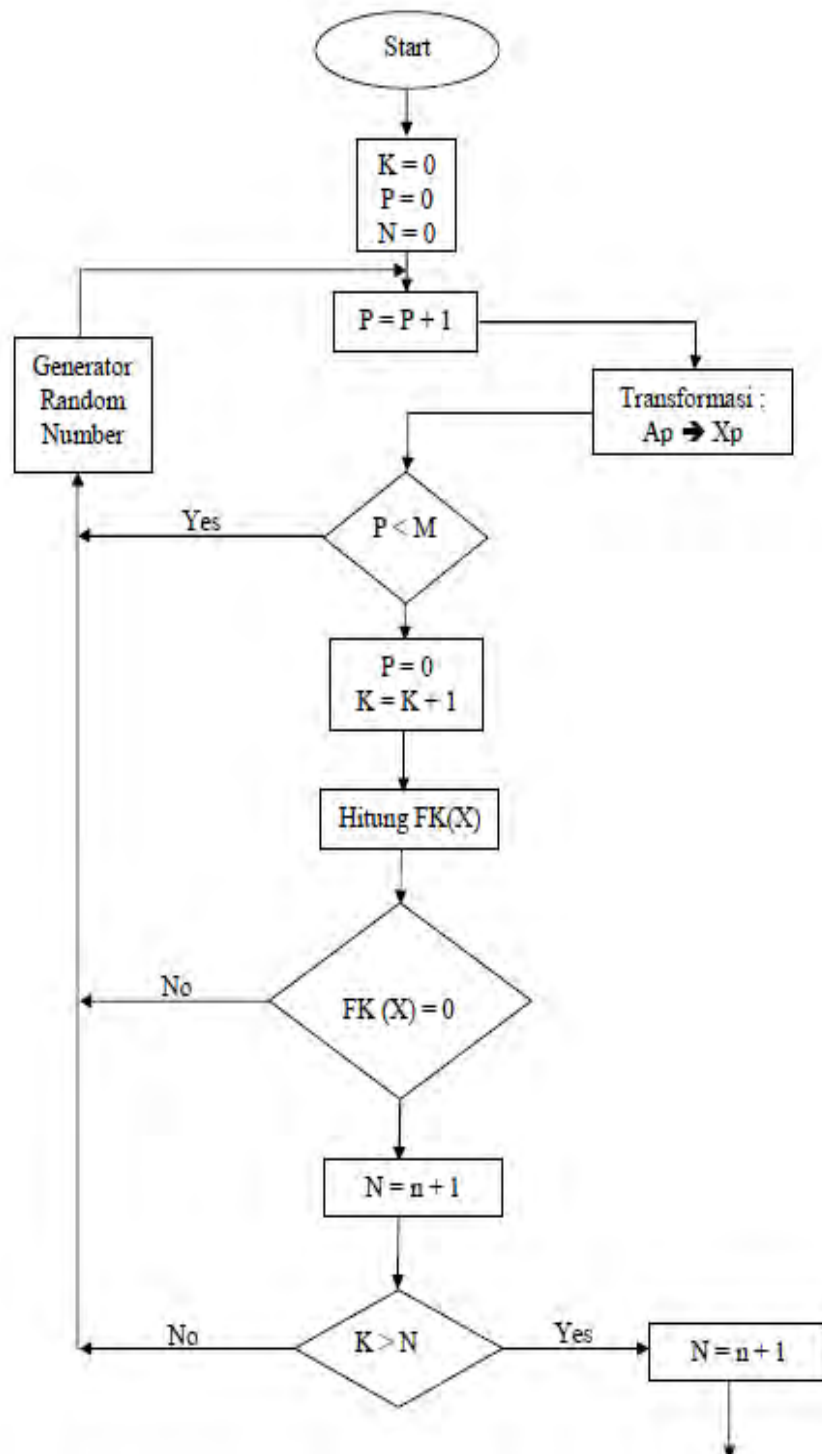
Pg = peluang kegagalan

n = jumlah kejadian gagal

N = jumlah kejadian keseluruhan.

Dalam simulasi *Monte Carlo*, langkah – langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut (diilustrasikan dengan gambar 2.5) :

1. Menentukan fungsi kinerja struktur
2. Mengeluarkan angka acak dari *Random Number Generator*
3. Mentransformasi *RNG* yang merupakan bilangan acak, menjadi nilai perubah bilangan acak yang merupakan salah satu komponen dari fungsi kinerja yang telah ditetapkan
4. Menentukan dan mendefinisikan fungsi kinerja, misalnya jika $FK(X) < 0$ maka struktur gagal
5. Ulangi prosedur 1 – 4 sebanyak yang diinginkan
6. Catat berapa kali struktur mengalami kegagalan dan berapa kali percobaan dilakukan.



Gambar 2.1. Algoritma Tipikal untuk Simulasi *Monte Carlo* (Rosyid, 2007)

2.2.3. Barge

Barge dapat diartikan sebagai kapal yang memiliki bagian bawah atau dasar kapal yang rata, biasanya digunakan untuk mengangkut barang. Beberapa barge ada yang dilengkapi dengan *propeller* dan sebagainya tidak. Pada mulanya *barge* memang tidak memiliki sistem penggerak sendiri dan hanya berfungsi sebagai bangunan apung penampung material yang akan didistribusikan melalui sungai. Untuk melakukan mobilisasi/pergerakan, moda transportasi jenis ini harus menggunakan bantuan kapal tunda (*tugboat*) baik ditarik maupun didorong. Metode transportasi ini kurang efisien, diakibatkan selain harus mengeluarkan biaya operasional dua kapal, transportasi juga relatif lamban dan rumit dalam pelaksanaannya. Oleh karena itulah saat ini dikembangkan *self-propelled barge* yaitu barge yang memiliki sistem penggerak sendiri mulai dari mesin induk, *propeller*, poros serta kemudi.

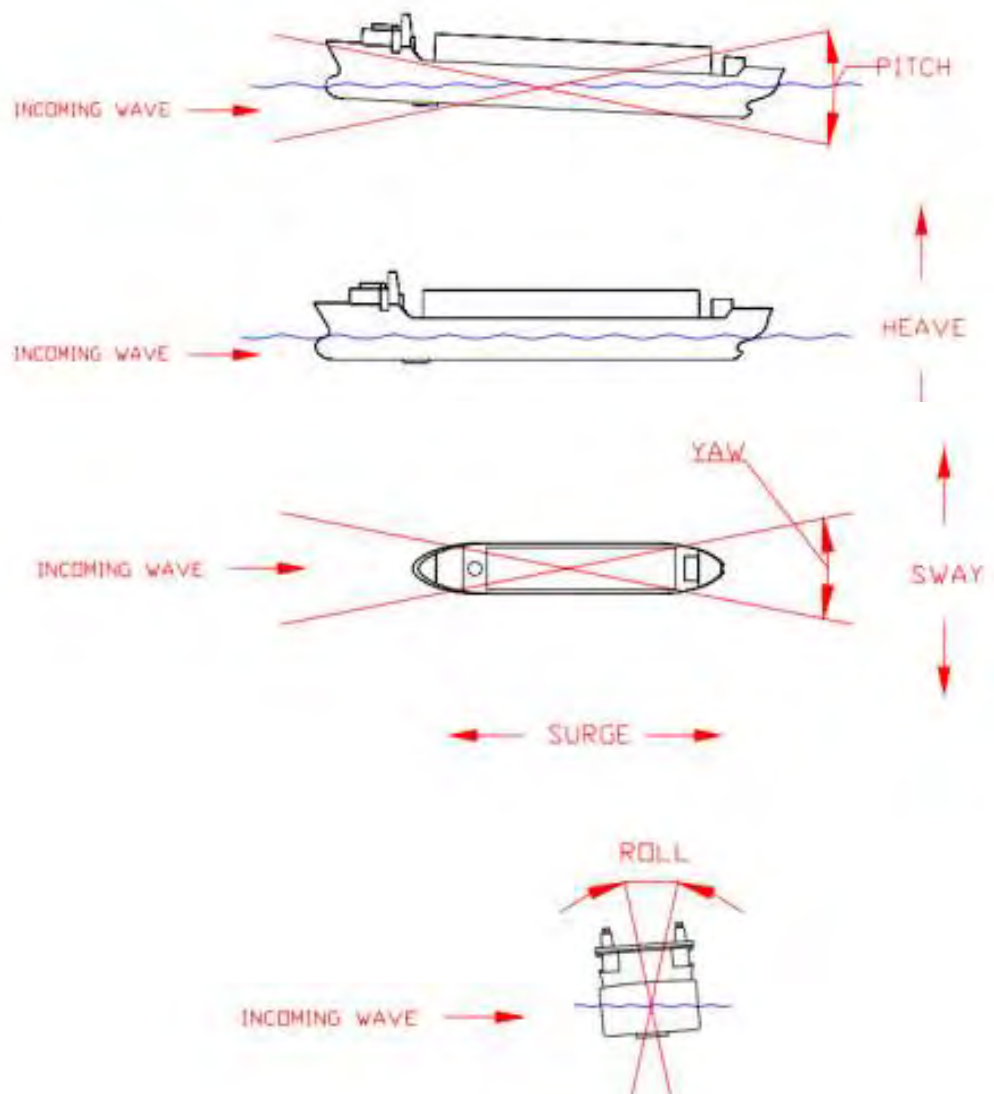


Gambar. 2.2. *Self-propelled Barge* (Marineinsight.com)

2.2.4. Gerakan Bangunan Apung Akibat Eksitasi Gelombang

Perlu diketahui terlebih dahulu bahwa pada dasarnya benda terapung mempunyai enam mode gerakan yang disebut SDOF (*Six Degree of Freedom*) yang terbagi menjadi dua jenis, yaitu tiga mode gerakan translasional dan tiga mode gerakan rotasional (Battacharya, 1978). Berikut adalah keenam mode gerakan tersebut.

1. Mode gerak translasional
 - a. *Surge*, gerakan transversal arah sumbu x.
 - b. *Sway*, gerakan transversal arah sumbu y.
 - c. *Heave*, gerakan transversal arah sumbu z.
2. Mode gerak rotasional
 - a. *Roll*, gerakan rotasional arah sumbu x.
 - b. *Pitch*, gerakan rotasional sumbu y.
 - c. *Yaw*, gerakan rotasional arah sumbu z.



Gambar 2.3. Ilustrasi gerakan *Six Degree of Freedom* pada kapal (HSE, 2006)

2.2.5. Beban Gelombang

Gelombang laut terbentuk karena hembusan angin yang mengenai permukaan air laut. besarnya gelombang laut ini dipengaruhi oleh beberapa variabel seperti intensitas, jangka waktu, dan jarak angin berhembus (*fetch*). Untuk menghitung besarnya beban gelombang, maka perlu diketahui nilai periode ulang (*return period*) dari gelombang 1 tahunan, 10 tahunan, dan 100 tahunan. Nilai periode ulang gelombang atau return period dapat dicari dengan analisis gelombang kurun waktu panjang (*long-term wave analysis/LTWA*). Analisis dapat dilakukan terhadap kumpulan data-data gelombang yang telah dieproleh dalam kurun tahunan (minimal 1 tahun).

Distribusi gelombang dalam kurun waktu panjang dapat didekati dengan distribusi kontinyu dari Weibull. Berikut adalah persamaan linier dari fungsi kepadatan peluang (*probability density function*) :

$$\ln\left\{\ln\left(\frac{1}{1-P(H)}\right)\right\} = \xi \ln x - \xi \ln \lambda \quad (2.4)$$

Dengan :

$P(H)$ = peluang terjadinya gelombang

ξ = parameter bentuk dengan harga antara 0,75 s.d 2,0 ; sedangkan untuk gelombang laut umumnya berkisar antara 0,9 s.d. 1,1 (Naess: 0,7 s.d. 1,3)

λ = parameter skala yang harganya tergantung dari harga ekstrim variabel x ; atau untuk gelombang laut adalah harga tinggi ekstremnya, yakni yang terjadi sekali dalam kurun waktu panjang (m)

x = intensitas obyek/parameter yang ditinjau ; misalnya tinggi gelombang sehingga $x = H$

Distribusi Weibull dapat diaproksimasi dengan kurva berbentuk garis lurus bila variabel x pada ruas kanan persamaan di atas diganti dengan $(H - a)$. Variabel a disini adalah ukuran ambang tinggi gelombang (*threshold wave height*), yaitu tinggi gelombang terkecil yang terjadi di suatu perairan. Untuk perairan tertutup a dapat mempunyai harga sangat kecil ($= 0$), sedangkan untuk perairan terbuka dapat mempunyai harga antara 0,5 s.d. 2,0 m. Kurva distribusi Weibull akan mempunyai bentuk garis lurus jika digambarkan pada grafik yang

mengkorelasikan $\ln\{\ln[1/1-P(H)]\}$ sebagai ordinat dan $\ln(H - a)$ sebagai absisnya. Tinggi gelombang yang digunakan adalah tinggi gelombang signifikan (H_s), jika gelombang yang diketahui adalah tinggi gelombang maksimum (H_{max}), maka H_s dapat dicari dengan:

$$H_s = \frac{H_{max}}{1.86} \quad (2.5)$$

2.2.6. Response Amplitude Operator (RAO)

Dalam analisis bangunan lepas pantai terapung penting untuk memperhatikan operabilitas dan respon struktur akibat gelombang. Respon pada struktur akibat gelombang reguler dalam setiap frekuensi dapat diketahui dengan metode spectra. *Response Amplitude Operator (RAO)* adalah fungsi *response* yang terjadi akibat gelombang dalam fungsi frekuensi yang mengenai struktur *offshore*. RAO juga disebut sebagai *transfer function* karena RAO merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk response pada suatu struktur. Berikut adalah bentuk umum dari persamaan RAO dalam fungsi frekuensi dapat dituliskan sebagai berikut (Chakrabarti, 2005) :

$$Response(w) = (RAO)h(w) \quad (2.6)$$

Dengan :

h = amplitudo gelombang (m)

RAO juga merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang disebabkan akibat gelombang dengan rentang frekuensi tertentu. RAO adalah alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur. Persamaan RAO dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

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

Dengan :

$X_p(\omega)$ = amplitudo struktur

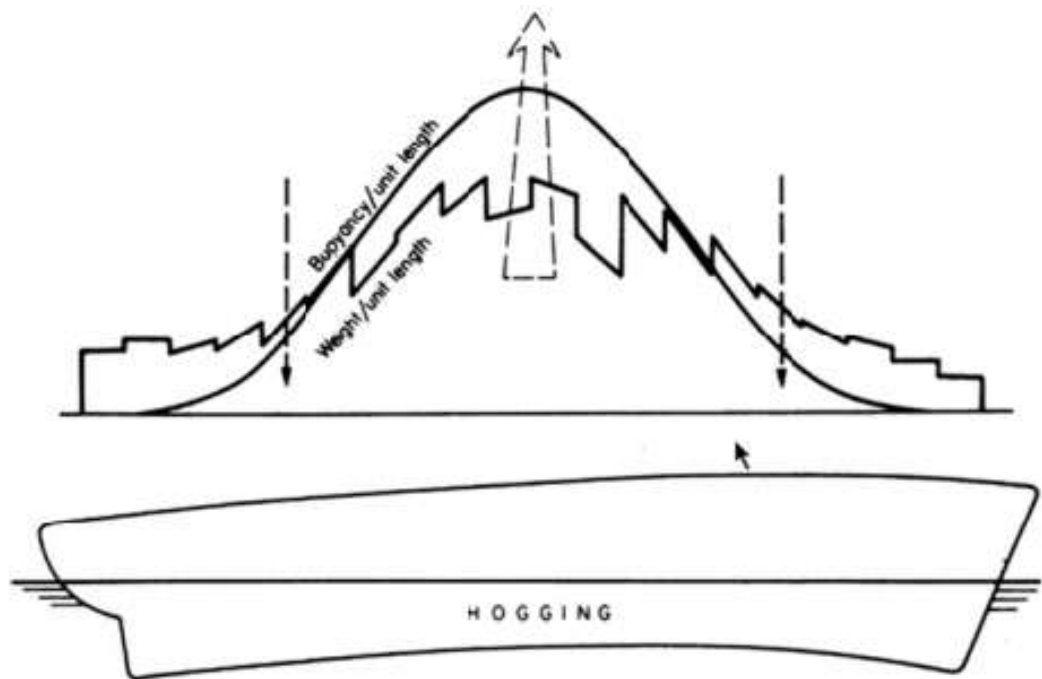
$\eta(\omega)$ = amplitudo gelombang

2.2.7. Kekuatan Memanjang Kapal

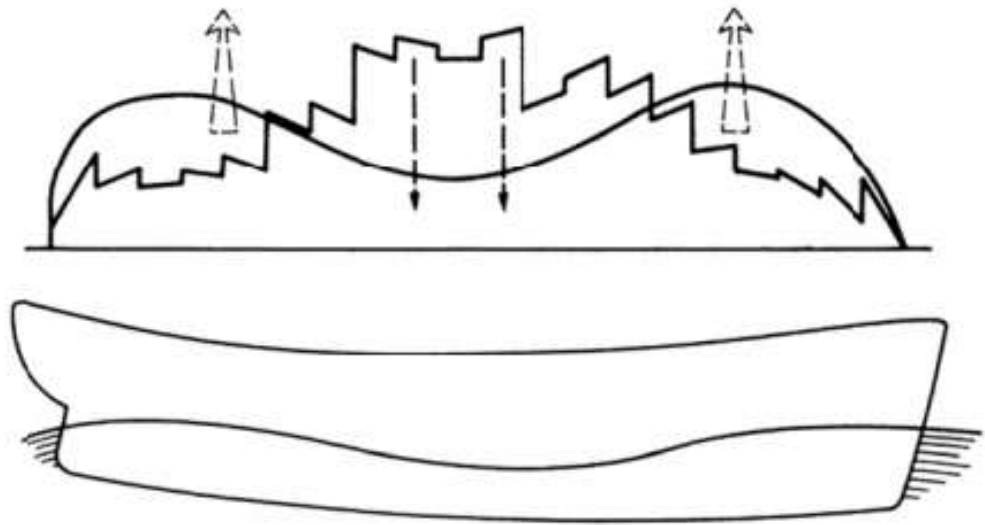
Dalam operasinya di laut, ada dua kondisi yang perlu diperhatikan oleh bangunan laut khususnya kapal. Yaitu suatu kondisi dimana puncak gelombang pada amidship dan kondisi dimana puncak gelombang terdapat pada ujung-ujung

kapal. Maka kapal akan mengalami kondisi yang dinamakan *hog* dan *sag*. Pada kondisi ini kapal akan mendapat beban yang besar karena distribusi massa kapal.

Kekuatan memanjang kapal diakibatkan oleh gaya vertikal yang dialami oleh *girder* badan kapal yakni gaya berat dan gaya *buoyancy* seperti ditunjukkan pada gambar 2.4 dan 2.5. Untuk suatu bangunan terapung gaya berat harus sebanding dengan gaya *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*).



Gambar 2.4. Ilustrasi kondisi *hogging* (Rawon & Tupper, 2001)



Gambar 2.5. Ilustrasi kondisi *sagging* (Rawon & Tupper, 2001)

2.2.8. Momen Lengkung (*Bending Moment*) akibat Beban Gelombang

Dalam mendesain struktur kapal sangat penting untuk memperhatikan beban yang akan diterima sepanjang umur operasi struktur. Beban yang dimaksud adalah termasuk beban *shear force* dan *bending moment* sepanjang kapal. Struktur lambung kapal yang beroperasi di laut akan mendapat beban eksternal yang berasal sebagian besar dari tekanan fluida terhadap permukaan lambung kapal, gaya gravitasi dan gaya inersia. Tekanan fluida terhadap permukaan lambung kapal akan menimbulkan gaya hidrodinamis. Gaya-gaya ini menyebabkan timbulnya *shear force* dan *bending moment* (Battacharya, 1978).

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. Perhitungan ini mengacu kepada *Basic Ship Theory*. Hal ini 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 kepada code American Bureau of Shipping untuk perhitungan *bending moment* adalah sebagai berikut :

Untuk momen ketika Sagging

$$M_{ws} = -k_1 C_1 L^2 B (C_b + 0.7) \times 10^{-3} \quad (2.8)$$

Untuk momen ketika Hogging

$$M_{wh} = +k_2 C_1 L^2 B C_b \times 10^{-3} \quad (2.9)$$

Dimana,

$$k_1 = 100$$

$$k_2 = 190$$

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

L = Panjang kapal

C_b = Koefisien block

B = Lebar kapal

1.2.9. Stress (Tegangan)

Pada suatu penampang, gaya-gaya yang bekerja pada luasan umumnya sangat kecil (*infinitesimal areas*) pada penampang tersebut bervariasi baik dalam besar maupun arahnya. Gaya dalam merupakan resultan dari gaya-gaya pada luasan yang sangat kecil ini. Intensitas gaya menentukan kemampuan suatu struktur atau material dalam menerima beban (kekuatan) disamping mempengaruhi sifat-sifat kekakuan maupun stabilitas. Intensitas gaya dan arahnya yang bervariasi dari titik ke titik dinyatakan sebagai tegangan. Karena perbedaan pengaruhnya terhadap material struktur, biasanya tegangan diuraikan menjadi komponen yang tegak lurus dan sejajar dengan arah potongan suatu penampang.

Satuan yang digunakan dalam penjabaran tegangan adalah satuan gaya dibagi dengan satuan luas. Pada satuan SI, gaya diukur dalam Newton (N) dan luas diukur dalam satuan meter kuadrat (m^2). Biasanya, 1 N/m^2 dikenal sebagai satu Pascal (Pa). Apabila dijabarkan dalam rumus adalah sebagai berikut :

$$\sigma = F/A \quad (2.10)$$

dengan :

σ : Tegangan (N/m^2)

F : gaya (Newton)

A : luas (m^2)

Ditinjau dari arah gaya dalam yang terjadi, tegangan diklasifikasikan menjadi 2 jenis, yaitu :

- a. *Tegangan normal* yakni tegangan yang terjadi karena pengaruh dari gaya normal.
- b. *Tegangan tangensial* yakni tegangan yang terjadi karena pengaruh gaya tangensial.

Sedangkan menurut jenis pembebanan yang diberikan, tegangan diklasifikasikan menjadi:

1. Tegangan tarik
2. Tegangan geser
3. Tegangan tekan
4. Tegangan puntir
5. Tegangan lengkung/bengkok

2.2.10 Distribusi Frekuensi, Histogram dan *Probability Density Function*

Data mentah yang terkumpul harus diorganisasikan secara numerik agar dapat memberikan arti dan dapat diambil kesimpulan informasi. Dalam statistik, ada beberapa penyajian data yang dapat digunakan (Harinaldi, 2005).

2.2.10.1. Distribusi Frekuensi

Untuk data yang banyak jumlahnya, data harus diorganisasikan ke dalam bentuk yang lebih ringkas, kompak, tanpa menghilangkan fakta-fakta penting di dalamnya. Hal ini dapat dilakukan dengan bentuk distribusi frekuensi yaitu dengan mengelompokkan jajaran data ke dalam sejumlah kelas dan kemudian menentukan banyak data pada masing-masing interval kelas.

Tabel 2.1 Contoh Penyajian Data dalam Bentuk Distribusi Frekuensi

<i>Bending Moment</i> (kN.m)	Jumlah (f)
0-4499999	0
4500000-8999999	1
9000000-13499999	2
13500000-17999999	8
18000000-22499999	29
22500000-26999999	6
27000000-31499999	5
31000000-35499999	3
35000000-39499999	1
TOTAL (N)	55

2.2.10.1. Histogram

Histogram adalah grafik batang (*bar graph*) yang menggambarkan distribusi data dari sebuah distribusi frekuensi. Batang-batang (*bars*) pada histogram memiliki karakteristik sebagai berikut :

- Dasarnya pada sumbu horizontal (sumbu-x) lebarnya sama dengan lebar interval kelas.
- Luasnya proporsional terhadap frekuensi interval kelas yang bersangkutan

2.2.10.1. Probability Density Function (pdf)

Probability density function (pdf) atau dapat disebut sebagai fungsi kepadatan probabilitas dapat dibentuk secara teoritis lewat poligon frekuensi yang dimuluskan. Kurva dinyatakan dalam suatu fungsi $f(x)$ yang disebut sebagai fungsi kepadatan probabilitas. Secara imajinatif dapat dibayangkan bahwa fungsi kepadatan probabilitas (pdf) menggambarkan besarnya probabilitas per unit interval nilai variable acaknya. Secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut:

$$P(a \leq X \leq b) = p(a \leq x \leq b) \int_a^b f(x)dx \quad (2.11)$$

2.2.10.1. Uji Kesesuaian Data (Goodness of Fit)

Agar data yang dianalisis dapat digunakan dengan tepat, maka perlu dilakukan uji distribusi terlebih dahulu untuk mengetahui jenis distribusinya. Metode pengujian dapat dilakukan dengan metode Anderson-darling , dimana pada metode ini distribusi empiris data dibandingkan dengan dengan distribusi teoritis tertentu yang dihipotesiskan. Dalam uji ini menggunakan p-value untuk mengukur apakah sebaran tertentu tersebut mengikuti distribusi tertentu atau

tidak. P-value adalah peluang bahwa sampel yang diuji terletak pada suatu distribusi tertentu.

Hipotesis Anderson Darling :

H0 : Data mengikuti sebaran tertentu

H1 : Data tidak mengikuti sebaran tertentu

Statistik uji :

$$A^2 = -N - S \quad (2.12)$$

Dimana :

$$S = \sum_{i=1}^N \frac{(2i-1)}{N} [\log F(Y_i) + \log (1 - F(Y_{N+1-i}))] \quad (2.13)$$

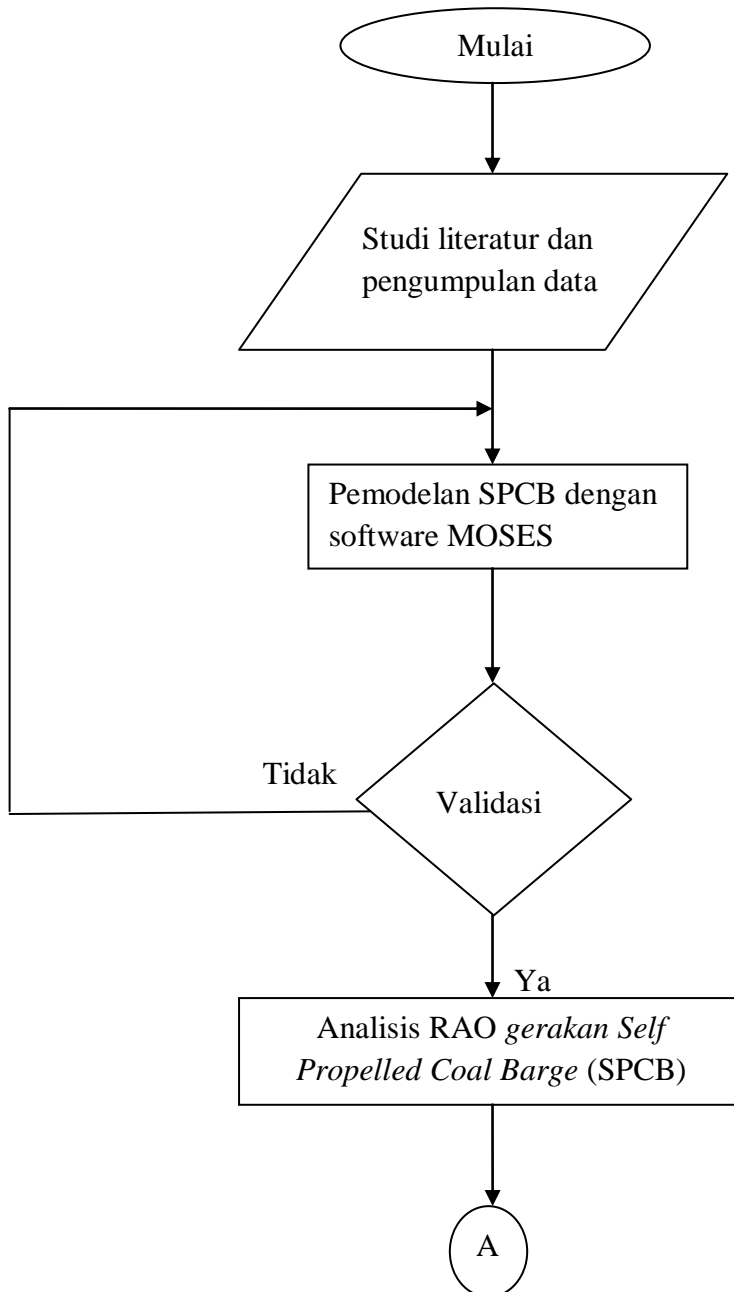
Keterangan :

- F : Fungsi kumulatif distribusi dari distribusi tertentu
- A : Significance level (*alpha*)

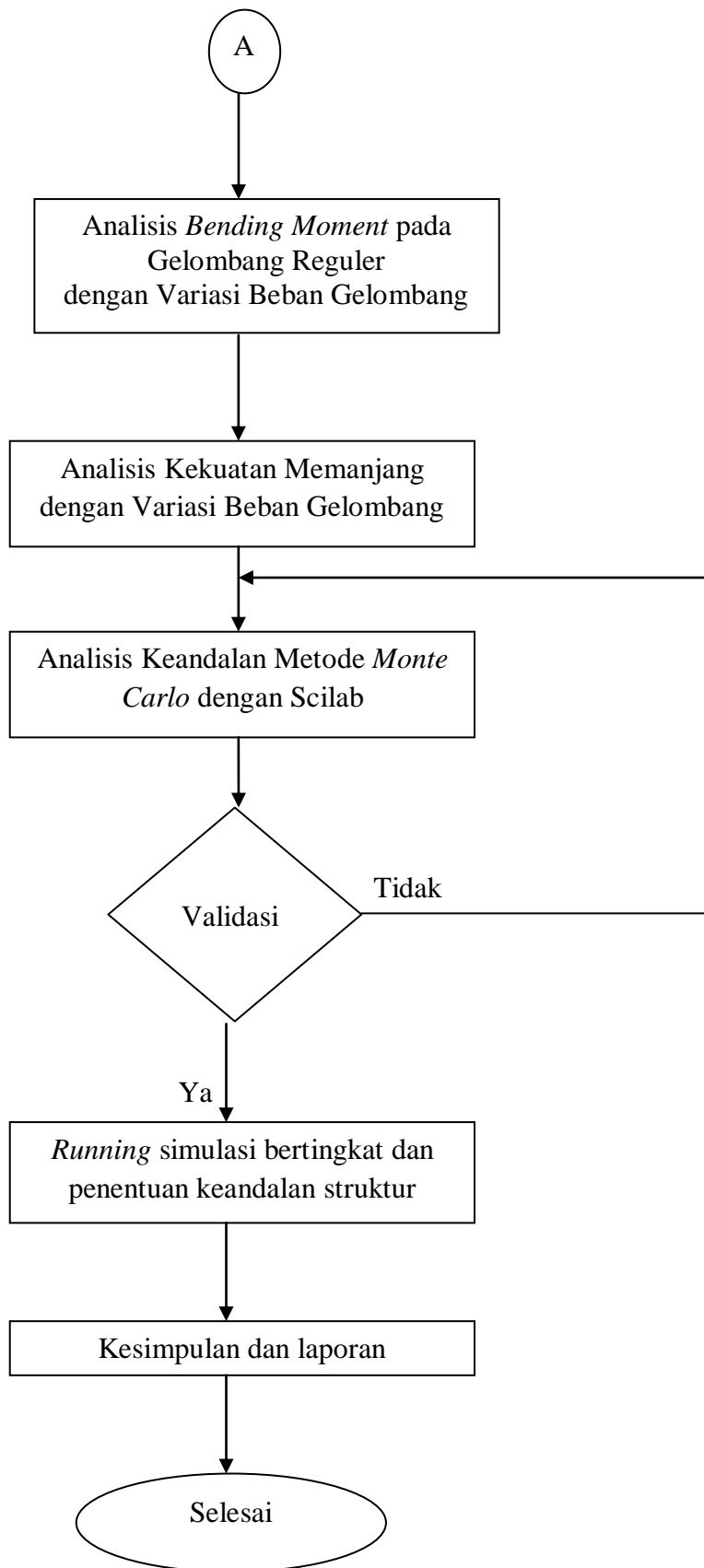
BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. METODE PENELITIAN

Tahapan penyusunan Tugas Akhir ini ditunjukkan melalui diagram alir dibawah ini :



Gambar 3.1 Flow chart pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.1 *Flow chart* pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan)

Adapun langkah-langkah penelitian dalam diagram alir pada Metodologi penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari berbagai bahan acuan seperti jurnal, buku dan referensi lain seperti Tugas Akhir sebelumnya. Studi literatur bertujuan untuk membantu dalam memahami dan menganalisis permasalahan pada penelitian ini. Selain itu juga dilakukan penelusuran literatur untuk mendapatkan data Self Propelled Coal Barge (SPCB) dan data lingkungan.

a. Data *Self-Propelled Coal Barge*

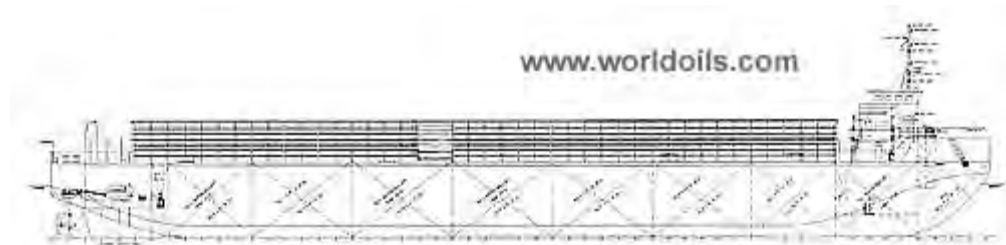
Data struktur yang digunakan untuk penelitian Tugas Akhir ini adalah data struktur *Self-Propelled Coal Barge* yang dioperasikan di Laut Jawa dengan dimensi utama sebagai berikut :

Tabel 3.1 Data Utama SPCB Odissei

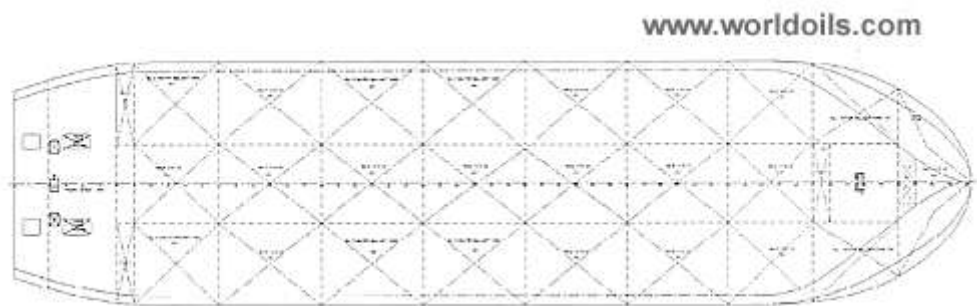
Data Utama		
Nama	=	Coal Carrier Barge 8000 DWT
Type	=	<i>Self-Propelled Barge (SPB)</i>
LOA	=	91,44 m
Breadth	=	24 m
Depth	=	7 m
Draft	=	5 m
Displacement	=	9750,7 ton
Light Weight	=	1703,7 ton
Dead Weight	=	8047 ton
Coal Capacity	=	7700 ton



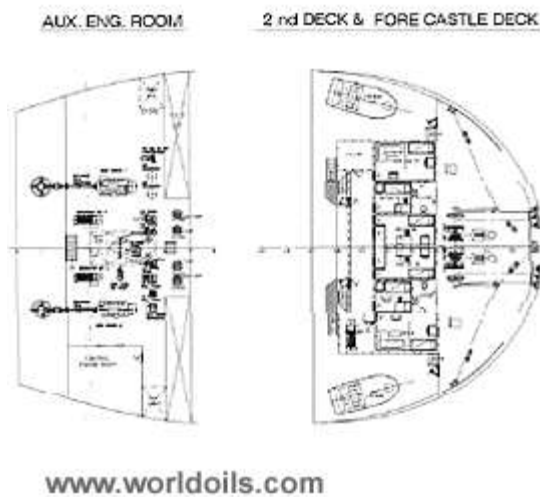
Gambar 3.2 *General Arrangement Coal Carrier Barge tampak atas*



Gambar 3.3 *General Arrangement Coal Carrier Barge tampak samping*



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



Gambar 3.5 *General Arrangement Coal Carrier Barge 2nd Deck and Forecastle Deck*

b. Data Lingkungan

Pengumpulan data gelombang digunakan untuk menganalisa beban gelombang dari kondisi perairan. Dalam

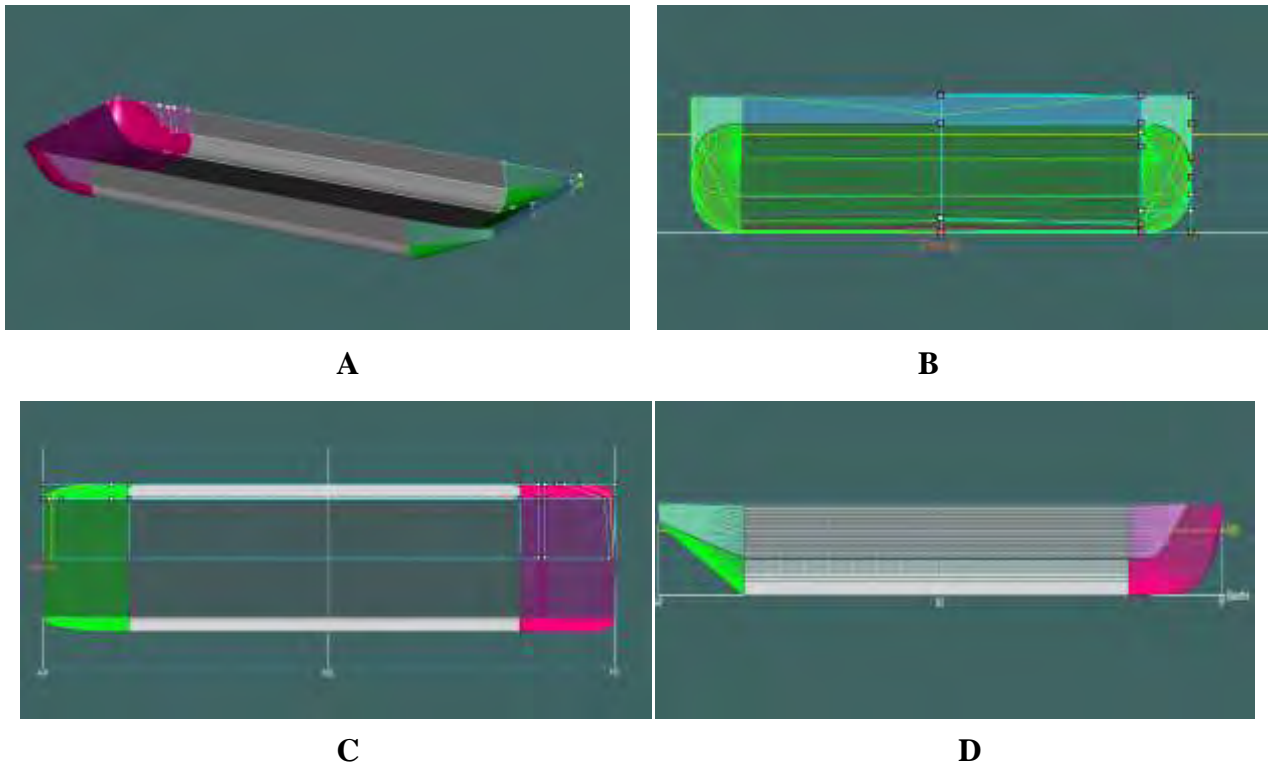
hal ini perairan yang digunakan adalah perairan tidak terbatas dengan H_s sampai 4.5 m.

Tabel 3.2 Data Sebaran Gelombang Perairan Dunia (ABS,2010)

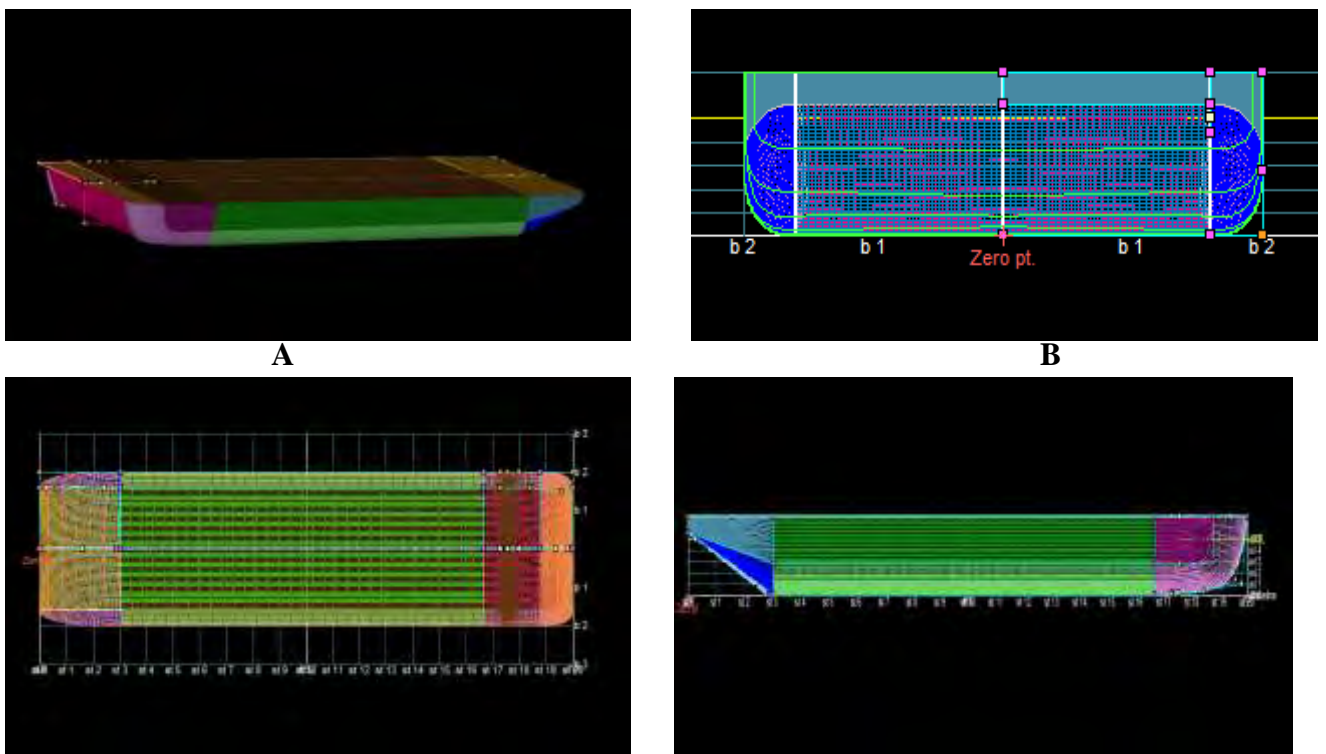
Kode	Wave Periods (s)											Sum Over All Periods
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Wave Heights (m)	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	13,5	
0,5	8	260	1344	2149	1349	413	76	10	1	0	0	5.610
1,5		55	1223	5349	7569	4788	1698	397	69	9	1	21.158
2,5		9	406	3245	7844	7977	4305	1458	351	65	10	25.670
3,5		2	113	1332	4599	6488	4716	2092	642	149	28	20.161
4,5			30	469	2101	3779	3439	1876	696	192	43	12.625
5,5			8	156	858	1867	2030	1307	564	180	46	7.016
6,5			2	52	336	856	1077	795	390	140	40	3.688
7,5			1	18	132	383	545	452	247	98	30	1.906
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
Sum Over All Height	8	326	3.127	12.779	24.880	26.874	18.442	8.949	3.335	1.014	266	100.000

2. Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur *Self Propelled Coal Barge* (SPCB) dalam Tugas Akhir ini dilakukan dengan bantuan software MOSES dan Maxsurf yang mencacu kepada data utama SPCB.



Gambar 3.6 Hasil pemodelan SPCB Odissei pada Maxsurf (A) tampak isometrik (B) tampak depan/*body plan* (C) tampak atas/*half breadth plan* (D) tampak samping.



C**D**

Gambar 3.7 SPCB Odissei hasil output MOSES (A) tampak isometrik (B) tampak depan (C) tampak atas (D) tampak samping.

3. Validasi Model

Model struktur yang telah dimodelkan diperiksa kesesuaiannya dengan data struktur yang sudah ada dilapangan.

Tabel 3.3 Validasi data hidrostatis SPCB Odissei *Full Load Condition*

<i>Measurement</i>	Model		Satuan	Koreksi (%)
	Maxsurf	MOSES		
Displacement	9744	9729	Ton	0,0016
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	-2,373	-2,166	m	0,0873
LCF dari midship	-0,455	-0,524	m	0,1317
WPA	2129,703	2132,301	m ²	0,0013
BMt	10,599	10,672	m	0,0069
BML	147,293	147,964	m	0,0046
KMt	13,227	13,311	m	0,0064
KML	149,921	150,603	m	0,0046

Validasi model SPCB di atas perbandingan antara data hidrostatik keluaran Maxsurf dan MOSES dengan batas *error* tidak melebihi 1%.

4. Analisis Gerakan RAO SPCB

Setelah model selesai dan telah di validasi, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis gerakan SPCB dengan menggunakan

model yang telah dibuat. Analisis dilakukan dengan bantuan *software* Maxsurf mengacu kepada data lingkungan yang ada.

5. Analisis *Bending Moment* dengan variasi beban gelombang.
Dilakukan analisis untuk mencari besar *bending moment* dengan variasi tinggi dan periode gelombang. Analisis dilakukan pada kondisi *hogging* dan *Sagging*.
6. Menghitung keandalan struktur dengan menggunakan Scilab.
Dalam tahap ini, setelah didapatkan data variabel acak berupa bending moment, modulus penampang dan tegangan ijin, akan dilakukan perhitungan keandalan menggunakan *software* Scilab. Sebelumnya dibuat algoritma perhitungan keandalan berupa diagram alir dan penjelasan lengkap terkait prosedur perhitungan.
7. Validasi untuk memastikan listing yang dibuat telah benar.
Setelah *listing* pada Scilab selesai dibuat, akan dibandingkan hasil keluaran *software* dengan perhitungan yang dilakukan secara manual. Perhitungan secara manual dilakukan dengan bantuan *software* *Microsoft Excel*.
8. Kesimpulan dan Laporan
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 mengenai hasil-hasil pemodelan, perhitungan, dan analisis yang didapatkan sesuai dengan metodologi penelitian untuk mencapai tujuan penelitian.

4.1 Pemodelan *Self Propelled Coal Barge* (SPCB)

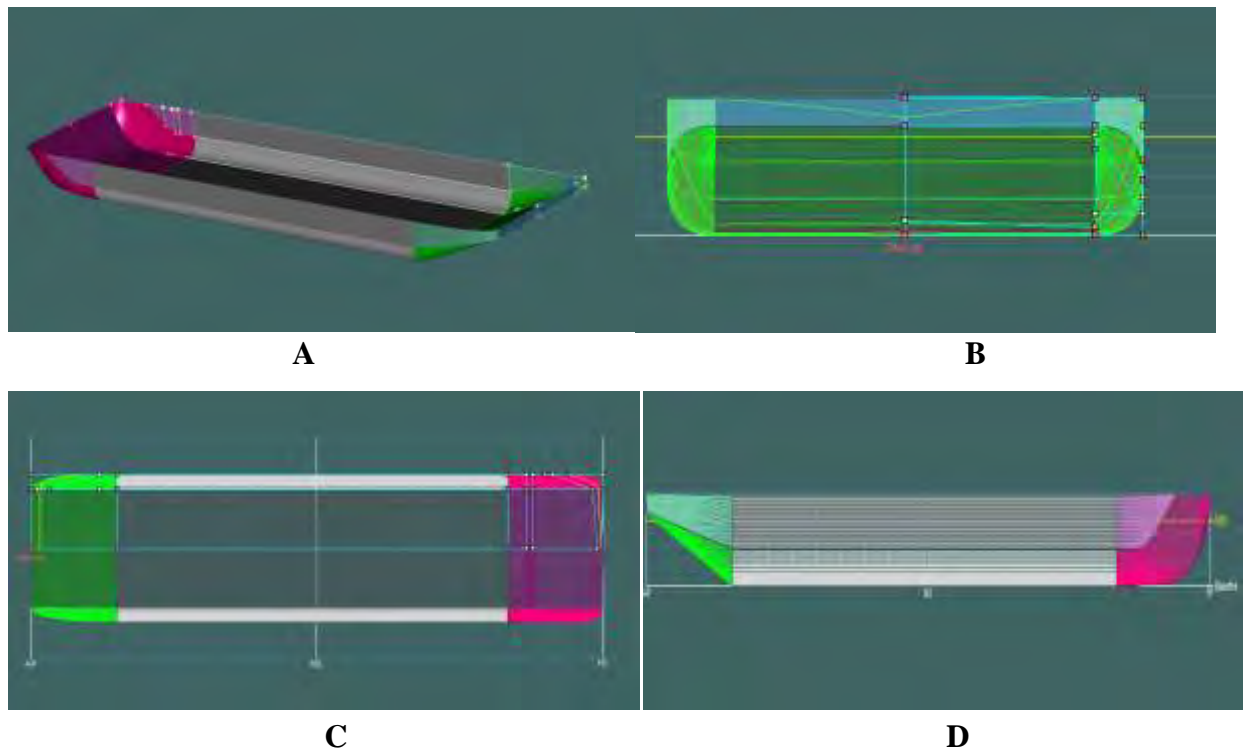
Pemodelan *Self Propelled Coal Barge* dilakukan menggunakan software Maxsurf dan MOSES. Pemodelan dilakukan dengan memperhatikan general arrangement yang ada di lapangan. Setelah dilakukan pemodelan, maka tahap selanjutnya yaitu analisis hidrostatis dapat dilakukan.

Tabel 4.1 Ukuran Utama SPCB Odissei

<i>Designation</i>	<i>Units</i>	<i>Minimum Operating Draft</i>	<i>Maximum Operating Draft</i>
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*

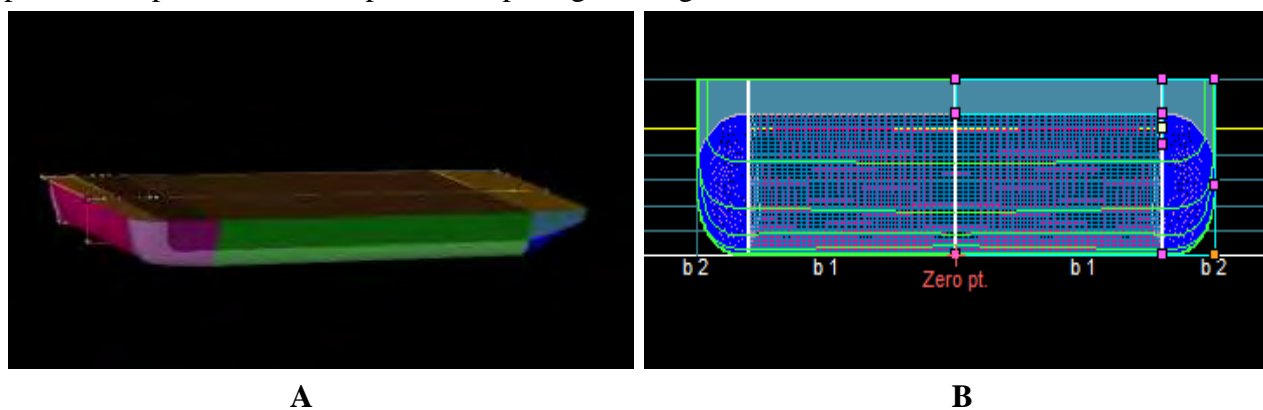
Pemodelan SPCB Odissei dilakukan pada Maxsurf untuk mendapatkan data hidrostatis kapal. Pemodelan dilakukan pada kondisi full load. Hasil pemodelan SPCB Odissei seperti tampak pada gambar-gambar berikut ini :

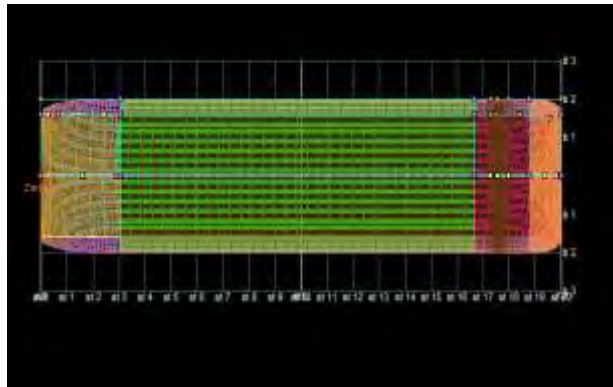


Gambar 4.1 Hasil pemodelan SPCB Odissei pada Maxsurf (A) tampak isometrik (B) tampak depan/body plan (C) tampak atas/half breadth plan (D) tampak samping/sheer plan

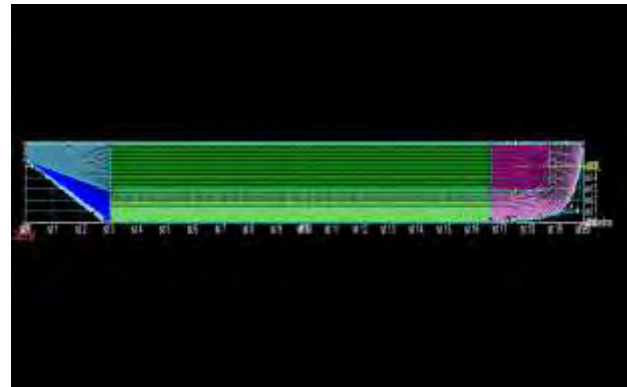
4.1.2 Pemodelan pada *Software* MOSES

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





C



D

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

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	9744	9729	Ton	0,0016
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	-2,373	-2,166	m	0,0873
LCF dari midship	-0,455	-0,524	m	0,1317
WPA	2129,703	2132,301	m ²	0,0013
BMt	10,599	10,672	m	0,0069
BML	147,293	147,964	m	0,0046
KMt	13,227	13,311	m	0,0064
KML	149,921	150,603	m	0,0046

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

4.2 Analisis Gerakan RAO *Self Propelled Coal Barge* (SPCB)

Langkah selanjutnya setelah melakukan pemodelan SPCB Odissei adalah analisis gerakan SPCB pada kondisi *heave* dan *pitch*. Analisis gerakan SPCB ini dibantu dengan menggunakan aplikasi perangkat lunak MOSES. Hasil analisis dari MOSES ini adalah RAO motion. Dari RAO motion ini dapat diketahui karakteristik gerakan kapal pada mode gerakan *heave* dan *pitch*. Analisis gerakan SPCB pada penelitian ini dilakukan dengan kondisi pembebanan *full load* dan arah datang gelombang dari arah *head seas* (180°).

Dalam input untuk perangkat lunak MOSES dibutuhkan nilai radius girasi yang digunakan untuk menghitung inersia kapal yang radius girasi tersebut diperoleh dari nilai titik berat kapal. Titik berat kapal ini bergantung pada kondisi pembebanan pada kapal. Persamaan inersia kapal merupakan hasil kali antara massa kapal dengan kuadrat dari radius girasi.

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

Pemodelan SPCB yang telah dilakukan pada Maxsurf dan MOSES hanya dimodelkan bagian lambung kapalnya saja, oleh karena itu *center of gravity* dari lambung kapal tersebut perlu dikoreksi dengan menambahkan *point mass* dari bangunan atas, tangki muatan dan jumlah muatan yang mengisi tangki tersebut berdasarkan lokasi yang sesuai dengan *General Arrangement*. Setelah dilakukan koreksi maka akan diperoleh *center of gravity* SPCB yang baru yang sesuai dengan kondisi yang diharapkan. Penambahan *point mass* ini juga akan berdampak pada sarat kapal yang akan semakin bertambah 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

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

Menurut Bhattacharya (1978) radius girasi dari gerak rotasi suatu bangunan apung merupakan hasil akar dari jumlah massa dikalikan masing-masing jarak massa tersebut dari *center of gravity* bangunan apung tersebut.

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

Perhitungan ini dilakukan dengan membagi kapal dalam bentuk pias-pias kecil kemudian dihitung dengan perkalian dengan metode Simpson. Namun seiring dengan perkembangan struktur kapal yang beragam dan berbentuk tidak homogen, maka menggunakan metode ini akan relatif sulit dalam menentukan *point mass* dari sebuah volume benda tidak beraturan. Maka dalam Tugas Akhir ini perhitungan radius girasi dilakukan dengan pendekatan Bureau Veritas, yaitu sebagai berikut :

- Radius girasi roll

$$k_{xx} = 0,289 \times B \times \left(1,0 + \left(\frac{2KG}{B}\right)^2\right)$$
- Radius girasi pitch = radius girasi yaw

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

Dengan :

B = lebar kapal (meter)

KG = jarak *keel to gravity* (meter)

L = *Length of Water Line* (meter)

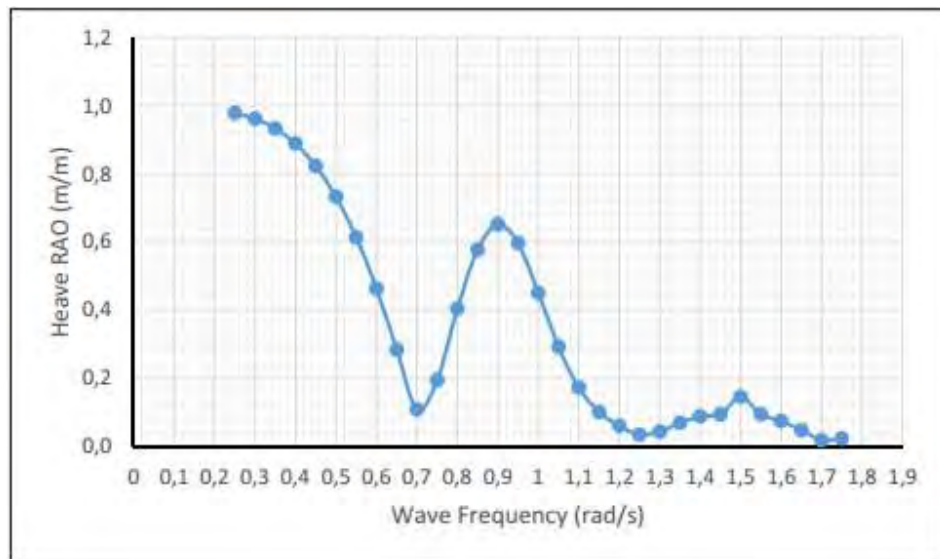
Berikut ini hasil dari perhitungan *center of gravity* dan radius girasi kapal dalam kondisi full load

Radius Girasi		
k_{xx} (meter)	k_{yy} (meter)	k_{zz} (meter)
10,19896	26,14242	26,14242

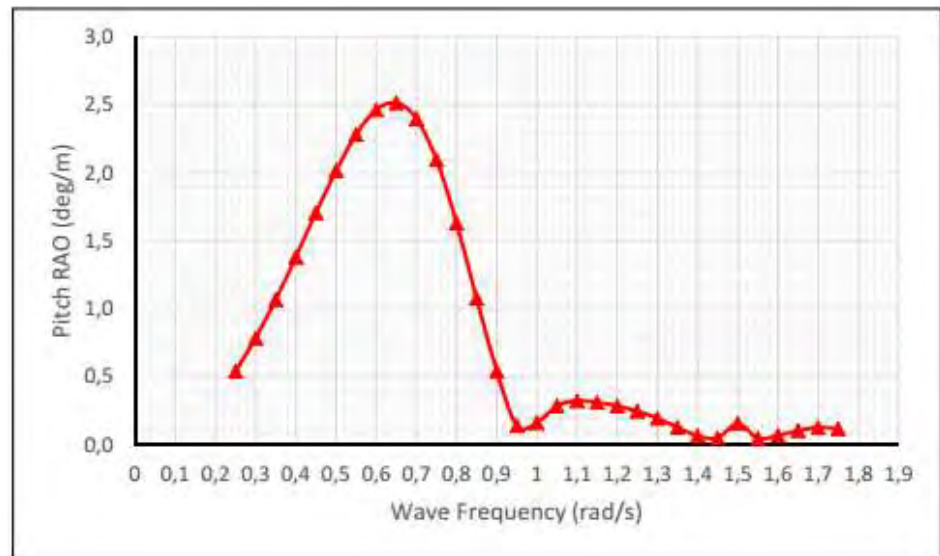
4.3.3 RAO Gerakan SPCB Odissei pada kondisi *Heave* dan *Pitch*

Analisis RAO gerakan diperlukan untuk mengetahui karakteristik gerakan dari SPCB Odissei. Analisis gerakan SPCB pada Tugas Akhir ini dilakukan pada

kondisi pembebanan *full* dan arah datang gelombang dari arah 180° atau *head seas*.



Gambar 4.3 Grafik RAO Gerakan *Heave* SPCB Oddissei



Gambar 4.4 Grafik RAO Gerakan *Pitch* SPCB Oddissei

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa *heave* tertinggi adalah sebesar 0,979 (m/m) pada frekuensi 0,25 rad/s, *pitch* maksimum sebesar 2,514 (deg/m) pada frekuensi 0,65 rad/s.

4.3 Berat Muatan SPCB Odisei

Pada suatu bangunan apung memiliki berat LWT dan DWT. Dalam penelitian Tugas Akhir ini pemodelan dan perhitungan dilakukan dengan kondisi pembebanan DWT dengan muatan penuh. Perhitungan berat muatan kapal

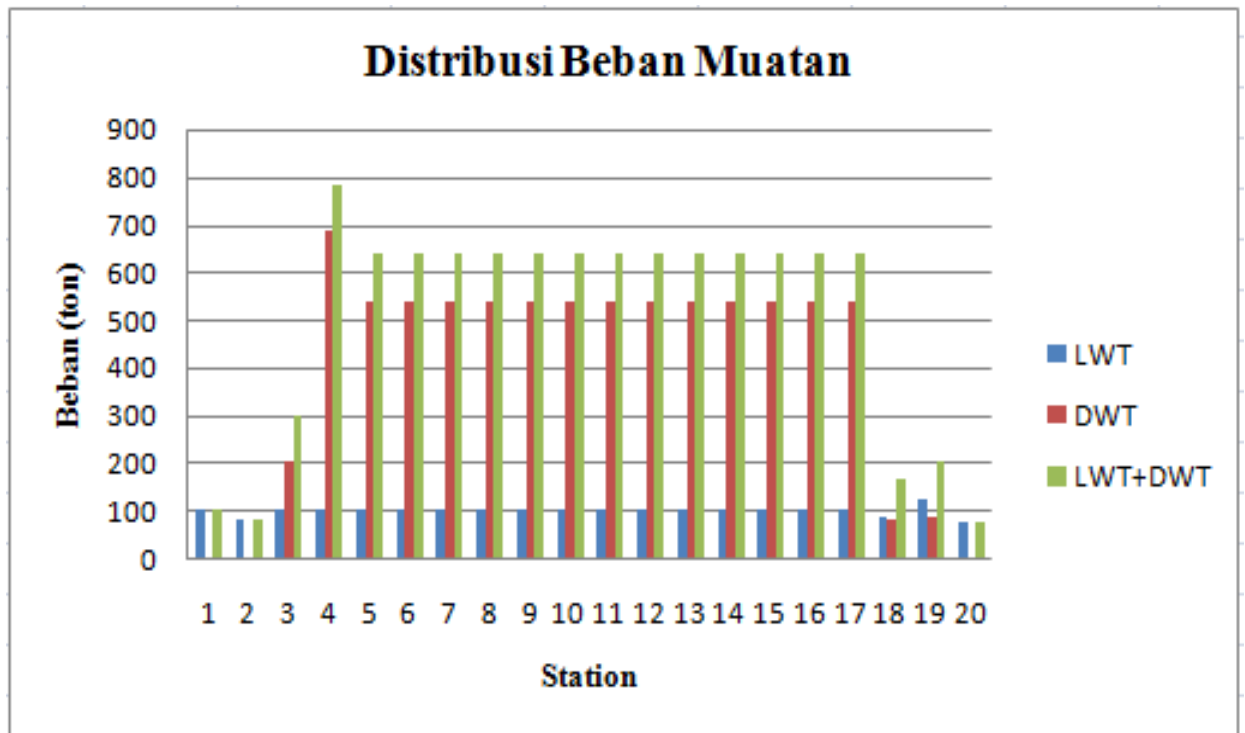
dilakukan untuk mengetahui gaya-gaya tekan ke bawah yang berkontribusi terhadap kekuatan memanjang kapal. Untuk itu perlu diketahui muatan apa saja yang akan dioperasikan oleh SPCB Odissei selama operasinya. Berikut adalah data mengenai komponen berat SPCB dan grafik distribusi bebannya.

Tabel 4.3 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
Total		8003,278

Tabel 4.4 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	5,881
Total		1696,90

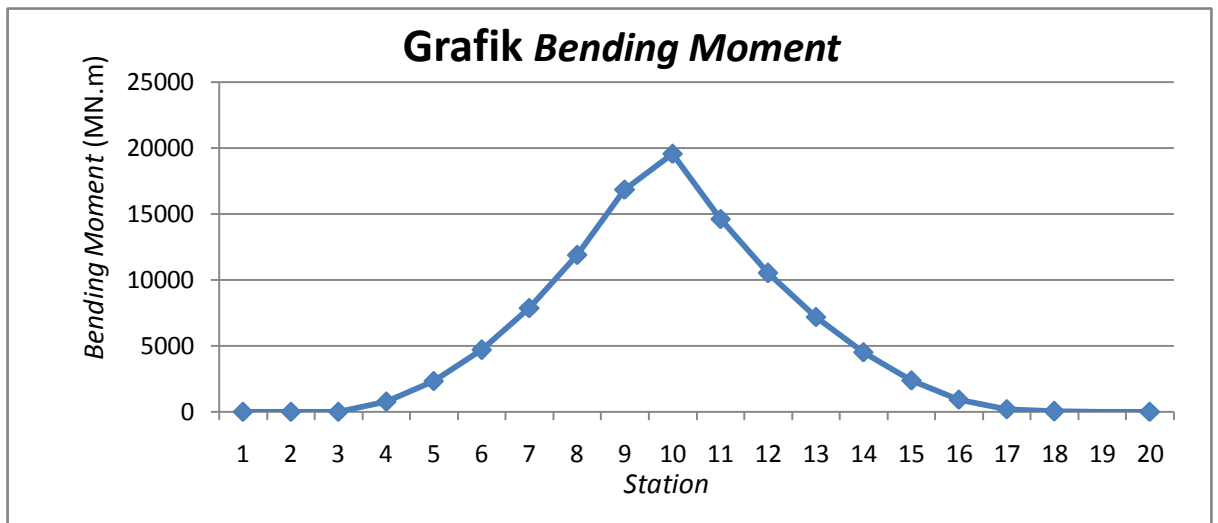


Gambar 4.5 Grafik Distribusi Pemuatan dan Beban Kondisi *Full Load*

4.4 Analisis Momen Lengkung (*Bending Moment*) dengan Variasi Tinggi dan Periode Gelombang

4.4.1 Analisis Momen Lengkung dengan Variasi Tinggi dan Periode Gelombang

Analisis momen lengkung (*bending moment*) dilakukan untuk mengetahui besarnya gaya yang diterima oleh lambung memanjang kapal. Pembebanan dilakukan pada gelombang reguler dengan kondisi-kondisi batas pemodelan yang telah dilakukan. Dari satu kali analisis dengan tinggi gelombang 0,5 m dan periode gelombang 3,5 sekon, didapatkan hasil *bending moment* sebagai berikut :



Gambar 4.6 Grafik *Bending Moment* SPCB Oddissei

Dari grafik diatas dapat dilihat bending moment terbesar bekerja pada station 10. Maka pada Tugas Akhir kali ini Perhitungan difokuskan pada station 10 yang merupakan station dengan beban momen lengkung terbesar dan dengan asumsi apabila station 10 mengalami *failure* maka seluruh SPCB juga akan mengalami *failure*. Analisis dilakukan sebanyak 110 kali tepatnya yaitu 55 kali pada kondisi hogging dan 55 kali pada kondisi sagging dengan variasi tinggi dan periode gelombang untuk mendapatkan data *bending moment*. Data gelombang yang digunakan berdasarkan data sebaran gelombang untuk aktivitas maritim tidak terbatas dari ABS dengan tinggi gelombang hanya sampai 4,5 m untuk menggambarkan kondisi perairan Natuna. Variasi tinggi gelombang yang digunakan sebesar 0,5–4,5 m dan variasi periode gelombang 3,5–13,5 sekon. Data *bending moment* ini kemudian akan dibuat menjadi suatu kurva fungsi kerapatan peluang (*probability density function*). Setelah didapatkan database dari *bending moment* maka akan dibuat kurva kerapatan peluang (*probability density function*).

Setelah dilakukan *running*/analisis didapatkan distribusi frekuensi momen lengkung yang terjadi pada station 10 SPCB sebagai berikut :

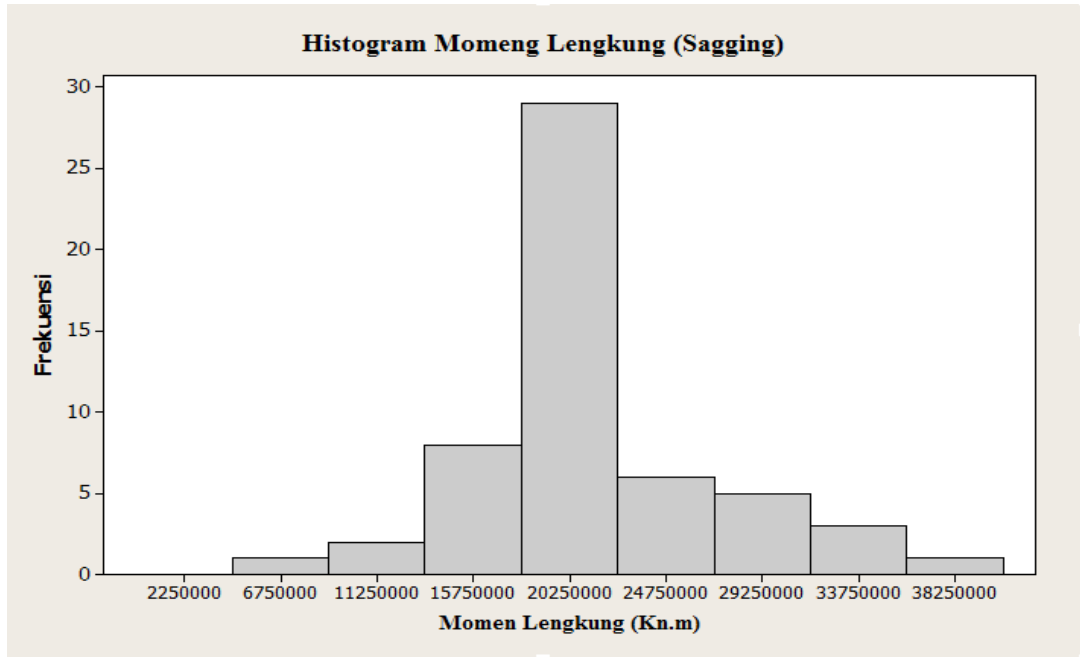
Tabel 4.7 Distribusi frekuensi *bending moment* di station 10 pada kondisi *sagging*

<i>Bending Moment</i> (kN.m)	Jumlah (f)
0-4499999	0
4500000-8999999	1
9000000-13499999	2
13500000-17999999	8
18000000-22499999	29
22500000-26999999	6
27000000-31499999	5
31000000-35499999	3
35000000-39499999	1
TOTAL (N)	55

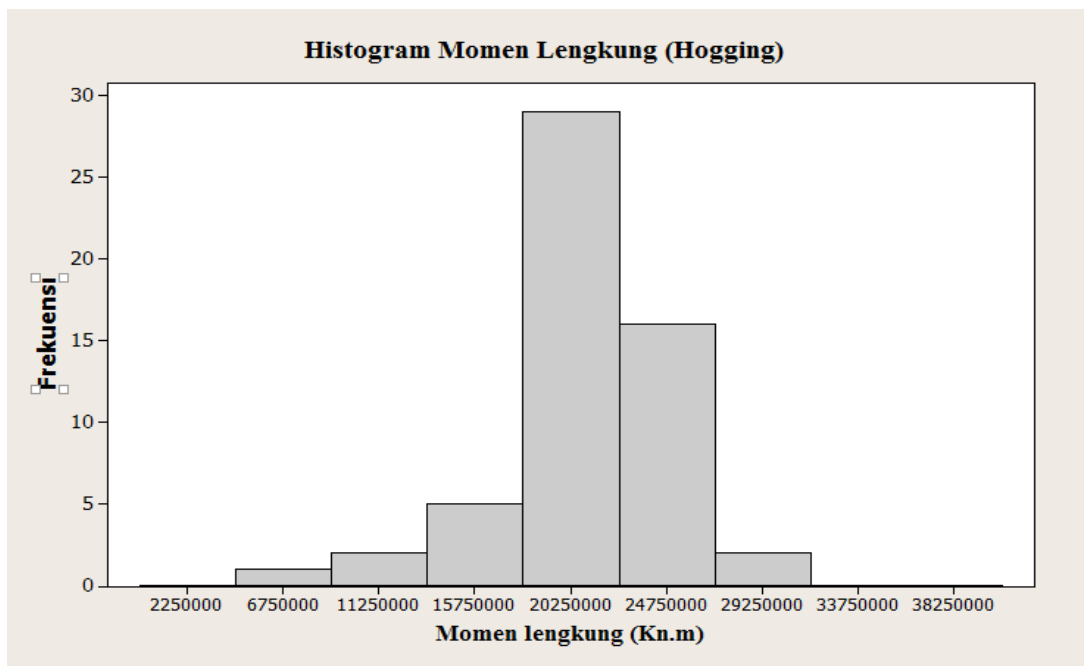
Tabel 4.8 Distribusi frekuensi *bending moment* di station 10 pada kondisi *hogging*

<i>Bending Moment</i> (kN.m)	Jumlah (f)
0-4499999	0
4500000-8999999	1
9000000-13499999	2
13500000-17999999	5
18000000-22499999	29
22500000-26999999	16
27000000-31499999	2
31000000-35499999	0
35000000-39499999	0
TOTAL (N)	55

Dari data distribusi frekuensi di atas maka dapat diperoleh histogram *bending moment* :



Gambar 4.7 Histogram Momen Lengkung Kondisi *Sagging*



Gambar 4.8 Histogram Momen Lengkung Kondisi *Hogging*

Dari histogram diatas dapat diketahui bahwa momen lengkung paling banyak terjadi pada rentang 18000000-22499999 kN.m atau pada midpoint 20250000 kN.m baik pada kondisi *hogging* maupun *sagging*.

4.4.2. Uji Distribusi (*Goodness of Fit*) Data *Bending Moment*

Dari data histogram bending moment di atas, maka dilakukan uji distribusi untuk mengetahui tipe distribusi apa yang paling sesuai dengan data yang ada. Didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.9 Uji Distribusi (*Goodness of Fit*) Data *Bending Moment*

Pengujian Distribusi			
Tipe Distribusi	AD	P-value	Rangking
Normal	0,137	0,961	1
Weibull	0,165	>0,500	2
Smallest Extreme Value	0,198	>0,250	3
Largest Extreme Value	0,198	>0,250	4
Logistic	0,170	>0,250	5
Lognormal	0,497	-	6
Eksponensial	0,592	0,177	7

Dari hasil pengujian distribusi di atas tampak bahwa distribusi yang paling sesuai untuk data bending moment adalah distribusi normal dengan parameter :

- Parameter Anderson-Darling (AD) = 0,137
- Parameter P-Value = 0,961

4.4.3. *Probability Density Function* (PDF) dari *Bending Moment*

Berdasarkan uji distribusi yang telah dilakukan, maka diketahui bahwa data *bending moment* termasuk jenis distribusi normal. Maka fungsi *probability density function* dapat ditentukan berdasarkan fungsi di bawah ini yaitu :

$$Fn(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Dengan :

Fn = fungsi *probability density function* (pdf)

μ = rata-rata (*mean*)

σ = standar deviasi

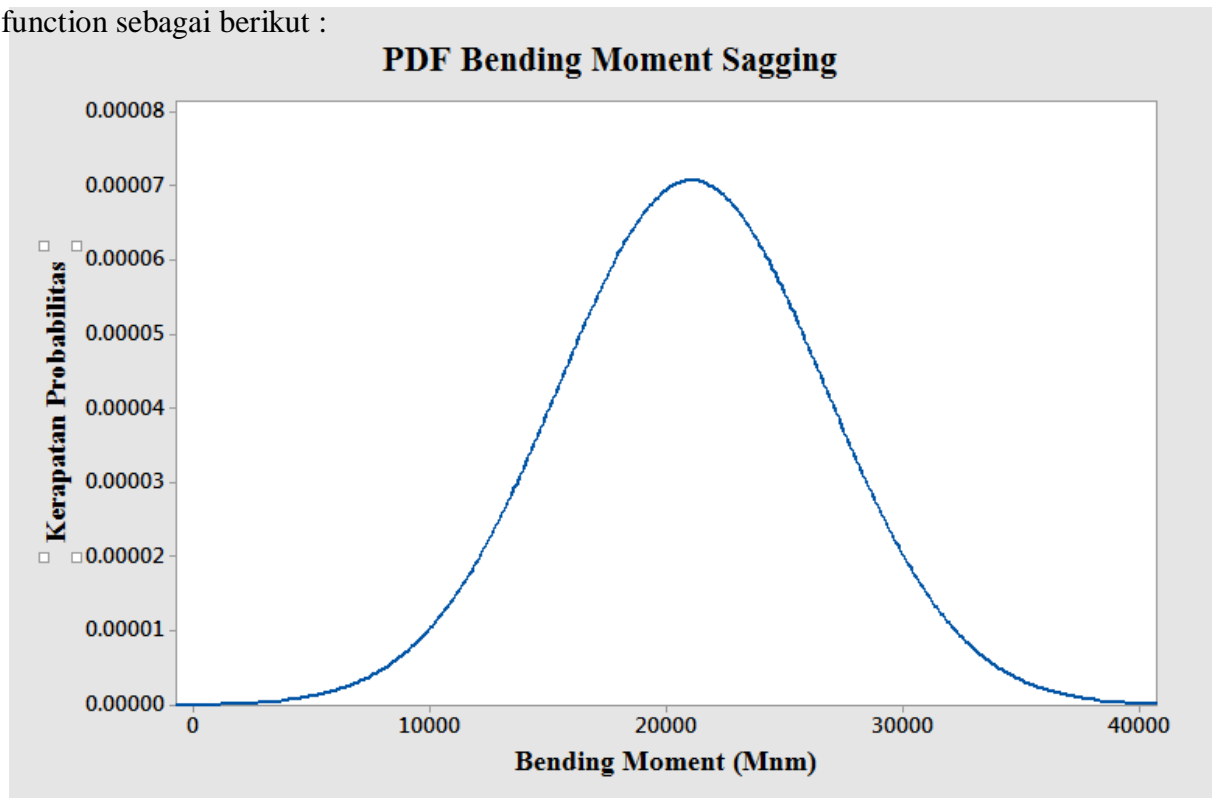
Dari fungsi di atas maka didapatkan kurva *probability density function* dari *bending moment* pada kondisi *hogging* dan *sagging*. Berikut adalah data *mean* dan standar deviasi pada kondisi *hogging* dan *sagging*.

Tabel 4.10 Data Nilai *Mean* dan Standar Deviasi *Bending Moment*

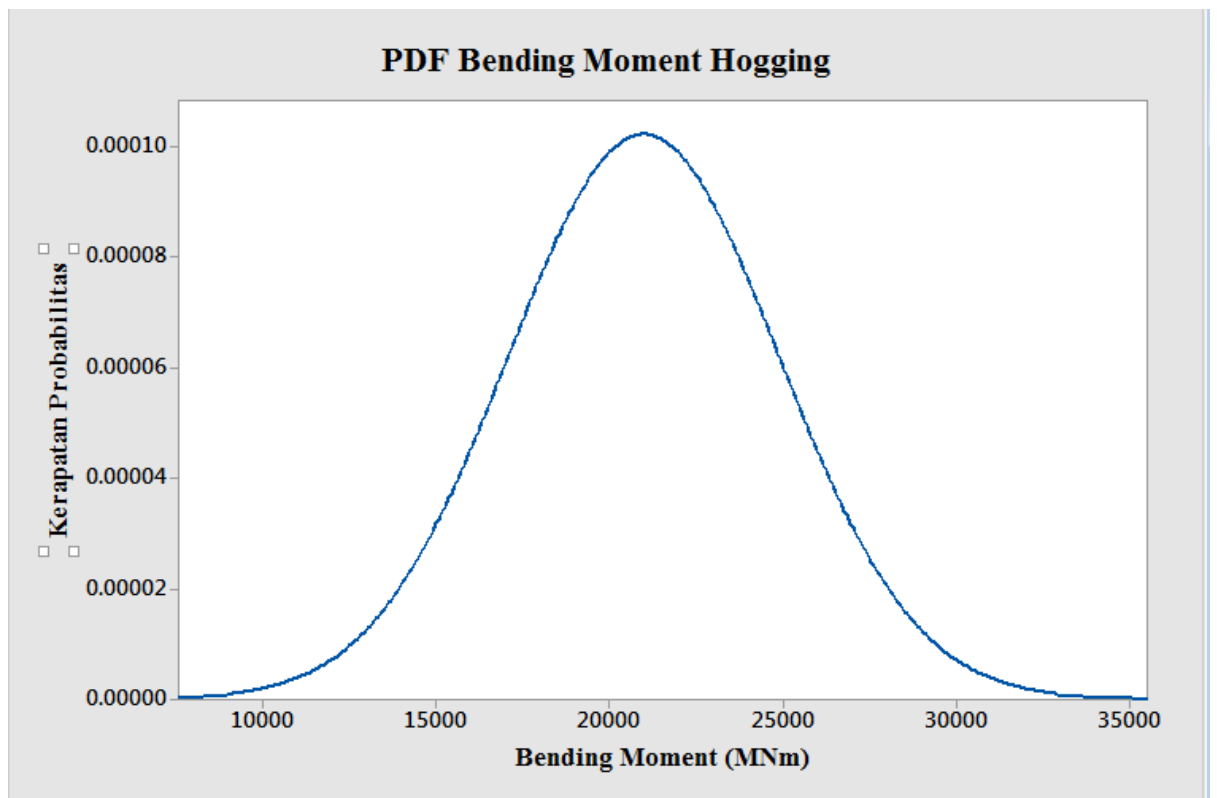
Variabel	Rata-rata (Mean)	Standard Deviasi	Jenis Distribusi
<i>Bending Moment</i> (<i>Sagging</i>)	21069,017 MN.m	5640,628 MN.m	Normal
<i>Bending Moment</i> (<i>Hogging</i>)	20984,63 MN.m	3903,234 MN.m	Normal

Berdasarkan data mean dan standar deviasi di atas, maka diperoleh kurva *probability density*

function sebagai berikut :



Gambar 4.9 PDF *bending moment* Kondisi *Sagging*



Gambar 4.10 PDF *Bending Moment* Kondisi *Hogging*

4.4.4. Ketidakpastian Besar *Bending Moment*

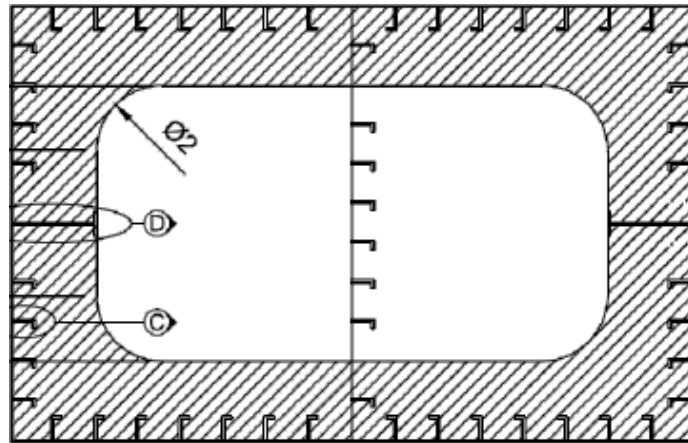
Setelah dilakukan analisis *bending moment*, telah didapatkan kurva *probability density function* dari *bending moment*. Kurva ini merepresentasikan kondisi sebenarnya di lapangan, bahwasannya besar *bending moment* yang terjadi setiap saat pada *Self-Propelled Coal Barge* pasti berbeda-beda. Meskipun besar tinggi gelombang dan panjang gelombang yang bekerja pada SPCB sama, tetap akan menghasilkan besar *bending moment* yang berbeda pula. Hal ini ini dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satunya adalah sebaran distribusi beban yang berubah seiring dengan moda operasi SPCB.

4.5 Perhitungan Modulus Penampang

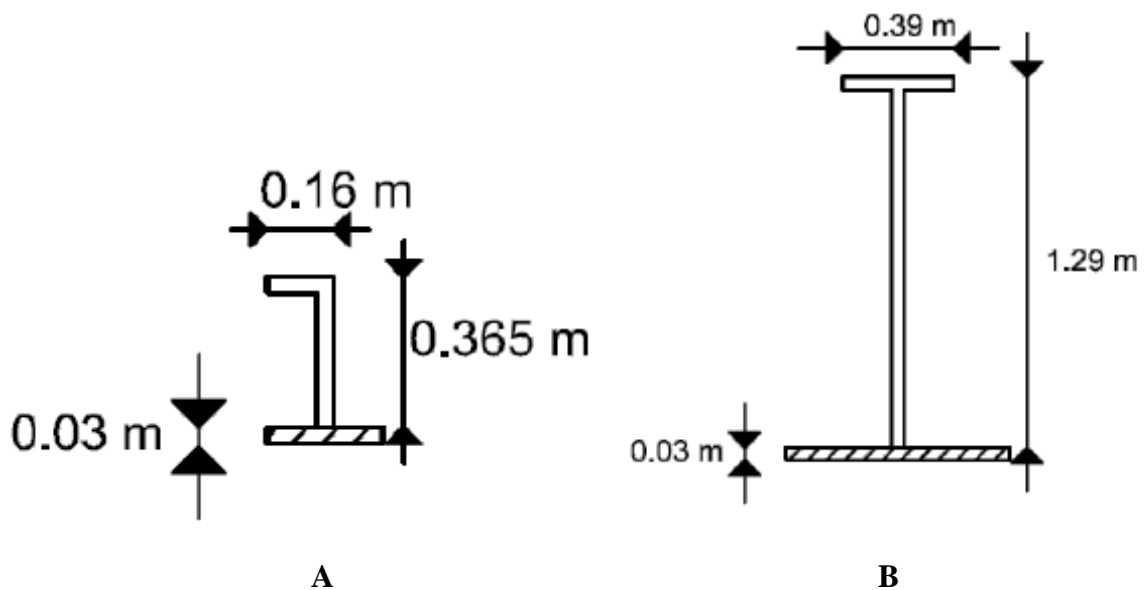
Sebelum melakukan analisis kekuatan struktur maka diperlukan perhitungan terhadap modulus penampang tiap station pada SPCB Odissei. Analisis dilakukan dengan perhitungan manual berdasarkan Rawson, K. J. Dan Tupper, E.C. (2001).

4.5.1. Data Struktur

Struktur yang akan dianalisa adalah struktur *Self-Propelled Coal Barge* (SPCB) pada station 10 dengan penampang sebagai berikut :



Gambar 4.11 Penampang Melintang Barge



Gambar 4.12 Detil gambar (A) *Stiffner* dan (B) *Beam* pada *Barge*

4.5.2. Menentukan *Assumption Neutral Axis* (ANA)

Penentuan asumsi neutral axis dihitung pada setengah tinggi struktur, dengan tinggi struktur sebesar 7 m maka ANA = 3,5 m.

4.5.3. Mengklasifikasikan Komponen-Komponen Penguat Kekuatan Memanjang

Komponen-komponen penguat kekuatan memanjang seperti girder, stiffener dan plat diklasifikasikan ke dalam 2 bagian : daerah di bawah ANA dan daerah di atas ANA.

- Daerah di bawah ANA : komponen penguat kekuatan memanjang yang terdapat di bawah assumed neutral axis, ke bawah hingga keel.
- Daerah di atas ANA : komponen penguat kekuatan memanjang yang terdapat di atas assumed neutral axis, ke atas hingga ke deck.

4.5.4. Menghitung Jarak Neutral Axis Sebenarnya (NA) dengan ANA

Jarak neutral axis sebenarnya dengan ANA dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Distance of true NA (d)} = \frac{\sum A_1 h_1 - \sum A_2 h_2}{\sum A_1 + \sum A_2}$$

Keterangan :

- A_1 = luas penampang komponen penguat kekuatan memanjang di bawah ANA
- h_1 = jarak komponen penguat kekuatan memanjang di bawah ANA terhadap ANA
- A_2 = luas penampang komponen penguat kekuatan memanjang di atas ANA
- h_2 = jarak komponen penguat kekuatan memanjang di atas ANA terhadap ANA

Dengan menghitung semua komponen pada struktur didapatkan jarak NA terhadap ANA, didapatkan $d = 0,2$ m. maka $y = 3,7$ m

4.5.4. Menghitung *Second Moment Area* (I)

Second moment area dihitung berdasarkan komponen-komponen yang berada di atas maupun di bawah ANA dengan persamaan :

$$I = \sum A_1 h_1^2 + \sum A_2 h_2^2 + \sum A_1 k_1^2 + \sum A_2 k_2^2 - (\sum A_1 + \sum A_2) d^2$$

Perhitungan dilakukan dengan tabulasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.6 dan detailnya ditunjukkan pada lampiran.

Tabel 4.11 Tabulasi Perhitungan Komponen Struktur

Item	A	H	Ah	Ah ²	n	k ²	Ak ²
	(m ²)	(m)	(m ² m)	(m ² m ²)	(m)	(m ²)	(m ² m ²)
Each item above ANA							
Total	129.9697		41.34	607.2153958			33.14
above ANA	$\Sigma A1$		$\Sigma A1h1$	$\Sigma A1h1^2$			$\Sigma A1k1^2$
Each item below ANA							
Total	119.69		6.28	16.18			119.73
below ANA	$\Sigma A2$		$\Sigma A2h2$	$\Sigma A2h2^2$			$\Sigma A2k2$

Keterangan :

- A = luas penampang komponen penguat kekuatan memanjang
- h = jarak komponen penguat kekuatan memanjang terhadap ANA
- n = panjang vertikal komponen penguat kekuatan memanjang
- k = radius girasi dari tiap-tiap komponen penguat kekuatan memanjang

Berdasarkan perhitungan tabulasi pada Tabel 4.16 didapatkan *second moment of area* (I) dengan memasukkan hasil perhitungan tabulasi ke dalam persamaan 4.2, didapatkan harga I = 198.41 m⁴.

4.5.4. Menghitung Modulus Penampang Beserta Jenis Distribusinya

Jarak *neutral axis* terhadap titik terluar dengan d = 0,02 m adalah (y) = 3,7 m. Perhitungan modulus penampang (w) dilakukan dengan persamaan 4.3 berikut.

$$\text{Modulus Section } (w) = \frac{I}{y}$$

Dengan I = 771,36 m⁴ dan y = 3,7 m didapatkan modulus penampang, w sebesar 208,47 m³. Dalam perhitungan keandalan berdasarkan Hess (2002) modulus penampang akan dihitung menggunakan tipe distribusi normal dengan mean sebesar 208,47 m³ dan standar deviasi sebesar 10,42 m³.

4.6 Penentuan Tegangan Perencanaan Berdasarkan Code dan Jenis Distribusinya

Besar tegangan perencanaan yang digunakan dalam Tugas Akhir ini menggunakan code DNV OS-C201. Untuk mengetahui apakah struktur dianggap aman atau tidak, maka besar tegangan yang terjadi tidak boleh melebihi nilai tegangan perencanaan. DNV (2011) menyatakan nilai basic usage factor untuk pembebanan dengan kombinasi beban lingkungan dan beban fungsional adalah 0.8. Dalam Tugas Akhir ini beban perencanaan menggunakan perkalian tegangan luluh material baja A36 dengan *basic usage factor* yakni sebesar 200 Mpa. Kemudian dalam perhitungan nantinya tegangan ijin akan dianggap memiliki distribusi normal dengan standard variasi 15,6 Mpa berdasarkan uji laboratorium yang didapatkan dari referensi Galambos dan Ravindra (1978), Mansour et al. (1984) dan AISICPS (1972).

4.7 Perhitungan Keandalan Struktur

4.7.1. Penentuan Moda Kegagalan dan Data Variabel Acak

Setelah diketahui bentuk distribusi dari momen lengkung, maka selanjutnya dilakukan perhitungan keandalan struktur kekuatan memanjang SPCB. Perhitungan diawali dengan menghitung besar tegangan (*stress*) berdasarkan persamaan berikut :

$$Stress (\sigma) = \frac{M}{w}$$

Keterangan :

- σ = Besar tegangan yang terjadi
- M = Besar momen lengkung
- w = Modulus penampang

Mula-mula, tentukan input dari masing-masing variabel acak yang dinyatakan dalam bentuk distribusi, yaitu variabel momen lengkung (M), modulus penampang (w), dan beban perencanaan (σ_p) setelah variabel diinputkan berupa parameter-parameter distribusi tertentu, maka simulasi dilakukan dengan memanggil random number. Kemudian random number ini di transformasikan ke

variabel M , w dan σ_p . hasil transformasi inilah yang akan digunakan sebagai input dalam perhitungan keandalan.

Setelah didapat hasil berupa stress/tegangan yang terjadi, maka selanjutnya dapat diketahui apakah SPCB tersebut mengalami kegagalan atau tidak. Untuk mengetahui apakah struktur SPCB mengalami kegagalan atau tidak digunakan moda kegagalan sebagai berikut :

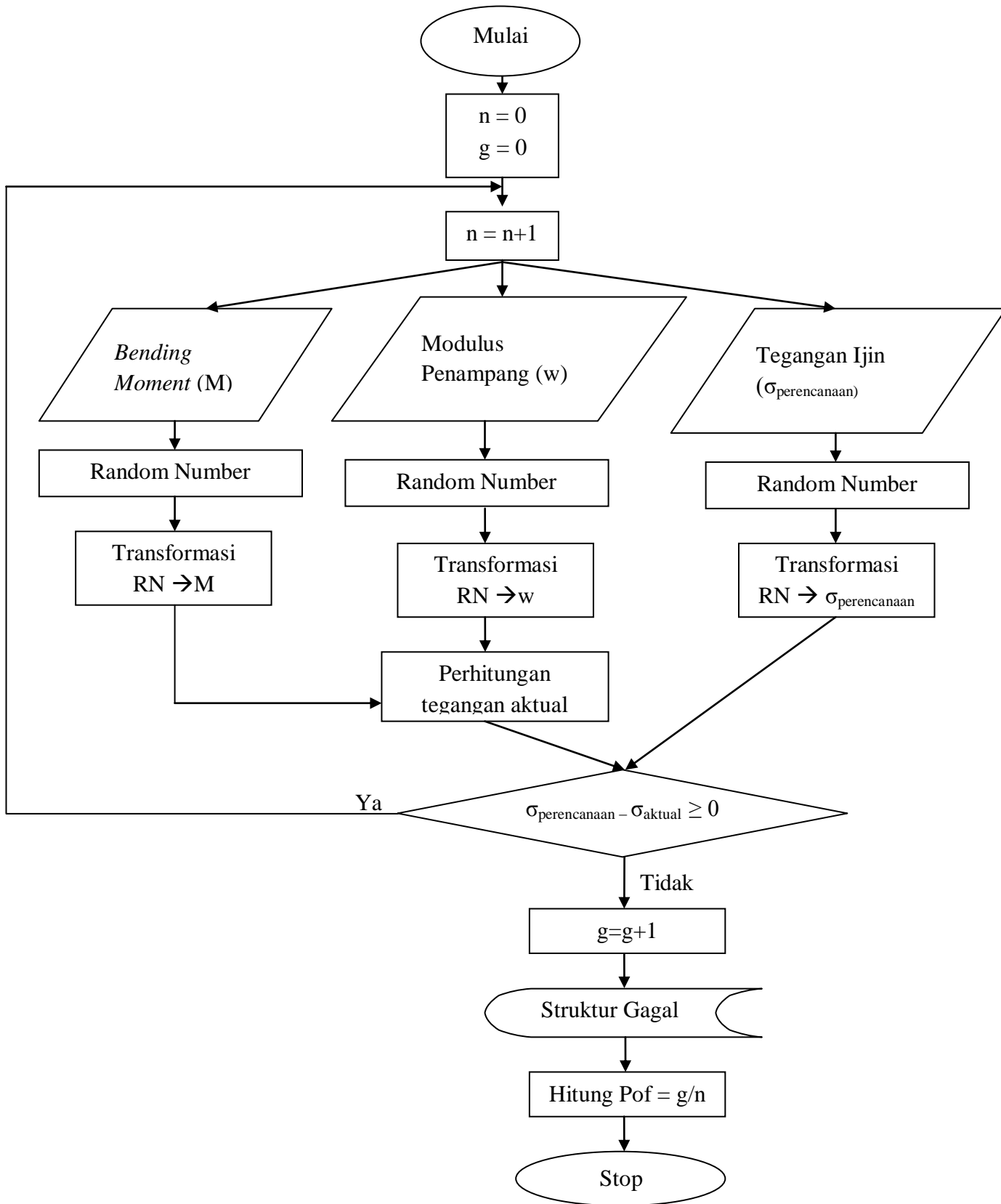
$$\sigma_{\text{perencanaan}} - \sigma_{\text{aktual}} \geq 0$$

Berikut adalah data *mechanical properties*, tegangan ijin dan beban yang menjadi distribusi acak dalam perhitungan keandalan :

Tabel 4.12 Data Beban, *Mechanical Properties* dan Tegangan Ijin

Variabel	Rata-rata (Mean)	Standard Deviasi	Jenis Distribusi
Bending Moment (<i>Hogging</i>)	21373,32 MN.m	3959,72 MN.m	Normal
Bending Moment (<i>Sagging</i>)	21459,18 MN.m	5707,44 MN.m	Normal
Modulus Penampang	208,47 m ⁴	10,42 m ⁴	Normal
Tegangan Ijin	200 Mpa	15,6 Mpa	Normal

4.7.2. Algoritma Perhitungan Keandalan



Gambar 4.13 Algoritma Perhitungan Keandalan SPCB

4.7.3. Listing Algoritma dengan Bahasa Pemrograman Scilab

Perhitungan keandalan sesuai dengan Algoritma di atas dituangkan dalam bahasa pemrograman Scilab agar memudahkan simulasi. Selain itu dengan Scilab akan memungkinkan bagi penelitian untuk melakukan running simulasi sebanyak yang diinginkan. Dalam Scilab, algoritma di atas dituliskan dalam fungsi sebagai berikut :

- Kondisi Hogging

```
n=n
sukses=0
gagal=0
for i=1:n
M=abs(grand(1,1,"nor",21373.32, 3959.72))
w=abs(grand(1,1,"nor",208.47,10.42))
S=M/w
SA=abs(grand(1,1,"nor",200,15.6))
A=SA-S
if A>0 then
    disp("sukses")
    sukses=sukses+1
else
    disp("gagal")
    gagal=gagal+1
end
end
printf("-----\n");
printf("Jumlah Sukses = %d\n",sukses);
printf("Jumlah Gagal = %d\n",n-sukses);
printf("-----\n");
```

- Kondisi Sagging

```

n=n
sukses=0
gagal=0
for i=1:n
M=abs(rand(1,1,"nor",21459.18, 5707.44))
w=abs(rand(1,1,"nor",208.47,10.42))
S=M/w
SA=abs(rand(1,1,"nor",200,15.6))
A=SA-S
if A>0 then
    disp("sukses")
    sukses=sukses+1
else
    disp("gagal")
    gagal=gagal+1
end
end
printf("-----\n");
printf("Jumlah Sukses = %d\n",sukses);
printf("Jumlah Gagal = %d\n",n-sukses);
printf("-----\n");

```

4.7.4. Validasi Software Scilab

Validasi software Scilab dilakukan untuk memastikan listing yang dibuat telah benar. Validasi dilakukan dengan melakukan 1 kali simulasi dengan software Scilab, kemudian dibandingkan dengan perhitungan manual. Dengan 1 kali simulasi sesuai dengan listing yang telah dibuat, maka akan terambil data Bending Moment (M), Modulus Penampang (w) dan Tegangan ijin ($\sigma_{\text{perencanaan}}$). Kemudian kriteria sukses atau gagal ditentukan dari hasil perhitungan. Dari hasil running software didapatkan nilai perhitungan sebagai berikut :

Tabel 4.14 Perhitungan dengan *Software Scilab*

Variabel	Nilai yang Terambil
Bending Moment	7208,7005 MNm
Modulus Penampang	197,74 m ⁴
Tegangan Ijin	203,08 Mpa
Tegangan Aktual	36,4 Mpa
Hasil : Sukses	

Data yang telah terambil oleh *software* di atas, digunakan untuk melakukan perhitungan secara manual.

- Perhitungan Stress :

$$\text{Stress } (\sigma) = \frac{M}{w}$$

$$\begin{aligned}\text{Stress } (\sigma) &= 7208,7005/197,74 \\ &= 36.453632\end{aligned}$$

- $\sigma_{\text{perencanaan}} - \sigma_{\text{aktual}} \geq 0$
 $203,08 - 36.453632 \geq 0$
 $166.63412 \geq 0$
- Dari perhitungan secara manual, didapat kesimpulan bahwa struktur mengalami sukses. Hal ini sama dengan kesimpulan yang diambil oleh *software Scilab*. Maka dapat diketahui bahwa *listing* pada *software Scilab* sudah benar.

4.7.5. Hasil Perhitungan Keandalan

Setelah dilakukan simulasi pada *Scilab*, akan diketahui keandalan system pada masing-masing tahap simulasi. Hasil simulasi dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.15 Hasil Running Keandalan Struktur pada Kondisi *Hogging*

Jumlah Simulasi	Pof	Keandalan Struktur	Relative Error
10	0	1	-
100	0	1	0
1.000	0	1	0
10.000	0	1	0

100.000	0,00011	0,99989	-0,00011
150.000	0,00008667	0,9999133	0,00002333
1000.000	0,000098	0,999902	-0,00001133

Tabel 4.16 Hasil Running Keandalan Struktur pada Kondisi *Sagging*

Jumlah Simulasi	Pof	Keandalan Struktur	<i>Relative Error</i>
10	0	1	-
100	0	1	0
1.000	0,001	0,999	-0,001
10.000	0,0013	0,9987	-0,0003
100.000	0,0017	0,9983	-0,000400
150.000	0,0014	0,99852	0,000227
1000.000	0,001595	0,9984	-0,000121

Berdasarkan analisis dan perhitungan keandalan yang telah dilakukan, didapatkan hasil sebagai berikut :

- Pada kondisi *sagging*, struktur memiliki keandalan sebesar 1 untuk 10 dan 100 kali simulasi. Keandalan terkecil sebesar 0,9983 terjadi pada saat 100000 kali simulasi.
- Pada kondisi *hogging*, struktur memiliki keandalan sebesar 1 untuk 10, 100, 10000 dan 10000 kali simulasi. Keandalan terkecil sebesar 0,999902 terjadi saat 1000000 kali simulasi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada BAB ini berisi kesimpulan dari analisis dan pembahasan yang telah dilakukan serta saran-saran yang diberikan untuk penelitian lebih lanjut. Bab ini juga untuk menjawab permasalahan yang telah dirumuskan pada BAB I.

5.1 Kesimpulan

Dari analisis yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan analisis respon gerak struktur (RAO) diketahui bahwa *heave* tertinggi adalah sebesar 0,979 (m/m) pada frekuensi 0,25 rad/s, *pitch* maksimum sebesar 2,514 (deg/m) pada frekuensi 0,65 rad/s.
2. Berdasarkan analisis *bending moment* yang dilakukan, didapatkan hasil sebagai berikut :
 - Pada kondisi *sagging*, distribusi *bending moment* pada *station* 10 mengikuti distribusi normal dengan *mean* sebesar 21069,017 MNm dan standar deviasi sebesar 5640,628 MNm.
 - Pada kondisi *hogging*, distribusi *bending moment* pada *station* 10 mengikuti distribusi normal dengan *mean* sebesar 20984,63 MNm dan standar deviasi sebesar 3903,234 MNm.
3. Berdasarkan analisis dan perhitungan keandalan yang telah dilakukan, didapatkan hasil sebagai berikut :
 - Pada kondisi *sagging*, struktur memiliki keandalan sebesar 1 untuk 10 dan 100 kali simulasi. Keandalan terkecil sebesar 0,9983 terjadi pada saat 100000 kali simulasi.
 - Pada kondisi *hogging*, struktur memiliki keandalan sebesar 1 untuk 10, 100, 10000 dan 10000 kali simulasi. Keandalan terkecil sebesar 0,999902 terjadi saat 1000000 kali simulasi.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian lebih lanjut yaitu :

1. Melakukan analisis *bending moment* pada gelombang acak untuk mendapatkan distribusi *bending moment* yang dapat mewakili kondisi sebenarnya dari struktur.

2. Melakukan analisis *bending moment* yang lebih akurat dengan memperhatikan pengaruh sekat pada tiap *station barge*.

DAFTAR PUSTAKA

- ABS. 2014. Rules for Building and Classing Steel Vessels Part 3 Section 1.
- API RP 2A. 2005. *Remommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platform-Working Stress Design*. American Petroleum Institute. Washington DC.
- Baker M.J dan Wyatt, T.A, 1979. “Methods of Reability Analysis for Jacket Platform”. *Journal of Behavior of Offshore Structures*. London.
- Battacharya, R. 1978. *Dynamics of Marine Vehicles*. New York : John Wiley and Sons, Inc.
- Campbell, S., Chancelier J.-P. & Nikoukah R., 2006. *Modeling an Simulation in Scilab/Scicos*. New York: Springer.
- Chakrabarti, S.K. 1987. *Hydrodynamics Of Offshore Structures*. USA : Computational Mechanics Publications Southampton.
- Guoliang, J., Chen Lin, dan Dong Jiamei. 1993. Monte Carlo Finite Element Method of Structure Reliability Analysis. *Reliability Engineering and System Safety*. 40 : 77 – 83.
- Haldar, A. & Mahadevan, S., 2000. *Reliability Assesment Using Stochastic Finite Element Analysis*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Hess, P. 2002. *Uncertaintites in Material Strength, Geometric, and Load Variables*. *Journal of Structures and Infrastructure Engineering*.
- Logan, D. L., 1992. *A First Course in the Finite Element Method*. 2nd ed.. Boston: PWS Publishing Company.
- Moan, T., 2005. *Reliability-based Management of Inspection Maintenance and Repair of Offshore Structures*. *Journal of Structures and Infrastructure Engineering*, Vol I, No 1, p. 33 – 62.
- Rawson, K. J. Dan Tupper, E. 2001. *Basic Ship Theory vol. 1*, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Rosyid, D. M., 2007. *Pengantar Rekaasa Keandalan*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Wisudawan, A., Hadiwidodo, Y. S. & Rosyid, D. M., 2013. *Development of Scilab-Based Structural Reliability Analysis Software Using Monte Carlo Simulated Finite Element Method*. 2013 International Conference on

Technology, Informatics, Management, Engineering & Environment (TIME-E 2013), pp. 165-170.

Wisudawan, Agro. 2014. *Comparative Study Of Structural Reliability Methods*. Thesis. FTK ITS Surabaya.

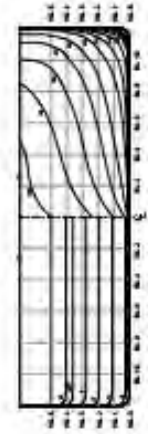
LAMPIRAN A

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

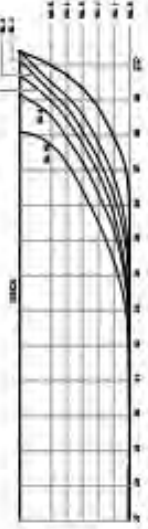
SHEER PLAN



BODY PLAN



SHEER PLAN



HALFBREADTH PLAN



PRINCIPAL DIMENSIONS

TOP	30.3175
LOW	30.3175
LOA	31.4475
B	2.4
T	3
W	3
CS	0.071
Date : 2017-06-06	

TABLE ORIGINATE OF HALF BREADTH (mm)

DEPTH (m)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

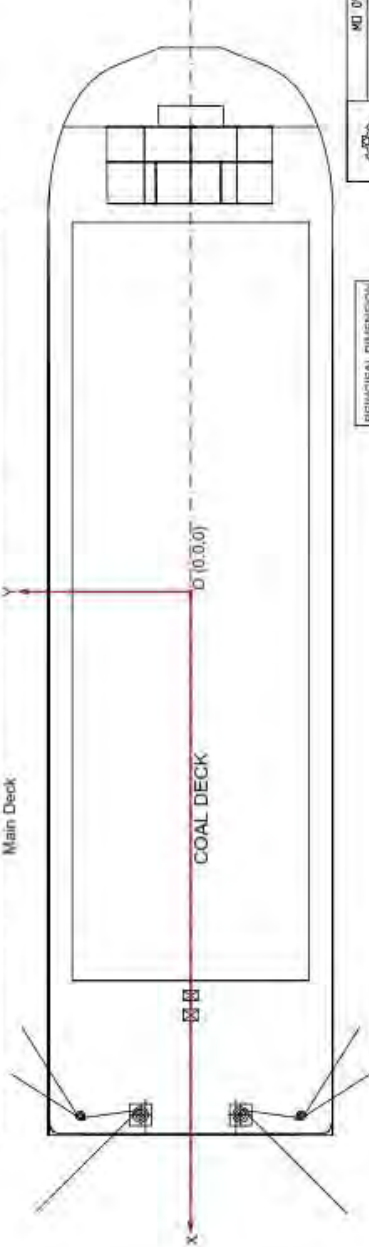
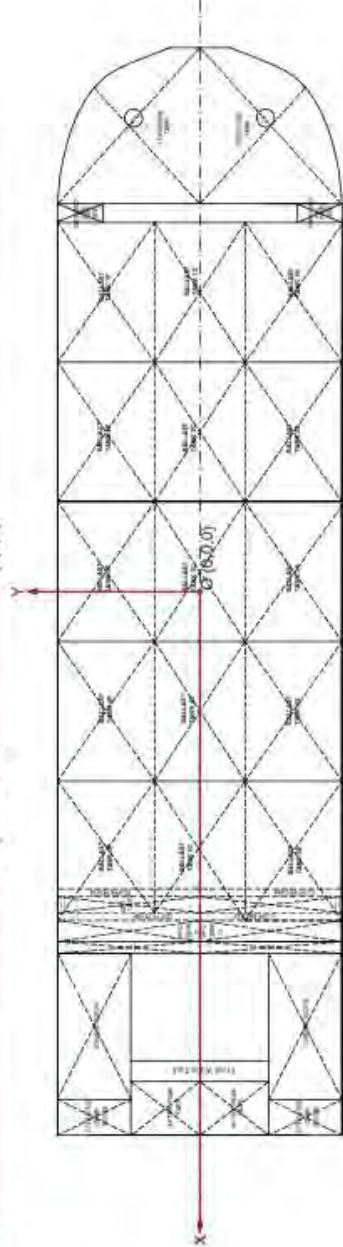
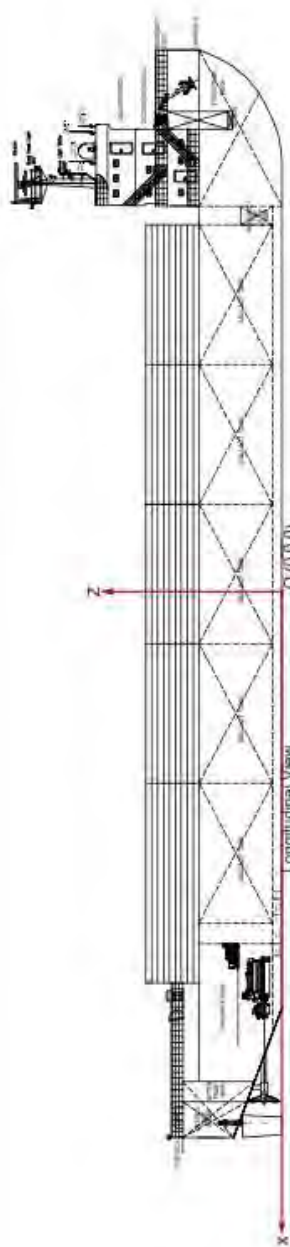
TABLE ORIGINATE OF HEIGHT ABOVE BASELINE (mm)

DEPTH (m)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0


 INSTITUTION NAME
 PROJECT NAME
 SHEET NO. / TOTAL SHEETS
 DATE

LAMPIRAN B

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



PRINCIPAL DIMENSION	
LPP	89.31 m
LVL	90.30 m
LOA	81.44 m
B	24.7 m
H	7 m
T	5 m
Vc	7.80 m
CS	6.071 m
TYPE	Self-Propelled Barge

MD 091336 - TUGAS AKHIR

INSTITUT TEKNIK SEPuluh MAREKAP
DEPARTMENT OF OFFSHORE ENGINEERING
REPULIK INDONESIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

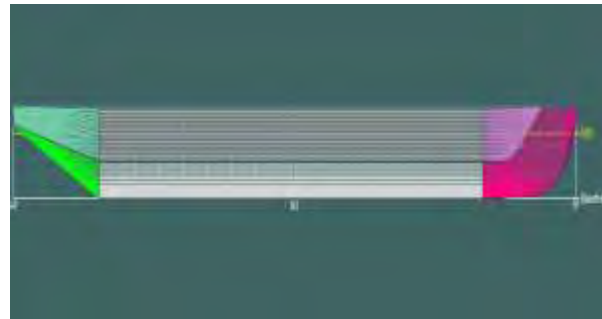
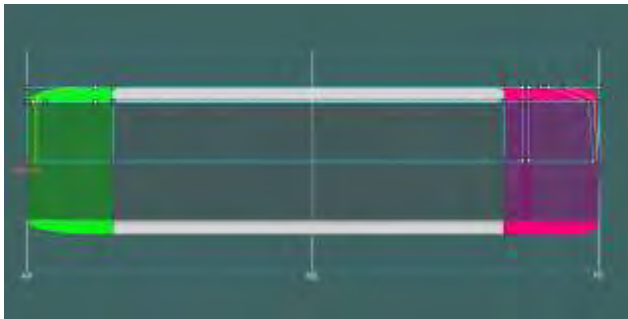
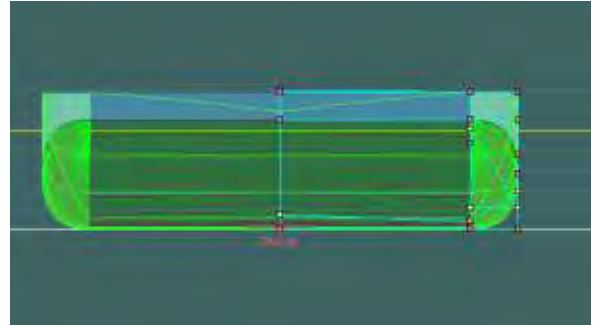
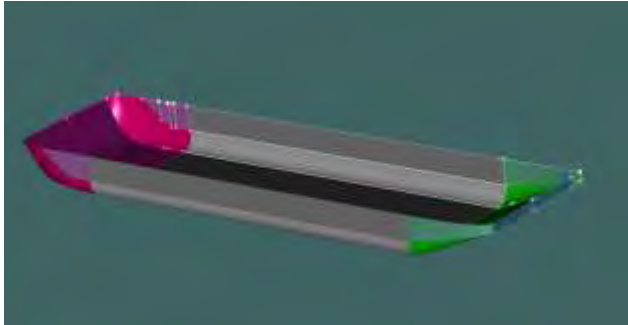
SELF PROPELLED COAL BARGE 8000 TWT
LINESPLAN SPB COAL - 0018SE142

Author	
Checker	
Reviewer	
Approved	
Date	

LAMPIRAN C

Pemodelan *Self Propelled Coal Barge* (SPCB) “Odyssey” menggunakan

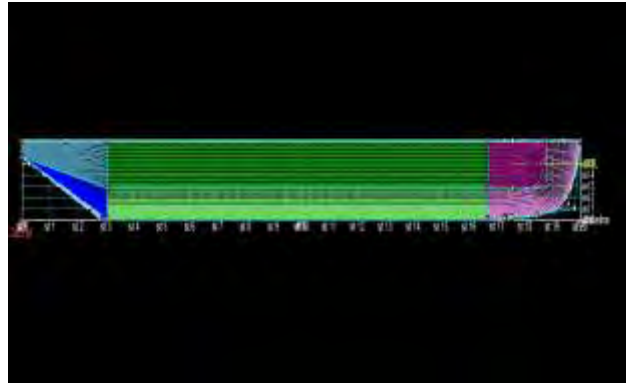
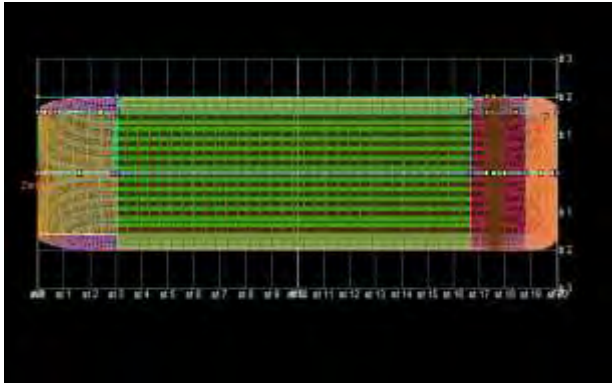
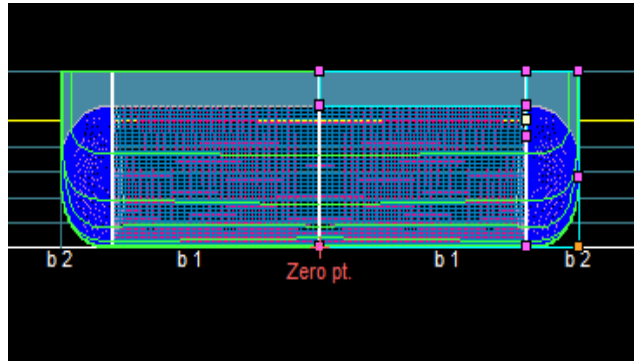
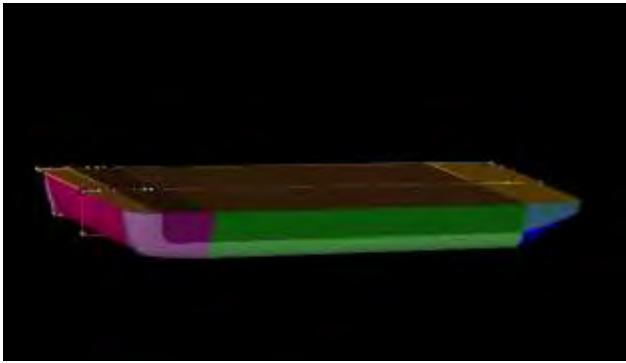
Maxsurf



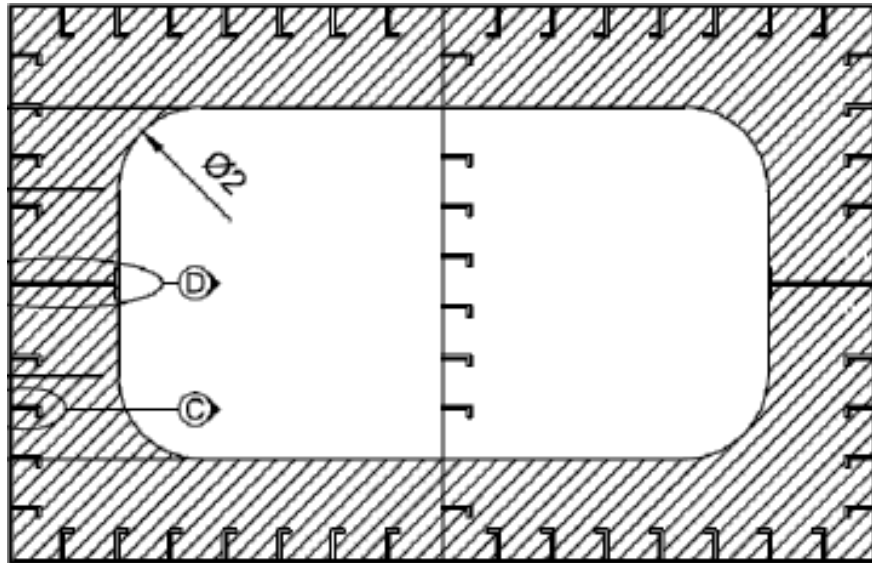
LAMPIRAN D

Pemodelan *Self Propelled Coal Barge* (SPCB) “Odisei” menggunakan

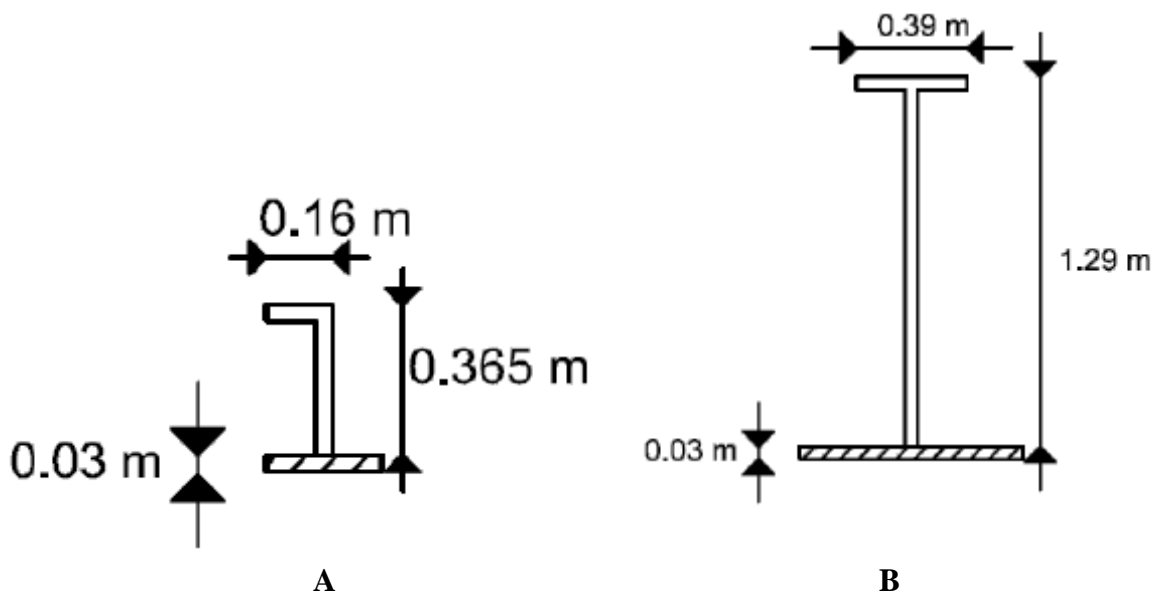
MOSES



LAMPIRAN E
MODEL SCANTLING

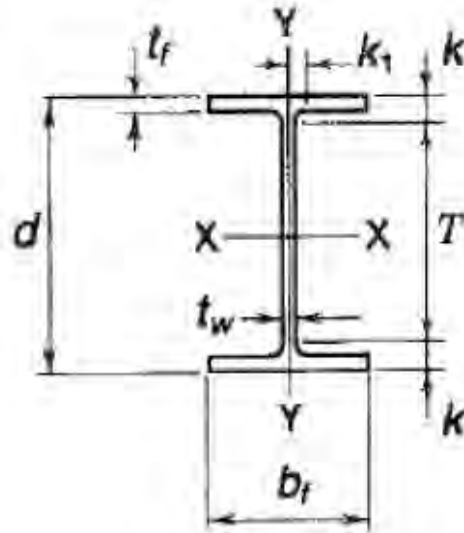


Penampang Melintang Barge



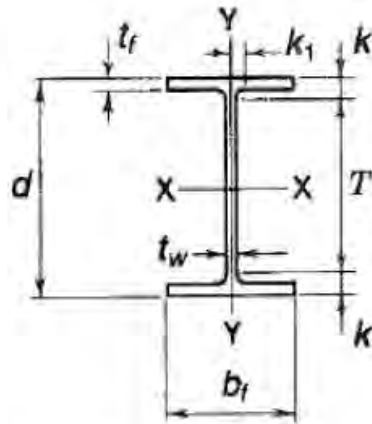
Detil gambar (A) Stiffner dan (B) Beam pada Barge

MAIN GIRDER



Designation	Area A	Depth d		Web			Flange		Distance				
				Thickness t_w		Width b_f	Thickness t_f	T	k	k_1			
				In.	$\frac{t_w}{2}$						In.	In.	In.
W 36 × 84 ⁸	249.0	42.45	42 $\frac{3}{8}$	2.520	2 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{4}$	18.130	18 $\frac{1}{8}$	4.530	4 $\frac{1}{2}$	31 $\frac{1}{8}$	5 $\frac{1}{4}$	2 $\frac{1}{4}$

SECONDARY GIRDER



Designation	Area A In. ²	Depth d In.	Web		Flange		Distance						
			Thickness t_w In.	$\frac{t_w}{2}$ In.	Width b_f In.	Thickness t_f In.	T In.	k In.	k_1 In.				
W 36 × 650*	190.0	40.47	40 1/2	1.970	2	1	17.575	17 5/8	3.540	3 3/8	31 1/8	4 1/8	2

LAMPIRAN F
LISTING FUNGSI SOFTWARE SCILAB

- Kondisi Hogging

```
n=n
sukses=0
gagal=0
for i=1:n
M=abs(rand(1,1,"nor",21373.32, 3959.72))
w=abs(rand(1,1,"nor",208.47,10.42))
S=M/w
SA=abs(rand(1,1,"nor",200,15.6))
A=SA-S
if A>0 then
    disp("sukses")
    sukses=sukses+1
else
    disp("gagal")
    gagal=gagal+1
end
end
printf("-----\n");
printf("Jumlah Sukses = %d\n",sukses);
printf("Jumlah Gagal = %d\n",n-sukses);
printf("-----\n");
```

- Kondisi Sagging

```
n=n
sukses=0
gagal=0
for i=1:n
M=abs(rand(1,1,"nor",21459.18, 5707.44))
w=abs(rand(1,1,"nor",208.47,10.42))
S=M/w
SA=abs(rand(1,1,"nor",200,15.6))
A=SA-S
if A>0 then
    disp("sukses")
    sukses=sukses+1
else
    disp("gagal")
    gagal=gagal+1
end
end
printf("-----\n");
printf("Jumlah Sukses = %d\n",sukses);
printf("Jumlah Gagal = %d\n",n-sukses);
printf("-----\n");
```


BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kota Pahlawan Surabaya pada tanggal 28 Januari 1993. Bernama lengkap Intifada Fikri Muhammad, penulis adalah anak pertama dari empat bersaudara. Pendidikan formal penulis dimulai saat TK pada tahun 1997-1999 di TK Yaa Bunayya. Selanjutnya penulis menempuh pendidikan sekolah dasar di SDI Lukman Al Hakim Surabaya pada tahun 1999-2005. Setelah menyelesaikan pendidikan SD penulis berhasil masuk di salah satu SMP terbaik di Surabaya yaitu SMPN 12 Surabaya dan menjalani pendidikan menengah pertama pada tahun 2005-2008. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan menengah atas di SMAN 9 Surabaya pada tahun 2008-2011. Karena penulis bercita-cita untuk memajukan bangsa Indonesia sebagai bangsa maritim, penulis melanjutkan studi pendidikan tinggi di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember melewati jalur SNMPTN tulis pada tahun 2011. Selama menjalani pendidikan di bangku kuliah penulis banyak mengikuti kegiatan pelatihan dan organisasi. Penulis pernah aktif sebagai Ketua Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan periode 2013-2014 dan menjadi Menteri Koordinator Luar Negeri BEM ITS periode 2014-2015. Selain itu penulis juga beberapa kali menjadi Koordinator Lapangan (korlap) aksi pergerakan dan demonstrasi mahasiswa. Penulis mengambil bidang Hidrodinamika di Jurusan Teknik Kelautan dengan mengerjakan Tugas Akhir berjudul “**Analisis Keandalan Struktur Memanjang *Self-Propelled Coal Barge* dengan Menggunakan Simulasi Monte Carlo**” yang dibimbing langsung oleh Bapak Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D dan Bapak Agro Wisudawan, S.T., M.T.