

20078/11/07



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

RSKe
665.544
Ibm
a-1

2007

TUGAS AKHIR - LL 1327

ANALISA TEGANGAN PIPA BAWAH LAUT PADA PROSES INSTALASI AKIBAT GERAKAN LAY BARGE DENGAN METODE S-LAY

IB MD ADDY PURNAMA S
NRP. 4302 100 036

Dosen Pembimbing
Ir. Joswan Jusuf Soedjono, MSc
Yoyok Setyo H., ST, MT

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2007

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	10-8-2007
Terima Oleh	H
No. Agenda Prp.	728 SDJ



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - LL 1327

**SUBSEA PIPELINE STRESS ANALYSIS AT INSTALLATION
PROCESS INDUCED BY LAY BARGE MOTION USING THE
S-LAY METHOD**

IB MD ADDY PURNAMA S

NRP. 4302 100 036

Supervisors

Ir. Joswan Jusuf Soedjono, MSc

Yoyok Setyo H., ST, MT

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2007

**ANALISA TEGANGAN PIPA BAWAH LAUT PADA
PROSES INSTALASI AKIBAT GERAKAN LAY BARGE
DENGAN METODE S-LAY**

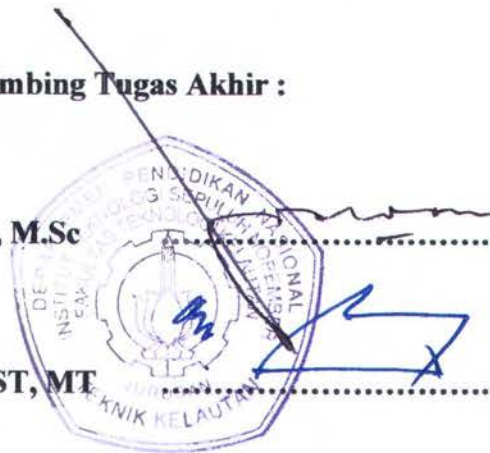
TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh :
IB MD Addy Purnama S
Nrp. 4302 100 036**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. **Ir. J. J. Soedjono, M.Sc** (Pembimbing I)
2. **Yoyok Setyo H., ST, MT** (Pembimbing II)



SURABAYA, JULI, 2007

ANALISA TEGANGAN PIPA BAWAH LAUT PADA PROSES INSTALASI AKIBAT GERAKAN LAY BARGE DENGAN METODE S-LAY

Nama Mahasiswa : IB MD Addy Purnama S
NRP : 4302 100 036
Jurusan : Teknik Kelautan FTK-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. J.J. Soedjono, M.Sc
Yoyok Setyo H, ST, MT

Abstrak

Respon struktur Lay Barge akibat eksitasi gelombang akan mempengaruhi tegangan pipa pada saat instalasi. Untuk mencegah terjadinya tegangan berlebih yang akan berakibat pada kegagalan, maka dibutuhkan tensioner sebagai pemberi *tension* terhadap pipa guna menjaga bentuk pipa (*catenary shape*). Pada penelitian ini, akan dibahas mengenai gerakan Lay Barge apa yang paling berpengaruh terhadap tegangan pipa pada metode *S-Lay*. Penelitian ini menggunakan software Orcaflex yang berbasis analisa *time domain* untuk pemodelan dinamisnya. Simulasi pada penelitian ini dilakukan selama 10 menit. Struktur Lay Barge yang digunakan adalah CASTORO II milik Saipem, dengan material pipa grade X-65 berdiameter 26 inchi, konfigurasi mooring 30^0 sebanyak 8 buah dan panjang stinger yang digunakan sepanjang 30 m dengan sudut datang $13,6^0$. Hasil penelitian ini didapatkan bahwa titik kritis terjadinya tegangan terbesar adalah 31.25 m dari ujung *stern barge* pada daerah *overbend* sebesar 136384 kN/m^2 . Dan gerakan tunggal yang memiliki kontribusi terbesar terhadap tegangan pipa adalah gerakan *pitch* sebesar 98.56 %, dengan distribusi statistik lognormal untuk variasi tegangan.

Kata kunci : *tegangan bending, time domain, lay barge, pitch, S-Lay*

SUBSEA PIPELINE STRESS ANALYSIS AT INSTALLATION PROCESS INDUCED BY LAY BARGE MOTION USING THE S-LAY METHOD

Name : IB MD Addy Purnama S
NRP : 4302 100 036
Department : Ocean Engineering ITS
Supervisors : Ir. J.J. Soedjono, M.Sc
Yoyok Setyo H, ST, MT

Abstract

The response of a Lay Barge structure induced by wave excitation will influence the stresses of pipe during the installation process. To prevent the over stress which is consequence to failure, therefore it needed a tensioner machine to give tension for maintaining a catenary shape. The aim of this research is to know the most influence of the motion on the Lay Barge which will produce the maximum bending stress on the pipe using the S-Lay method. This research performed by Orcaflex software based on time domain for the dynamic modelling. The simulation has been taken about 10 minutes. Lay Barge structure CASTORO II provided by Saipem, material grade X-65 and 26 inch OD for the pipe , mooring configuration at 30° for 8 lines and the length of stinger is about 30 m with depature angel $13,6^{\circ}$ has been used in this research. The result of this research are: the critical point is at 31.25 m from the end of stern barge at the overbend region with a value about 136384 kN/m^2 . And the single motion which gives the significant contribution is pitch about 98.56 %, with statistic distribution lognormal for its various stresses.

Key Words : *bending stress, time domain, lay barge, pitch, S-Lay*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa/Ida Sang Hyang Widhi Wasa yang telah memberikan karunia dan pencerahan-Nya karena atas perkenan Beliau-lah penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “ **ANALISA TEGANGAN PIPA BAWAH LAUT PADA PROSES INSTALASI AKIBAT GERAKAN LAY BARGE DENGAN METODE *S-LAY***” dengan sebaik-baiknya.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Adapun topik yang diambil penulis pada Tugas Akhir ini bertujuan untuk mengetahui besarnya tegangan bending dan gerakan tunggal apa yang paling signifikan berkontribusi terhadap tegangan bending yang terjadi pada pipa pada saat instalasi dengan menggunakan metode *S-Lay*.

Penulis menyadari bahwasanya karya Tugas Akhir ini jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu dengan keterbukaan dan kerendahan hati, penulis mengharapkan saran dan kritik untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini. Akhir kata penulis berharap karya ini dapat bermanfaat untuk perkembangan teknologi Industri kelautan khususnya, dan pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juli 2007

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari semua pihak yang dengan ketulusannya memberikan dukungan moril, bimbingan, nasehat, masukannya baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua penulis yang selalu memberi semangat dan doa serta dukungan finansialnya selama menempuh studi.
2. Ir. J.J Soedjono, M.Sc selaku Dosen pembimbing pertama dan Dosen Wali yang dengan penuh kesabaran memberikan bimbingan selama menempuh studi dan sumbangan saran, ide, dan dukungan moral sehubungan dengan penulisan Tugas Akhir ini dari awal hingga akhir.
3. Yoyok Setyo H, ST, MT selaku Dosen pembimbing kedua yang telah banyak memberikan arahan walaupun hanya satu semester, berhubung Beliau melanjutkan studinya ke Malaysia. Sukses selalu pak!
4. Ir. Imam Rochani, M.Sc selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan, serta Ir. Handayanu, M.Sc, PhD selaku sekretaris Jurusan Teknik Kelautan. Dan Seluruh staf pengajar Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS.
5. Para staf pengelola dan karyawan Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS
6. Kapala Lab Distruk : Bapak Nur Syahroni, ST, MT yang telah mengijinkan penulis untuk menggunakan segala fasilitasnya. Lab. Distruk crew : Mas Ivan'01, Mas Andy P.'01. atas ilmunya. Mas Deny '00, Bang Bayu'01, Januar'01, Firdaus'01 serta arek-arek '03: Prast, David, Narendro, Ferry, Deni, Ace atas kebersamaannya selama ini.
7. Seluruh teman-teman JTK angkatan 2002 (*Poseidoners*), khususnya F4 crew: Fauzan, Irdy, Novan, Oki , TERA MEDIA crew : Wildan, Rahmat, Iwan, Wawan, Ichsan, Erza, Fahmi, Yudis dan Girly crew : Doretha, Lilah, Dira serta

teman-teman yang tidak disebutkan namanya baik yang berstatus alumni maupun mahasiswa atas segala dukungan morilnya dan telah memberi "warna" dan inspirasi kepada penulis. Semoga jalinan persahabatan kita tidak hanya sampai disini.

8. Teman-teman kontrakan : Ngurah, Kadek, Astike, Agus, Wahyu, Fajar, Rai, Surya, Wira, Igor yang selalu bersama dalam melalui masa-masa sulit dan bahagia. Terimakasih telah memberi makna " arti hidup" yang sebenarnya.
9. Pihak-pihak lain yang tak disebutkan namanya, yang telah memberi kontribusi demi terselesaikannya Tugas Akhir ini.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMAKASIH	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Manfaat	2
1.5. Batasan Masalah	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Umum.....	5
2.2 Landasan Teori	7
2.2.1. Gerakan Bangunan Apung	7
2.2.2. Pendekatan Analisa Struktur	9
2.2.3. Konsep Pembebanan	12
2.2.4. Wave Drift Force	13
2.2.5. Beban Angin	13
2.2.6. Beban Arus	15
2.2.7. Persamaan Catenary	15

2.2.8.	Spektrum Gelombang	20
2.2.9.	Respon Amplitude Operators (RAO)	21
2.2.10.	Linier Respons Spectra	22
2.2.11.	Konfigurasi Mooring Line	23
2.2.12.	Fungsi Kerapatan Peluang	25
2.2.13.	Tes Hipotesa	26

BAB 3 METODOLOGI 29

3.1	Diagram Alir	29
3.2	Data Pemodelan	32
3.2.1.	Data Lay Barge	32
3.2.2.	Data Lingkungan	32
3.2.3.	Data Pipa	33
3.3.	Pemodelan	33
3.3.1.	Pemodelan Dengan Software MOSES	33
3.3.2	Verifikasi Pemodelan Software MOSES Dan Maxsurf	34
3.3.3.	Pemodelan Dengan Software Orcaflex	35

BAB 4 ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN 39

4.1	Analisa Gerakan Lay Barge	39
4.2	Analisa Pipeline Saat Instalasi	42
4.3	Analisa Time Series	43
4.4	Analisa Statistik.....	45

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 47

5.1.	Kesimpulan	47
5.2.	Saran	47

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Instalasi Dengan Metode S-Lay	5
Gambar 2.2. Firing Layout Lay Barge	6
Gambar 2.3. Tensioner Machine Lay Barge	7
Gambar 2.4. Enam Derajat Kebebasan Gerakan Struktur Terapung	7
Gambar 2.5. Tahapan Analisa Dinamis.....	11
Gambar 2.6. Tegangan Pada Daerah Overbend	16
Gambar 2.7. Catenary Shape Model	17
Gambar 2.8. Konfigurasi Mooring	23
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 3.2. Geometri Hull Lay Barge	33
Gambar 3.3. Model Surface Hull Lay Barge	34
Gambar 3.4. Model Lay Barge Lengkap Tampak Samping	35
Gambar 3.5. Model Lay Barge Lengkap Tampak Isometri	36
Gambar 3.6. Model Lay Barge 3D Solid Lengkap Tampak Isometri	36
Gambar 4.1. Grafik Fungsi Transfer Gerakan Surge	39
Gambar 4.2. Grafik Fungsi Transfer Gerakan Heave	40
Gambar 4.3. Grafik Fungsi Transfer Gerakan Pitch	40
Gambar 4.4. Grafik Max Bending Stress Arah 0^0 Gerakan Heave	42
Gambar 4.5. Titik Kritis Pada Daerah Overbend	43
Gambar 4.6. Grafik Time Series Gerakan Heave Arah 90^0	44
Gambar 4.7. Grafik Time Series Gerakan Heave, Surge, Pitch Arah 90^0	44
Gambar 4.8. Histogram Tegangan Bending Max Arah 90^0 Ger. Heave	46

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Data Struktur CASTORO II	32
Tabel 3.2. Data Lingkungan	32
Tabel 3.3. Data Pipa	33
Tabel 3.4. Perbandingan Moses Dengan Maxsurf	34
Tabel 3.5. Konfigurasi Mooring.....	37
Tabel 3.6. Konfigurasi Pipe Span.....	37
Tabel 4.1. Von Mises Ekuivalent Stress	43
Tabel 4.2. Kejadian Tegangan Bending Max Arah 180 ⁰ Gerakan Heave.....	45
Tabel 4.3. Test Hipotesa Arah 180 ⁰ Gerakan Heave.....	47
Tabel 4.4. Deskripsi Statistik Arah 180 ⁰	48
Tabel 4.5. Nilai Tegangan Bending.....	48



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran I Inputan Moses
- Lampiran II Grafik Hasil Orcaflex
- Lampiran III Konfigurasi Pipa Dan Mooring
- Lampiran IV Analisa Statistik

DAFTAR NOTASI

A	= luas area (m^2)
B	= (<i>breadth</i>) lebar kapal
C	= cepat rambat gelombang (m/dt)
C_s	= koefisien bentuk
d	= kedalaman perairan (m)
F	= gaya angin
g	= percepatan gravitasi (m/dt^2)
h	= kedalaman laut (m)
H	= (<i>Height</i>) tinggi kapal
H	= tinggi gelombang pada kedalaman tertentu (m)
H_s	= tinggi gelombang signifikan
ID	= (<i>inside diameter</i>) Diameter dalam pipa
L	= panjang gelombang pada kedalaman tertentu (m)
LOA	= (<i>length over all</i>) panjang keseluruhan kapal
OD	= (<i>outer diameter</i>) Diameter luar pipa
SF	= <i>safety factor</i>
S_R	= spektra respons
$S(\omega)$	= spektra gelombang
T	= <i>sarat air kapal</i>
T	= Periode gelombang (dt)
U_T	= kecepatan arus pasang surut (m/detik)
U_{OT}	= kecepatan arus pasang surut di permukaan (m/detik)
U_w	= kecepatan arus akibat angin (m/detik)
U_{OW}	= kecepatan arus akibat angin di permukaan (m/detik)
V	= kecepatan angin (m/sec)
ω	= frekuensi gelombang (rad/dt)
w	= densitas berat udara, (0.0023668 slugs/ft ³ untuk standart P dan T)
γ	= <i>peakedness parameter</i>
tb	= tegangan <i>bending</i>

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Menghadapi dunia industri perminyakan yang dinamis dan permintaan dunia akan kebutuhan ini yang terus meningkat dari tahun ke tahun, dimana di lain sisi cadangan sumber energi pun semakin menipis sehingga beralih ke lahan marginal untuk memenuhinya. Untuk itu dibutuhkan suatu inovasi baik dari segi desain struktur, prosedur, peralatan dan sebagainya agar tetap ekonomis tanpa mengurangi filosofi efektifitas dan efisiensi. Salah satu kegiatan yang penting dalam industri perminyakan adalah sistem transportasi, yang dalam hal ini adalah transportasi dari reservoir sampai pada tempat pemrosesan hidrokarbon, maupun penyaluran produk jadi dari satu tempat ke tempat lainnya. Menurut Soegiono (2004), dibandingkan dengan transportasi secara curah, pengangkutan dengan *pipeline* relatif aman. Oleh karena itu *pipeline* bisa dikatakan sebagai salah satu solusi yang tepat sebagai sarana transportasi hidrokarbon yang cukup handal untuk jangka panjangnya, dan untuk terjaminnya pasokan secara kontinyu maka dibutuhkan suatu kajian yang tepat terhadap pipeline salah satunya proses instalasi.

Instalasi merupakan salah satu kegiatan vital yang dilakukan setelah proses desain. Dewasa ini banyak jenis *Lay Vessel* yang digunakan pada proses instalasi, mulai dari *barge* dengan beberapa konfigurasi *mooring*, *semisub lay vessel* yang bisa mengakomodasi kondisi lingkungan laut yang lebih dalam sampai dengan generasi terbaru yaitu vessel menggunakan DP (*Dynamical Positioning*) yang pergerakannya dipantau langsung dengan satelit menggunakan teknologi GPS (*Global Positioning System*). Beberapa metode yang umum digunakan pada proses instalasi antara lain metode S-Lay, J-Lay, Reel Lay dan Tow-in. Menurut *offshore pipeline* (2005), S-Lay aman dilakukan pada kedalaman kurang dari 500 *feet* (*shallow water*), J-Lay antara 500-1000 *feet* (*intermediate water*) dan Reel Lay biasanya antara *intermediate* sampai *deep water* yaitu kedalaman yang mencapai lebih dari 1000 *feet*. Selain tergantung dari

kedalaman, yang perlu mendapat perhatian juga adalah kondisi lingkungan dimana pipa akan diinstalasi seperti : angin, arus, dan gelombang yang akan berpengaruh pada perilaku dinamis dari Lay Barge, dan ini akan berdampak terhadap kegagalan pipa. Mode kegagalan yang sangat signifikan pengaruhnya adalah *buckling* dan *collapse*.

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisa secara mendalam mengenai pengaruh gaya hidrodinamis dan pengaruh gerakan Lay Barge pada saat instalasi yang akan berdampak pada meningkatnya tegangan pada pipa. Analisa diperlukan pada tegangan pipa akibat bending dan tension sedangkan tegangan torsional tidak termasuk dianalisa. Untuk analisa perilaku gerak struktur digunakan MOSES, yang kemudian dilanjutkan dengan simulasi proses instalasi menggunakan software ORCAFLEX selama kurun waktu tertentu dengan tujuan mengetahui variasi nilai tegangan pipa dengan menggunakan metode S-Lay khususnya pada daerah *overbend* dan *sagbend*.

1.2. Perumusan Masalah

Adapun permasalahan dari tugas akhir ini adalah :

1. Berapakah besar tegangan *pipeline* akibat proses *laying* dan gerakan dari Lay-Barge ?
2. Arah gerakan manakah yang paling signifikan terhadap tegangan *pipeline* ?

1.3. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari perumusan masalah di atas adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui seberapa besar tegangan yang terjadi pada *pipeline* akibat pengaruh *laying* dan gerakan Lay-Barge
2. Untuk mengetahui arah gerakan yang paling signifikan terhadap tegangan *pipeline*.

1.4. Manfaat

Dari hasil tugas akhir ini diharapkan akan diketahui berapa besar tegangan yang terjadi pada *pipeline* karena pengaruh gerakan dari Lay-Barge serta aspek-aspek yang terkait di dalamnya. Dari hasil analisa tersebut akan bermanfaat sebagai bahan

kajian mengenai pengaruh gerakan terhadap tegangan pada pipeline yang nantinya dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam proses instalasi.

1.5. Batasan Masalah

Pembatasan masalah dilakukan untuk menghindari pembahasan yang melebar sehingga dilakukan asumsi sebagai berikut :

1. Metode instalasi yang digunakan adalah metode S-Lay.
2. Beban yang bekerja adalah beban gelombang, angin dan arus.
3. Orientasi gelombang dari arah *head sea, following seas* dan *beam sea*.
4. Analisa dilakukan hanya mengestimasi variasi tegangan pipa yang dipengaruhi oleh Lay Barge *motion* akibat adanya beban gelombang serta gerakan yang berpengaruh signifikan terhadap tegangan pipa.
5. Gerakan Lay-Barge yang ditinjau adalah heave, surge dan pitch serta arah kombinasi ketiganya.
6. Lay Barge yang digunakan adalah CASTORO II milik Saipem dengan *principal dimention*: $L = 135$ m, $B = 32.6$ m, $H = 9$ m, $T_{max} = 5.5$ m
7. Kontur dasar laut dianggap datar.
8. Analisa dinamis yang dipakai adalah analisa time domain.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

I. Pendahuluan

Pada bab pendahuluan akan dijelaskan mengenai latar belakang yang mendasari penulisan laporan ini, permasalahan yang diangkat adalah masalah yang akan dipecahkan oleh penulis, tujuan merupakan sasaran yang akan dicapai, manfaat dari penulisan, ruang lingkup penulisan berfungsi untuk mempermudah pengerjaan laporan, dan sistematika penulisan laporan.

II. Tinjauan Pustaka Dan Dasar Teori

Pada bab dasar teori akan dibahas mengenai dasar teori yang menunjang penyelesaian dari analisa mengenai tegangan dan juga berpedoman pada penelitian sebelumnya yang ada kaitan dengan penulisan laporan ini.

III. Metodologi Penelitian

Pada bab Metodologi akan dibahas tentang urutan langkah-langkah pengerjaan dalam rangka menyelesaikan laporan yang meliputi pencarian data pipa, pengerjaan dengan bantuan *software*, validasi dan sebagainya.

IV. Analisa Hasil Dan Pembahasan

Pada bab analisa hasil dan pembahasan berisi tentang hasil-hasil analisa yang telah dilakukan secara ringkas. Hasilnya disajikan di tabel dengan keterangan cara mendapatkannya. Untuk pembahasan akan dibahas secara umum hasil yang telah diperoleh.

V. Kesimpulan Dan Saran

Pada bab kesimpulan dan saran akan dibahas tentang kesimpulan dari analisa hasil dan pembahasan masalah yang ada dalam laporan. Banyaknya kesimpulan sesuai dengan banyaknya masalah yang ada. Saran berfungsi sebagai masukan supaya laporan ini lebih baik lagi kualitasnya dan saran yang diberikan dapat dijadikan judul penelitian selanjutnya.

Daftar Pustaka

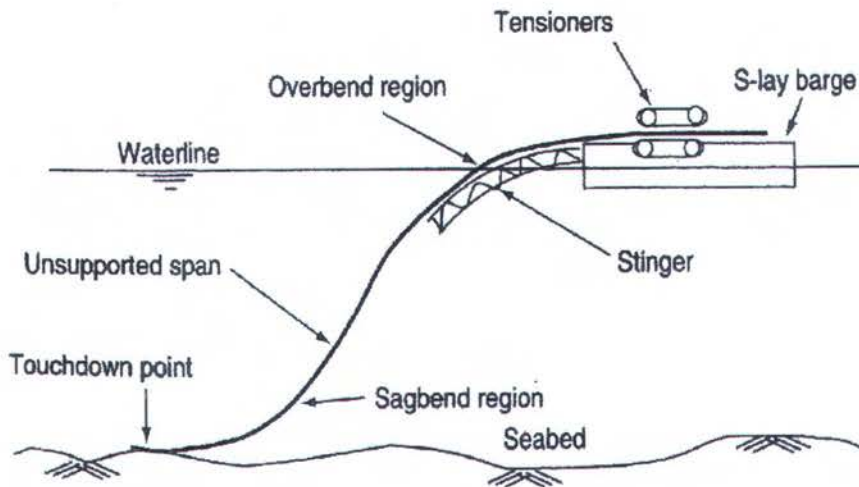
Pada daftar pustaka, adalah daftar literatur yang ada dalam laporan merupakan dasar teori dan tinjauan pustaka dalam proses penyelesaian permasalahan yang diangkat. Daftar pustaka yang ada berupa buku, jurnal, dan lain-lain.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Nama metode S-Lay diambil karena sesuai dengan bentuk konfigurasi pipa (*catenary shape*) yang berbentuk “S” pada saat proses instalasi dari *barge* ke dasar laut, lihat gambar 2.1. Pada teknik ini ada dua kegiatan utama yang harus dipertimbangkan yaitu pemilihan konfigurasi stinger dan pemberian tension pada pipa yang didasarkan oleh bertambahnya kedalaman air.



Gambar 2.1. Instalasi Dengan Metode S-Lay (Offshore Pipelines 2005)

Proses pipe laying

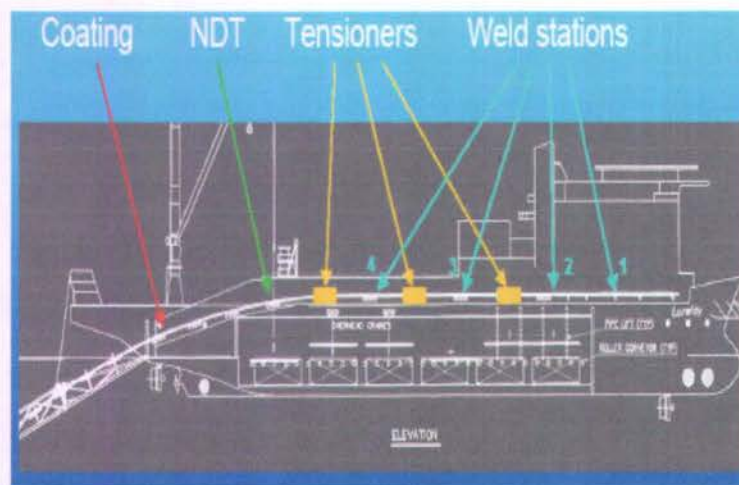
Menurut *Trevor Jee Associates* (2004), kondisi kritis dari metode ini yaitu pipa harus ditahan dengan tension untuk menahan bentuknya agar tidak terjadi *buckling* dan *collapse*. Disini terdapat dua aktivitas utama yang harus dipertimbangkan:

- Pemasangan pipa menjadi satu kesatuan, dikenal dengan ' *firing line*'.
- Mengontrol bentuk lengkungan pipa, dilakukan dengan *tensioners*

Untuk lebih jelasnya akan dipaparkan secara singkat mengenai proses instalasi *pipeline* yaitu sebagai berikut :

Tinjauan Pustaka

Pada Lay-Barge biasanya terdapat tempat untuk pengelasan pipa (welding station) mesin *tension*, NDT *station* untuk mengecek pengelasan dan *coating station*. Ketika pipa telah dilas menjadi beberapa sambungan kemudian dimasukkan ke laut, pada proses tersebut pipa akan terbantu masuk ke laut kerana gerakan *barge* akibat mekanisme jangkarnya. Beberapa *roller* ditempatkan diatas *stinger* dan *barge*. *Roller* ini membantu pipa ketika bergerak dari barge masuk ke laut. *Roller* yang ditempatkan pada *stinger* dan *barge*, bersama dengan mesin *tension* membentuk *curved support* untuk pipa. Pipeline akan melengkung pada *curved support* ketika akan masuk ke dalam laut dan pada bagian ini *pipeline* akan mengalami *bending* yang disebut "*overbend*". Jumlah mesin *tension*, posisinya dan kapasitas akan berbeda untuk masing-masing *barge*. *Tensioners* ini harus mempertahankan tegangan konstan untuk menahan terjadinya *bending* yang berlebih dan mengimbangi gerakan dinamis kapal di permukaan air laut. Mesin *tension* terakhir biasanya terdapat pada bagian buritan (stern) barge dekat dengan *stinger*. Fungsi mesin *tension* ini adalah mengatur *curvature* *sagbend* dan *moment* pada *stinger* tip ketika mensupport *pipeline* bergerak ke laut, lihat gambar 2.2



Gambar 2.2. Firing Layout Lay Barge (Trevor Jee Associates, 2004)

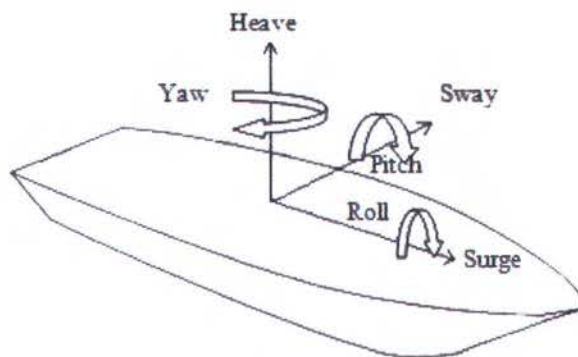


Gambar 2.3 Tensioner Machine Lay Barge (Trevor Jee Associates, 2004)

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Gerakan Bangunan Apung

Struktur terapung yang bergerak di atas permukaan laut akan mengalami gerakan osilasi. Gerakan osilasi ini terdiri dari 6 macam gerakan, yaitu 3 macam gerakan lateral dan 3 macam gerakan rotasional dalam 3 arah sumbu gerakan. Macam gerakan itu meliputi : *surging, heaving, yawing, pitching, rolling, sway.*



Gambar 2.4. Enam Derajat Kebebasan Gerakan Struktur Terapung

Pada kapal atau *barge* yang tertambat di laut dimana terpengaruh oleh gaya yang cenderung akan mengubah kapal tersebut dari posisi semula. Gerakan yang terjadi tergantung dari sistem *Mooring* dan gaya yang mengenai kapal, dimana gaya pada kapal disebabkan oleh perilaku *irregular* dari lautan dan perilaku tersebut dibedakan menjadi dua bagian yaitu, gaya osilasi orde pertama dengan frekuensi gelombang dan gaya osilasi orde kedua dimana gaya perlahan yang bervariasi dengan frekuensi lebih rendah dari frekuensi gelombang. Struktur terapung pada gelombang laut acak akan mengalami osilasi rendah pada arah dimana periode alami panjang dan terjadi pada saat gerakan *surge* atau *sway* (Cakrabarti, 1978).

Pada tugas akhir ini gerakan yang terkait dalam analisa yang dilakukan adalah gerakan *surge* dan *heave* dari lay-barge yang memberikan kontribusi signifikan terhadap tegangan yang terjadi pada pipa bagian *sagbend* sedangkan pada bagian *overbend* sangat dipengaruhi oleh gerakan *pitch* (W. V. Brewer dan A. Dixon, 1969)

- Respon Dinamis Struktur Terapung terhadap eksitasi beban gelombang.

Heave

Perhitungan gaya eksitasi untuk gerakan *heaving* struktur apung adalah :

$$a\ddot{z} + b\dot{z} + cz = F_{0z} \cos(\omega t) \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan frekuensi alami :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_z}{m + m_{az}}} \text{ (rad/det) } \quad \text{dengan } \omega_n = 2\pi/T_n \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana : $K_z = \rho \cdot g \cdot A_w \dots\dots\dots(2.3)$

Surge

Persamaan umum gerakan *surge* :

$$a\ddot{X} + b\dot{X} + cX = F_{0x} \cos \omega_e t \dots\dots\dots(2.4)$$

Pitching

Persamaan umum untuk gerakan *pitching* :

$$a\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = M_0 \cos \omega_e t \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan frekuensi alami :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_z}{m + m_{az}}} \text{ (rad/det)} \quad \text{dengan} \quad \omega_n = 2\pi/T_n \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana : $K_z = \rho \cdot g \cdot A_w$

2.2.2. Pendekatan Analisa Struktur

Tujuan dari rangkaian analisa dinamis penelitian ini pertama adalah untuk mendapatkan frekuensi natural struktur tanpa redaman dan kemudian mencari respon struktur terhadap pembebanan dinamis yang dalam hal ini menggunakan beban gelombang.

Metode analisis *time domain* untuk *floating body* pertama kali diperkenalkan oleh Cumming (1962), Van Oortmerssen (1976), dan Paulling (1977). Sejak integrasi numerik langsung persamaan motion dilakukan, pengaruh-pengaruh fungsi-fungsi nonlinier gelombang relevan dan variabel-variabel motion diikutkan. Keuntungan dari metode *time domain* dibanding metode *frequency domain* adalah semua tipe non-linier (matrik sistem dan beban-beban eksternal) dapat dimodelkan dengan lebih tepat. Kerugiannya adalah memerlukan waktu menghitung yang lebih banyak, seperti periode simulasi memerlukan waktu panjang . Simulasi *time domain* dapat dikerjakan menurut beberapa skema integrasi. Untuk dapat mewakili kondisi sebenarnya simulasi minimal dilakukan selama 3 jam.

Pada analisa domain waktu umumnya keseimbangan dinamik dari *multi degree of freedom* sistem dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$F^I(t) + F^D(t) + F^S(t) = Q(t, r, i) \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

F^I = vektor gaya inertia

F^D = vektor gaya damping

F^S = vektor gaya kekakuan

Q = vektor beban luar, harmonik atau fungsi stochastic dari waktu

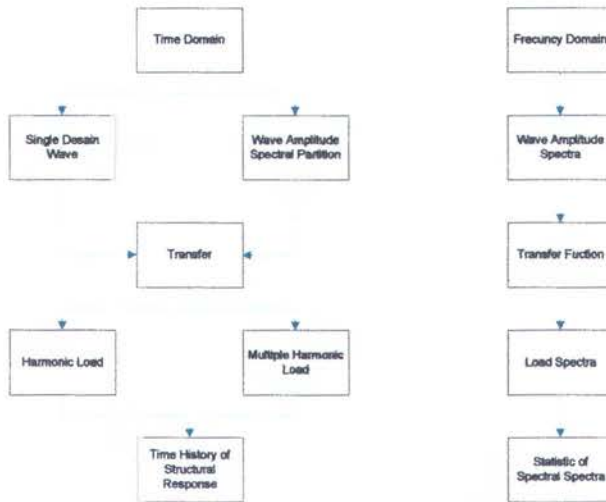
Tinjauan Pustaka

Ada banyak metode numerik yang telah dikembangkan untuk menyelesaikan persamaan gerak pada analisis *time domain* yaitu menggunakan teknik integrasi *direct step by step*. Metode Newmark-Wilson dan Runge-Kutta umumnya dipakai untuk menyelesaikan persamaan diferensial *second order*. Bila analisis digunakan untuk gelombang reguler tunggal, maka ketergantungan frekuensi dari added mass dan koefisien damping untuk periode gelombang tertentu dapat secara langsung digunakan. Ketika analisis dilakukan pada *random sea* maka pertimbangan seharusnya diberikan ketergantungan frekuensi terhadap massa tambah dan koefisien dampingnya.

Dengan menyelesaikan persamaan tersebut menggunakan prosedur integrasi waktu, satu didapat solusi pada pola *responses time history* $r(t)$. Pada umumnya semua matrik sistem (massa, damping, dan kekakuan) dapat difungsikan sebagai response atau waktu, seperti pada kasus vektor beban (analisis non linier). Matrik sistem konstan memberikan analisis linier. Output dari analisis *time domain* adalah respons *time series* dimana :

- a. Simulasi gelombang reguler dapat digunakan untuk memprediksikan transfer function dengan mengambil rasio respons amplitudo dengan input amplitudo gelombang.
- b. Spektrum respons dapat dihitung dari time series, memberikan informasi yang sama dengan analisis frekuensi domain.
- c. Respon ekstrim dapat diestimasi secara langsung dari puncak respons selama simulasi.

Menurut Fylling and Larsen (1989 dengan analisa *time domain* atau analisa *frequency domain*. Secara sederhana kedua metode itu dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.5. Tahapan Analisa Dinamis

Metode *time domain* solution secara umum digunakan untuk tahap final detail desain dan untuk mengecek solution *frequency domain*. Metode *time domain* biasanya digunakan untuk analisis kondisi ekstrim tetapi tidak digunakan untuk analisis fatigue atau analisis kondisi lebih moderat dimana analisis linierisasi bekerja lebih efisien.

Metode *frequency domain* adalah linier. Analisis domain frekuensi juga dibatasi dalam hal tipe history beban yang dipertimbangkan, seperti hanya dapat memberikan solusi khusus untuk dasar persamaan diferensial. Disini transient respons tidak dapat dideskripsikan. Untuk sistim non-linier, beberapa tipe linierisasi harus dilakukan. Beban-beban non-linier bagaimanapun dapat dihitung dengan menggunakan teknik linierisasi. Pada analisa domain frekuensi, keseimbangan dinamik dari sistem linier dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$M(\omega)\ddot{r} + C(\omega)\dot{r} + K(\omega)r = Xe^{i\omega t} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

$M(\omega)$: matrik massa

$C(\omega)$: matrik damping

$K(\omega)$: matrik kekakuan

X : vektor beban kompleks memberikan informasi pada amplitudo beban dan fase pada semua derajat kebebasan. Pola $e^{i\omega t}$ menetapkan variasi harmonik dari contoh beban dengan frekuensi ω

R : vektor displacement

solusi dari persamaan tersebut dapat diperoleh sebagai berikut :

$$r(\omega) = H(\omega) X(\omega) \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana matrik respons frekuensi kompleks

$$H(\omega) = [K - \omega^2 M + i\omega C]^{-1} \dots\dots\dots(2.10)$$

Formulasi tersebut mengijinkan frekuensi tergantung matrik sistem. Respons dari beban stochastic dapat diperoleh dari beban pengenalan dan konsep spektra respons.

2.2.3. Konsep Pembebanan

Kekuatan struktur lepas pantai sangat dipengaruhi oleh kondisi pembebanan yang bekerja terhadapnya. Adapun beban-baban yang harus dipertimbangkan dalam perancangan bangunan lepas pantai adalah sebagai berikut (Soedjono, J.J., 1999) :

1. Beban mati (*Dead Load*)

Beban mati (*dead load*) adalah beban dari komponen-komponen kering serta beban-beban peralatan, perlengkapan dan permesinan yang tidak berubah dari mode operasi pada suatu struktur, meliputi : berat struktur, berat peralatan dari permesinan yang tidakdigunakan untuk pengeboran atau proses pengeboran.

Berat perlengkapan tambahan lain yang dipasang permanen pada struktur, seperti *boad landing, risers, barge bumper*.

2. Beban hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban yang terjadi pada *platform* atau bangunan lepas pantai selama dipakai/berfungsi dan tidak berubah dari mode operasi satu ke mode operasi yang lain.

3. Beban akibat kecelakaan (*Accidental Load*)

Beban kecelakaan merupakan beban yang tidak dapat diduga sebelumnya yang terjadi pada suatu bangunan lepas pantai, misalnya tabrakan dengan kapal pemandu operasi, putusnya tali tambat, kebakaran, letusan

4. Beban lingkungan (*Environmetal Load*)

Beban lingkungan adalah beban yang terjadi karena dipengaruhi oleh lingkungan dimana suatu bangunan lepas pantai dioperasikan atau bekerja. Beban lingkungan yang biasanya digunakan dalam perancangan adalah :

1. Wave Drift Force
2. Beban angin
3. Beban arus

2.2.4. Wave Drift Force

Untuk gaya gelombang *time series* dapat dibangkitkan dari spektrum gelombang. Gaya gelombang *first order* :

$$F_{wv}^{(1)}(t) = \sum_{i=1}^N F_{wv}^{(1)}(\omega_i) \cos [\omega_i + \varepsilon_i] a_i \dots\dots\dots(2.11)$$

dimana :

$F_{wv}^{(1)}(t)$ = gaya gelombang *first order* tergantung waktu

$F_{wv}^{(1)}(\omega)$ = gaya *exciting* gelombang *first order* per unit amplitudo gelombang tergantung waktu

ε_i = sudut fase komponen gelombang *first order*

a_i = amplitudo komponen gelombang *first order* = $\sqrt{2S(\omega)d\omega}$

$S(\omega)$ = fungsi kepadatan spektra gelombang

Gaya gelombang *second order* :

$$F_{wv}^{(2)}(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_i a_j D_{ij} \cos [(\omega_i - \omega_j)t + (\varepsilon_i - \varepsilon_j)] \dots\dots\dots(2.12)$$

dimana :

D_{ij} = drift force per unit amplitudo gelombang

2.2.5. Beban Angin

Beban angin merupakan beban dinamis, tapi beberapa struktur akan meresponnya pada model statis yang paling mendekati. Dalam perancangan bangunan lepas pantai pada umumnya perhitungan beban angin disyaratkan untuk didasarkan pada besarnya

kecepatan ekstrim dengan periode ulang 50 atau 100 tahun. Semakin lama periode ulang yang digunakan, maka resiko kegagalan semakin besar. Sedangkan formula untuk gaya arus *time series* dapat dibangkitkan dari spektrum gelombang menurut API RP 2 T adalah memakai rumus sebagai berikut :

$$F_{WD}(t) = \frac{1}{2} \rho_a C_s A x_a |V_C - \dot{x}|(V_C - \dot{x}) \dots\dots\dots(2.13)$$

dimana:

F_w = gaya angin ,lbs(N)

C_s = koefisien bentuk

ρ_a = massa jenis udara, slugs / cu . ft (kg/ m³)

\dot{x} = kecepatan dari platform, ft/sec (m/s)

x_a = aerodynamic amittance

A = luas area vertikal yang terkena angin, ft² (m²)

V_C = kecepatan partikel air, knots (m/s)

Sedangkan kecepatan angin dirumuskan sebagai berikut :

$$V_w = V_{10} \left(\frac{y}{10} \right)^x \dots\dots\dots(2.14)$$

dimana :

V_w = kecepatan angin, knots (m/s)

V_{10} = kecepatan angin pada ketinggian 10 m, knots (m/s)

y = ketinggian dimana kecepatan angin dihitung, (m)

x = faktor eksponen, (m)

Bila informasi yang akurat tidak tersedia, maka harga eksponensial x sebesar 1/7 dapat diambil sebagai pendekatan. Harga ini cukup sesuai untuk ketinggian sampai dengan sekitar 200 m. Untuk semua sudut dari pendekatan beban angin pada struktur, gaya pada permukaan datar diasumsikan sebagai gaya normal pada permukaan dan gaya pada tanki silinder vertikal, pipa, dan silinder lain diasumsikan searah dengan arah angin, sedangkan yang tidak vertikal dapat dihitung menggunakan formula yang diambil dari perhitungan arah angin berhubungan dengan gerak objek

2.2.6. Beban Arus

Beban arus merupakan salah satu beban lingkungan yang memberikan gaya terhadap offshore structure. Arus akibat pasang surut memiliki kecepatan yang semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman sesuai fungsi non-linier. Sedangkan arus yang disebabkan oleh angin memiliki karakter yang sama, tetapi dalam fungsi linier.

Kecepatan arus dapat dirumuskan dalam formulasi matematis berikut (Dawson, 1983):

$$U_T = U_{OT} \left(\frac{y}{h} \right)^{1/7} \dots\dots\dots(2.15)$$

$$U_W = U_{OW} \left(\frac{y}{h} \right) \dots\dots\dots(2.16)$$

dimana:

- U_T = kecepatan arus pasang surut (m/detik)
- U_{OT} = kecepatan arus pasang surut di permukaan (m/detik)
- U_W = kecepatan arus akibat angin (m/detik)
- U_{OW} = kecepatan arus akibat angin di permukaan (m/detik)
- y = jarak dari dasar laut (m)
- h = kedalaman laut (m)

2.2.7. Persamaan Catenary

Variasi tegangan maksimum yang terjadi akibat pengaruh gerakan surge dan heave barge dapat didekati dengan formula :

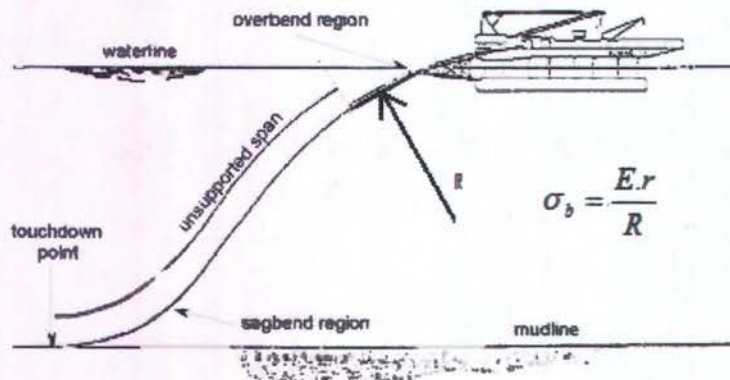
$$\Delta\sigma_{max} = [(\Delta\sigma_s)^2 + (\Delta\sigma_H)^2]^{1/2} \dots\dots\dots(2.17)$$

dimana :

$$\frac{\Delta\sigma_s}{\sigma_b} \ll 1 \qquad \frac{\Delta\sigma_H}{\sigma_b} \ll 1 \dots\dots\dots(2.18)$$

1. Tegangan pada overbend

Tegangan pada overbend di kontrol oleh jari-jari *stinger*, *departure angle* dan pengaturan *roller*.



Gambar 2.6. Tegangan Pada Daerah Overbend(Bai. Y, 2001)

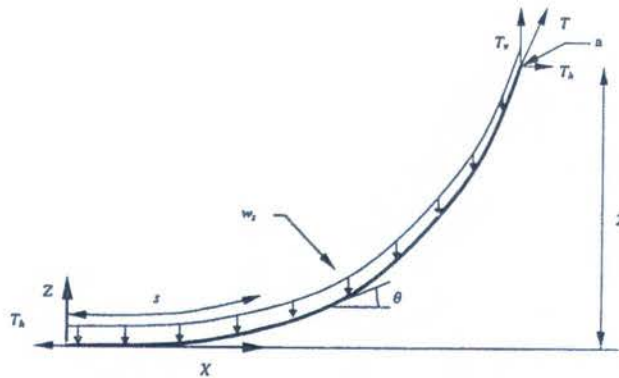
$$\sigma_b = \frac{E.r}{R} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

- σ_b = tegangan bending
- E = modulus Young
- r = jari-jari luar diameter pipa
- R = jari-jari stinger

2. Tegangan pada sagbend

Persamaan catenary shape pada sagbend (Bai.Y "Pipeline and Riser" 2003)



Gambar 2.7. Catenary Shape Model (Bai, Y. 2001)

Persamaannya diekspresikan sebagai berikut :

$$z = \frac{T_h}{w_s} \left(\cosh \frac{xw_s}{T_h} - 1 \right) \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana :

x = jarak horizontal dari *touch down point*

z = kedalaman

T_h = gaya horisontal pada dasar laut

w_s = berat pipa tercelup per.unit

Kemudian :

$$\frac{d\theta}{ds} = \frac{d^2z}{dx^2} \cos \theta = \frac{w_s}{T_h} \cosh \frac{xw_s}{T_h} \cos \theta \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana :

θ = sudut terhadap x-aksis

s = panjang bentang pipa

Curvature terbesar pada saat touch down point :

$$\frac{1}{R} = \frac{w_s}{T_h} \dots\dots\dots(2.22)$$

Hubungan curvature dan strain untuk pipa :

$$\epsilon = \frac{r}{R} \dots\dots\dots(2.23)$$

Komponen T_v adalah sebanding dengan berat pipa yang tercelup :

$$T_v = w_s s \quad \dots\dots\dots(2.24)$$

Panjang dari pipa yang tercelup dapat diekspresikan sebagai berikut :

$$s = z \sqrt{1 + 2 \frac{T_h}{z w_s}} \quad \dots\dots\dots(2.25)$$

Sudut antara pipeline dan koordinat x-y adalah :

$$\tan \theta = \frac{T_v}{T_h} \quad \dots\dots\dots(2.26)$$

Sehingga T_h dapat diekspresikan sebagai berikut :

$$T_h = \frac{z w_s}{\tan^2 \theta} \left(1 + \sqrt{1 + \tan^2 \theta} \right) \quad \dots\dots\dots(2.27)$$

Bending stress

$$\sigma_b = \frac{E \cdot D}{2 r_{bend}} \left(N / m^2 \right) \quad \dots\dots\dots(2.28)$$

dimana :

$$r_{bend} = \frac{(1 + y'^2)^{3/2}}{y''} \quad \dots\dots\dots(2.29)$$

E = Modulus young dari baja (N/m^2)

D = Diameter luar lapisan baja (m)

r_{bend} = bending radius (m)

keterangan :

$$y = \frac{T_h}{w} \left(\cosh \left(\frac{wx}{T_h} \right) - 1 \right)$$

dan

$$y' = \sinh \left(\frac{wx}{T_h} \right) \quad \text{dan} \quad y'' = \frac{w}{T_h} \cosh \left(\frac{wx}{T_h} \right)$$

maka :

$$r_{bend} = \frac{\left(1 + \sinh^2\left(\frac{wx}{T_h}\right)\right)^{3/2}}{\left(\frac{w}{T_h} \cosh\left(\frac{wx}{T_h}\right)\right)}$$

$$r_{bend} = \frac{T_h}{w} \cosh^2\left(\frac{wx}{T_h}\right) \dots\dots\dots(2.30)$$

Effektif *axial force*

$$F_a(y) = T(y) + (P_i \cdot A_i) - (P_o(y) \cdot A_o) \dots\dots\dots(2.31)$$

dengan : $T(y) = H + wy$

keterangan : H = gaya horizontal, N (lbf)

T = lay tension, N (lbf)

y = jarak vertikan dari seabed, m (ft)

F_a = efektif *axial force*, N (lbf)

P_i = tekanan dalam pipa, N/m² (psi)

A_i = luas penampang dalam pipa, m² (in²)

P_o = eksternal *hydrostatic pressure*, N/m² (psi)

A_o = luas penampang luar pipa, m² (in²)

Ketika saat layang, fluida dalam pipa tidak terisi maka :

$$F_a = T - w(d - y) - \left(\rho \cdot g \cdot (d - y) \cdot \frac{\pi D^2}{4}\right) \dots\dots\dots(2.32)$$

dengan pertmbangan dari gaya aksial maka *tegangan aksial* menjadi :

$$\sigma_a = \frac{F_a}{A_{steel}} \dots\dots\dots(2.33)$$

dimana : g = percepatan gravitasi, 9.80 m/s² (32 ft/s²)

ρ = densitas air laut, kg/m³ (pcf)

D = diam. Luar pipa, m (ft)

A_{steel} = luas penampang melintang baja, m² (ft²)

Hoop Stress

$$\sigma_h = \frac{-P_y \cdot D}{2t} \dots\dots\dots(2.34)$$

dengan $P_y = \rho_{seawater} \cdot g \cdot (d - y)$

dimana : P_y = hydrostatic pressure, (N/m²)
 t = wall thickness of pipe, (m)

Equivalent stress

$$\sigma_{eq} = \sqrt{((\sigma_b + \sigma_a)^2 + \sigma_h^2 - (\sigma_b + \sigma_a)\sigma_h)} \dots\dots\dots(2.35)$$

Dimana nilai $\sigma_{ec} \leq \eta_e \cdot SMYS$ dengan nilai faktor η_e sebesar 0.90 untuk ASME B31.8 (1992) dan 0.96 untuk untuk BS 8010 (1993).

2.2.8 Spektrum Gelombang

Dalam perancangan struktur bangunan apung, idealnya informasi karakteristik (spektra) gelombang adalah untuk lingkungan di mana struktur akan dioperasikan. Meskipun demikian, belum semua daerah lautan di dunia ini dilakukan observasi gelombangnya. Untuk kebutuhan perancangan maka spektra gelombang dari lokasi lain dengan kondisi yang mirip biasanya diambil. Secara umum, persamaan spektrum energi gelombang dirumuskan sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan, $H_{1/3}$ dan frekuensi karakteristik, ω_x (Djatkiko. Murdijanto, 2003).

Salah satu formulasi adalah Spektra JONSWAP, berdasarkan percobaan yang dilakukan di North Sea. Formula atau persamaan untuk spektrum JONSWAP dapat dirumuskan:

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp\left[-1,25\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^4\right] \gamma^{\exp\left[\frac{-(\omega-\omega_0)^2}{2r^2\omega_0^2}\right]} \dots\dots\dots (2.36)$$

dimana :



γ = peak edness parameter

τ = shape parameter

τ_a = untuk $\omega \leq \omega_0$

τ_b = untuk $\omega \geq \omega_0$

dengan mempertimbangkan angin dengan kecepatan U_ω dan jarak (fetch) = x , sehingga harga rata-rata adalah sebagai berikut :

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

$$\tau_a = 0.07$$

$$\tau_b = 0.09$$

$$\alpha = 0.076 (X_0)^{-0.22}$$

$$\alpha = 0.0081 \text{ (ketika } X_0 \text{ tidak diketahui)}$$

$$\omega_0 = 2\pi \left(\frac{g}{U_\omega} \right) (X_0)^{-0.33} ; X_0 = \frac{g X}{U_\omega}$$

2.2.9. Response Amplitude Operators (RAO)

Metode *spectra* merupakan cara untuk menegetahui suatu respon struktur akibat beban gelombang reguler dalam tiap-tiap frekuensi. Nilai amplitudo dari respon struktur *offshore* (baik struktur *fixed* maupun terapung) secara umum hampir sama dengan amplitudo gelombang. *Response-Amplitude Operator* (RAO) atau sering disebut sebagai *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. Dapat dinyatakan dengan bentuk matematis yaitu $\left(\frac{\zeta_{respon}}{\zeta_{gelombang}} \right)$, 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. (Chakrabarty, 1987) Bentuk umum dari persamaan RAO dalam fungsi frekuensi adalah sebagai berikut :



$$Response(\omega) = (RAO) \eta(\omega) \dots\dots\dots (2.37)$$

dimana :

η : amplitudo gelombang, m, ft

ω : frekuensi angular, rad/sec

2.2.10. Linier Response Spectra

Response spectra didefinisikan sebagai *response energy density* pada struktur akibat gelombang, dalam hal ini berupa *energy density spectrum*. Pada sistem linier, fungsi dari RAO merupakan fungsi kuadrat. *Response spectra* merupakan perkalian antara spektrum gelombang dengan RAO kuadrat. Persamaan dari *response spectra* adalah (Chakrabarty, 1987) sebagai berikut :

$$S_R(\omega) = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \dots\dots\dots (2.38)$$

dimana :

S_R = *response spectrum*, ft² -sec

S = spektra gelombang, ft² -sec

RAO = *response amplitude operator*

ω = frekuensi angular, rad/sec

Response spectra dapat digunakan untuk mengetahui besar respon maksimum yang mungkin terjadi dalam suatu rentang waktu tertentu. Respon *extreme* maksimum yang terjadi dengan tingkat probabilitas dari suatu kejadian sebesar 62,3% dapat dicari dengan persamaan (Chakrabarty, 1987) sebagai berikut :

$$\hat{S}_{n\alpha} = \left[2 \ln \left\{ \frac{60^2 T}{2\pi} \sqrt{\frac{m_2}{m_0}} \right\} \right]^{1/2} \sqrt{m_0} \dots\dots\dots (2.39)$$

Sedangkan respon *extreme* maksimum yang mungkin terjadi pada saat proses perancangan dapat dicari berdasarkan persamaan diatas dengan mempertimbangkan faktor peluang terlampauinya suatu kejadian α sebagai berikut :

$$\hat{S}_{n\alpha} = \left[2 \ln \left\{ \frac{60^2 T}{2\pi\alpha} \sqrt{\frac{m_2}{m_0}} \right\} \right]^{1/2} \sqrt{m_0} \dots\dots\dots (2.40)$$



dimana:

T = lama kejadian badai (*storm propagation*) = 3 jam

α = kemungkinan kejadian tidak terjadi pada saat perancangan (1% - 5%)

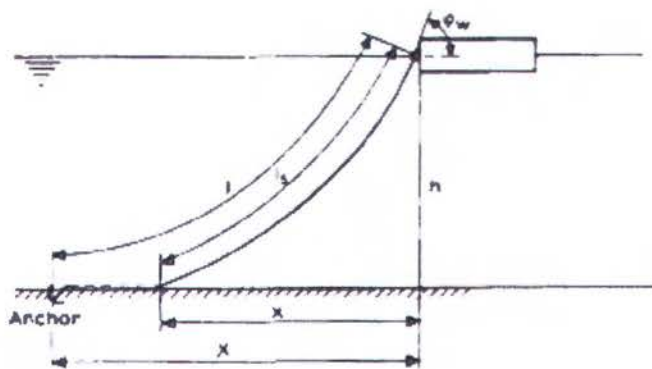
$$m_0 = \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega$$

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

m_0 merupakan luasan di bawah kurva spektrum amplitudo kepadatan energi gelombang dimana luasannya sama dengan varian dari *time history* gelombang sedangkan m_2 merupakan momen spektra kecepatan.

2.2.11. Konfigurasi Mooring Line

Jenis dan konfigurasi dari mooring tergantung pada besar dari beban horisontal yang diterima oleh struktur. Menurut penjelasan API RP 2P edisi kedua, bahwasannya tipe dari Mooring system dibagi menjadi tiga kategori yaitu wire rope system, all chain system dan kombinasi chain/wire rope system.



Gambar 2.8. Konfigurasi mooring (Technip, Paris. 2005)

Formula penentuan panjang minimum yaitu:

$$\frac{l}{h} = \sqrt{\frac{2F_H}{ph} + 1} \quad \text{atau} \quad \frac{l}{h} = \sqrt{\frac{2T}{ph} - 1} \quad \dots\dots\dots(2.41)$$

Dimana :

- l : panjang minimum
- h : $h_m + h_c$
- h_m : kedalaman perairan
- h_c : tinggi fairlead dari permukaan air
- p : submerged weight dari mooring
- F_H : gaya horizontal pada mooring di fairlead
- T : tension pada mooring di fairlead

Untuk keselamatan , minimum panjang mooring harus ditambahkan safety length D dimana panjangnya tergantung dari tipenya. Untuk wire rope 200 sampai 300 m dan untuk chain 50 sampai 100 m.

Untuk menentukan jarak horizontal anchor line yaitu dengan menggunakan formula sebagai berikut :

$$X = l - l_s + x \quad \dots\dots\dots(2.42)$$

Dimana,

$$x = a \sinh^{-1}\left(\frac{l_s}{a}\right)$$

$$a = \frac{l_s^2 - h^2}{2h}$$

- X : jarak horizontal anchor
- x : jarak horizontal touchdown point
- l : panjang keseluruhan mooring
- l_s : panjang minimum mooring

2.2.12 Fungsi Kerapatan Peluang

• **Distribusi Normal**

Fungsi kerapatan peluang untuk distribusi Normal adalah,

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \dots\dots\dots (2.43)$$

Dimana μ = Nilai rata-rata (mean)
 σ = Simpangan baku (standar deviasi)

• **Distribusi Lognormal**

Suatu variabel x (variabel random) terdistribusi Lognormal jika $y = \ln(x)$ mempunyai distribusi normal. Fungsi kerapatan peluang untuk distribusi Lognormal adalah,

$$f(x) = \frac{1}{x \sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{((\ln(x) - \mu) / \sigma)^2}{2}\right] \dots\dots\dots (2.44)$$

Dimana μ_y = rata-rata (mean), dan σ_y = simpangan baku dan,

$$\mu_y = \ln(x) - \frac{1}{2} \ln\left(1 + \frac{CoV}{x^2}\right) \dots\dots\dots (2.45)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\ln\left(1 + \frac{CoV}{x^2}\right)} \dots\dots\dots (2.46)$$

• **Distribusi Weibull**

Fungsi kerapatan peluang untuk distribusi Weibull adalah,

$$f(x) = \frac{\gamma}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\gamma-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\gamma\right] \dots\dots\dots (2.47)$$

Dimana
 γ = Parameter bentuk
 α = Parameter skala

2.2.13. TES HIPOTESA

- **Kolmogorov-Smirnov Test**

Tes ini digunakan untuk menentukan sample dari hipotesa distribusi berkelanjutan. Ini berdasarkan fungsi distribusi kumulatif empiris (FDKE). Yang mengasumsikan sample acak x_1, \dots, x_n dari beberapa distribusi berkelanjutan dengan DKE.

Kolmogorov-Smirnov statistic (D) tes berdasarkan pada perbedaan terbesar antara $F(x)$ dan $F_n(x)$ seperti berikut ini,

$$D_n = \sup_x |F_n(x) - F(x)| \dots\dots\dots (2.48)$$

H_0 : data yang membentuk distribusi

H_A : data yang tidak membentuk distribusi

hipotesa yang menganggap bentuk distribusi ditolak pada taraf keberartian yang ditentukan (α) jika tes statistic (D) lebih besar dari nilai kritis.

- **Anderson-Darling Test**

Prosedur Anderson-Darling ini adalah tes umum dengan membandingkan kecocokan pengamatan fungsi distribusi komulativ dengan fungsi distribusi komulative yang diharapkan.

Tes statistic Anderson-Darling didefinisikan sebagai berikut,

$$A^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i - 1) \cdot [\ln F(X_i) + \ln(1 - F(X_{n-i+1}))] \dots\dots\dots (2.49)$$

hipotesa yang menganggap bentuk distribusi ditolak pada taraf keberartian yang ditentukan (α) jika tes statistic (A^2) lebih besar dari nilai kritis.

- **Chi-Squared Test**

Chi-Squared tes digunakan untuk menghitung sample dari populasi dengan distribusi yang spesifik.

Tes statistic Chi-Squared didefinisikan sebagai berikut,

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}, \dots\dots\dots (2.50)$$

Dimana O_i adalah frekuensi yang diamati untuk bin i dan E_i dihitung dengan

$$E_i = F(x_2) - F(x_1), \dots\dots\dots (2.51)$$

Dimana F adalah CDF adalah probability distribution yang dites dan x_1, x_2 adalah batas untuk bin i . Hipotesa yang menganggap bentuk distribusi ditolak pada taraf keberartian yang ditentukan (α) jika tes statistik lebih besar dari nilai kritis.

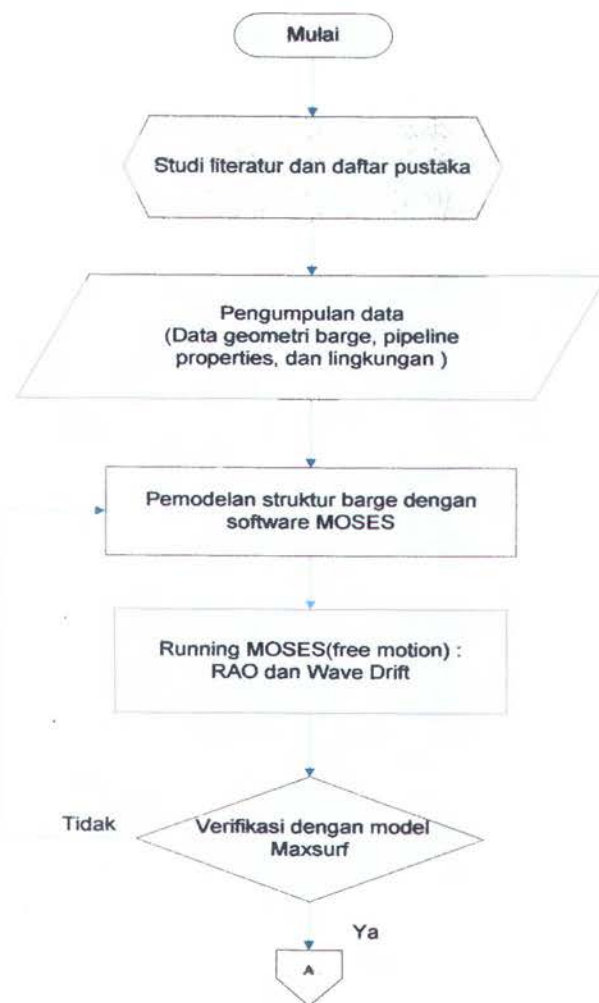
HALAMAN KOSONG

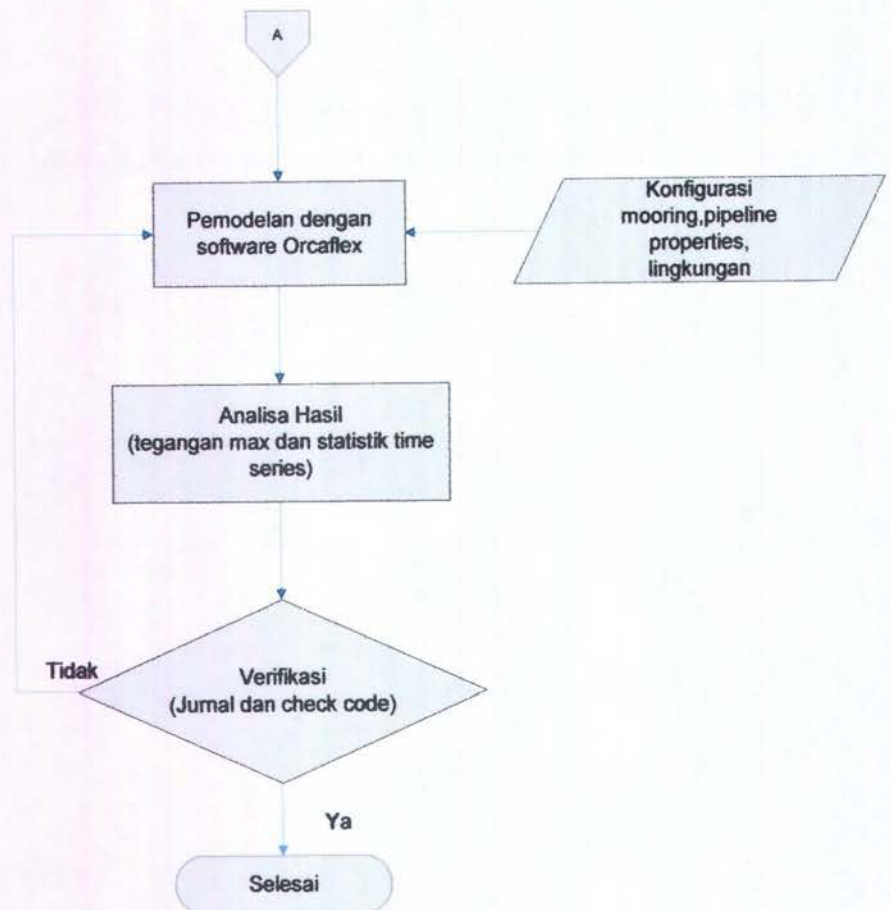
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Digram alir

Diagram alir untuk menyelesaikan penelitian ini adalah sebagai berikut :





Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

Keterangan diagram alir :

Untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini diperlukan tahap-tahap yang berurutan berdasarkan urutan kerja sehingga tujuan yang diharapkan dapat tercapai dengan baik. Tahapan-tahapan tersebut yaitu :

1. Melakukan studi literatur buku-buku, jurnal atau referensi yang berkaitan sebagai bahan penunjang penelitian ini.
2. Pengumpulan data pipeline serta data lingkungan dimana struktur tersebut beroperasi yang dalam hal ini adalah mengambil data dari proyek instalasi shallow water pipeline Sisi-Nubi di Selat Makasar, dan juga spesifikasi dari *Lay-Barge*. *Lay-Barge* yang digunakan adalah Castoro II milik Saipem.
3. Pemodelan struktur tersebut menggunakan *software* MOSES yang akan menghasilkan respon dinamis berupa *free motion* tanpa *mooring* dari *Barge* (RAO dan wave drift). Tapi sebelumnya dilakukan verifikasi dengan *software* Maxsurf guna mendapatkan kepastian model yang digunakan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 3.4.
4. Hasil running MOSES tersebut akan digunakan sebagai input pada *software* ORCAFLEX untuk berbagai gerakan yang diinginkan. Pada tugas akhir ini gerakan yang ditinjau adalah *heave*, *surge*, *pitch* dan kombinasi dari gerakan ketiga tersebut. Selain itu, inputan yang diperlukan adalah konfigurasi *mooring* dan propertiesnya. Untuk *mooring*, digunakan delapan line masing- masing line bersudut 30^0 . Dan juga data primer seperti pipa serta data lingkungan.
5. Melakukan analisa tegangan yang terjadi pada pipa untuk setiap gerakan yang diinginkan. Dilanjutkan dengan analisa *time series max bending stress* pada daerah yang dianggap kritis sepanjang pipa.
6. Melakukan analisa statistik dari hasil *time series* yang kemudian dapat ditentukan jenis distribusi tegangan yang terjadi, standar deviasinya, tegangan max rata-rata serta tegangan max signifikan.
7. Melakukan verifikasi hasil yang diperoleh dengan penelitian sebelumnya yang dalam hal ini adalah jurnal serta *check code* terhadap *max bending stress* yang terjadi.
8. Kesimpulan hasil analisa. Dari hasil analisa tersebut akan diketahui pengaruh gerakan yang paling signifikan dari barge terhadap tegangan pipa pada saat proses instalasi.

3.2. Data Pemodelan

3.2.1 Data Lay Barge

Adapun data yang akan digunakan untuk memodelkan Lay-Barge adalah data dari Barge CASTORO II dengan data geometri sebagai berikut :

Tabel 3.1. Data Struktur CASTORO II

Item	Nilai	Satuan
Sarat min.	2.44	m
Sarat max.	5.50	m
Panjang Barge	135.0	m
Lebar Barge	32.60	m
Tinggi Barge	9.0	m
Displacement (Full load)	18.100	Ton
Displacement (lightship)	10.281	Ton
Sistem Mooring :		
Anchors type AC 14, 14 ton each	8	buah
Wire diameter	44	mm
Drum capacity	1000	m
Electric winches max.pull 40 ton, single drum	8	buah
Diesel winches max.pull 80 ton, double drum	2	buah
Diesel winches max.pull 80 ton, single drum	1	buah
Sistem tension :		
Tensioner ; max tension 90 ton	2	buah

Sumber : *www. Saipem.com*

3.2.2. Data Lingkungan

Data lingkungan yang digunakan dalam pemodelan struktur ini adalah data lingkungan pada daerah Sisi Nubi di Selat Makasar yang memiliki kadalaman 70 m dengan rincian sebagai berikut :

Tabel 3.2. Data Lingkungan

	100-Tahun	1-Tahun
Kecepatan angin (m/s)	15	10.5
Kecepatan arus (m/s)	0.5	0.7
Tinggi Gel. Signifikan (m)	2	1.2
Periode Puncak Gel. (s)	7.8	6.0

Sumber : *sisi nubi fields development project*

3.2.3 Data Pipa

Properties pipa yang digunakan adalah :

Tabel 3.3. Data Pipa

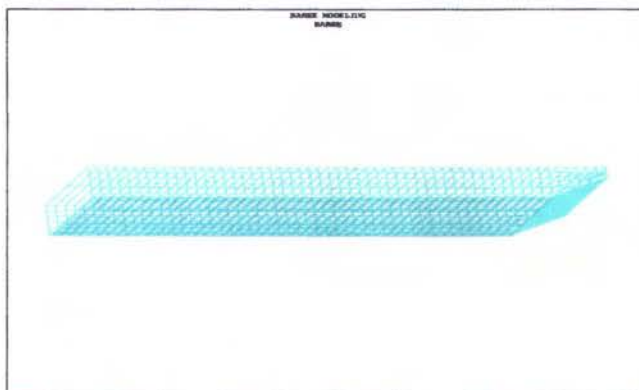
Properties Pipa Grade X-65	
Outside Diameter (m)	0.66
Inside Diameter (m)	0.61
SMYS (MPa)	448
Corrosion Allowance (mm)	12
Min. wall thickness (mm)	24.3
Selected wall thickness (mm)	27.5
Total weight in air (empty) (kg/ml)	712
Buoyancy (kg/ml)	481
Submerged weight (operation) (kg/ml)	239/260

Sumber : sisi nubi fields development project

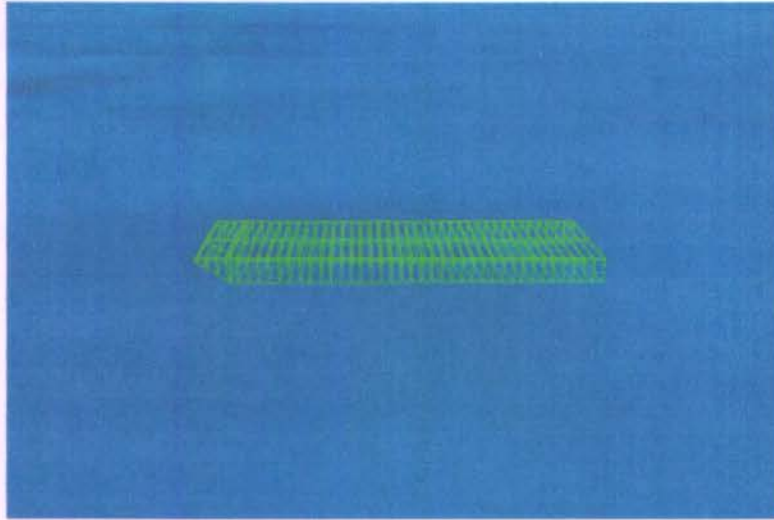
3.3. Pemodelan

3.3.1 Pemodelan Dengan Software MOSES

Pemodelan yang pertama kita menggunakan *software* MOSES yang menghasilkan wave drift serta RAO dari struktur. Pada pemodelan menggunakan MOSES ini, kita membuat surface sesuai geometri dari Barge. Pemodelan yang pertama kita hanya memodelkan hull saja tanpa pipa. Pada pemodelan menggunakan MOSES ini, kita membuat surface sesuai geometri dari *BARGE CASTORO II*. Surface hull tersebut kita beri sarat air seperti data yang ada. Kemudian kita beri heading pressure dan periode untuk mendapatkan RAO motion dari *BARGE CASTORO II* dalam arah gerak *surge, heave, sway, roll, pitch,* dan *yaw*.



Gambar 3.2. Model Geometri Hull Barge



Gambar 3.3. Model Surface Hull Lay Barge

3.3.2 Verifikasi Pemodelan MOSES Dengan MAXSURF

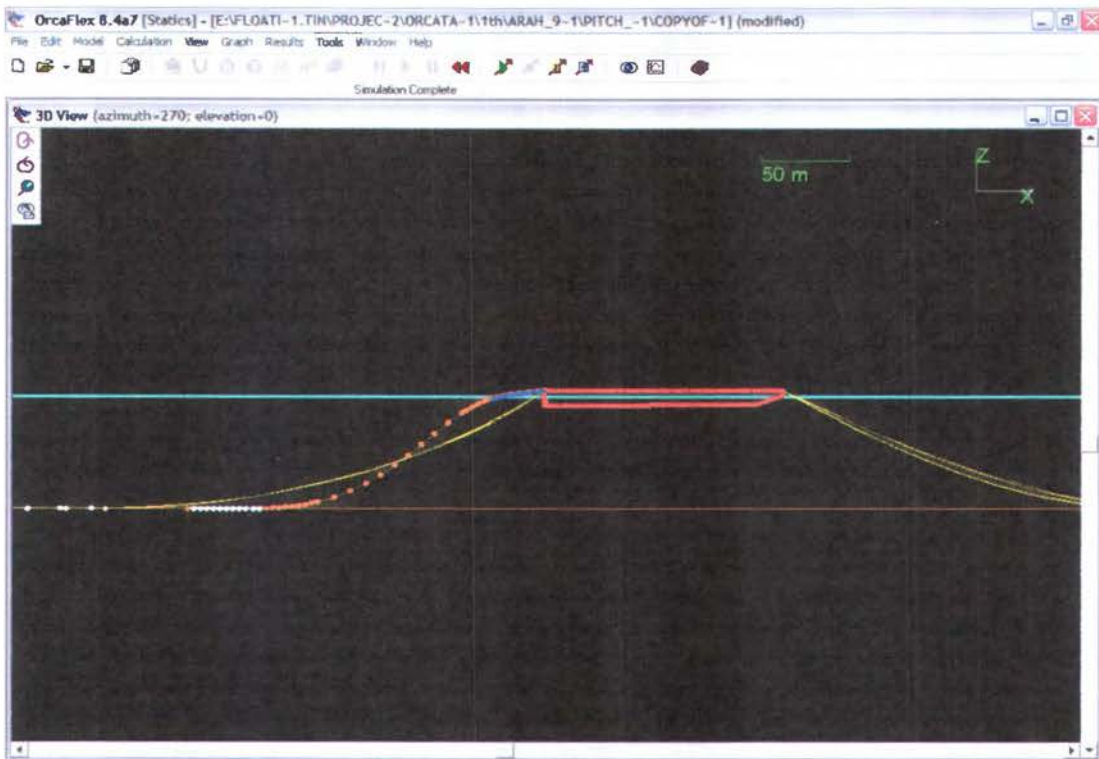
Verifikasi ini dimaksudkan untuk mencari perbandingan titik kritis pada barge seperti COG. Akan didapat perbandingan nilai, dan jika nilai tersebut tidak berbeda jauh maka pemodelan dapat dilanjutkan. Di bawah ini adalah tabel nilai perbandingan antara software Moses dengan Maxsurf.

Table3.4. Perbandingan Moses dan Maxsurf

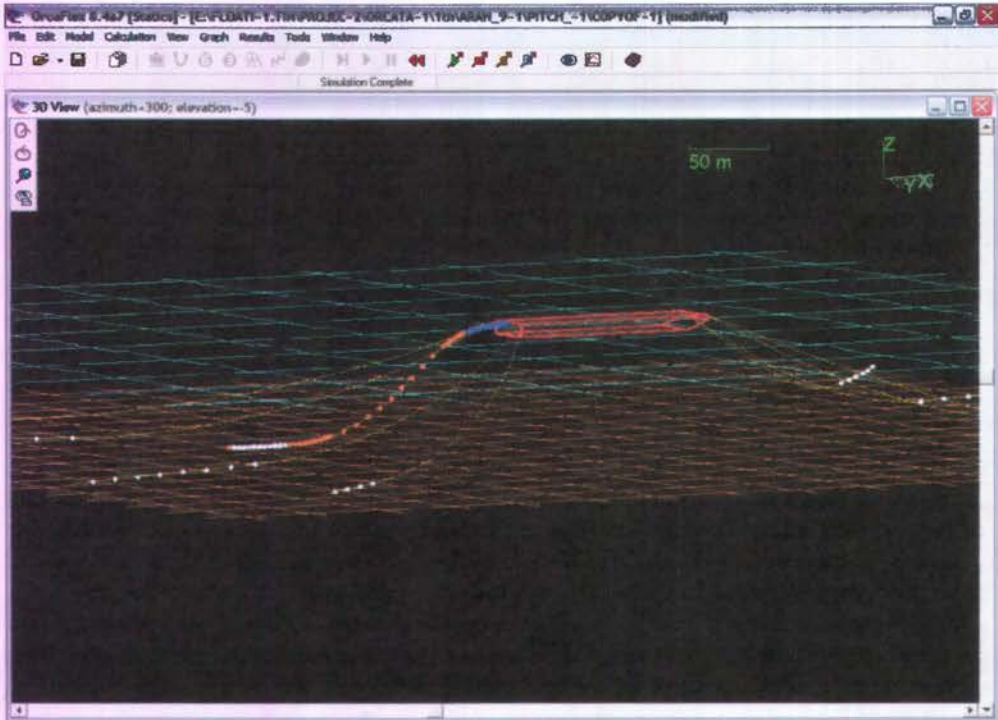
Parameter	Maxsurf	MOSES	Selisih	Unit
Displacement	23322	23322.1	0.00043 %	Ton
Draft to Baseline	5.5	5.5	0 %	m
Waterplane area	11570.87	11570.917	0.00041 %	m ²
KG	6.06	6.1	0 %	m
KMT	19.773	19.77	0 %	m
KML	288.532	288.53	0 %	m
BMT	16.975	26.98	0 %	m
BML	285.734	285.73	0 %	m
Cb	0.95	0.95	0 %	-

3.3.3. Pemodelan Dengan Software Orcaflex

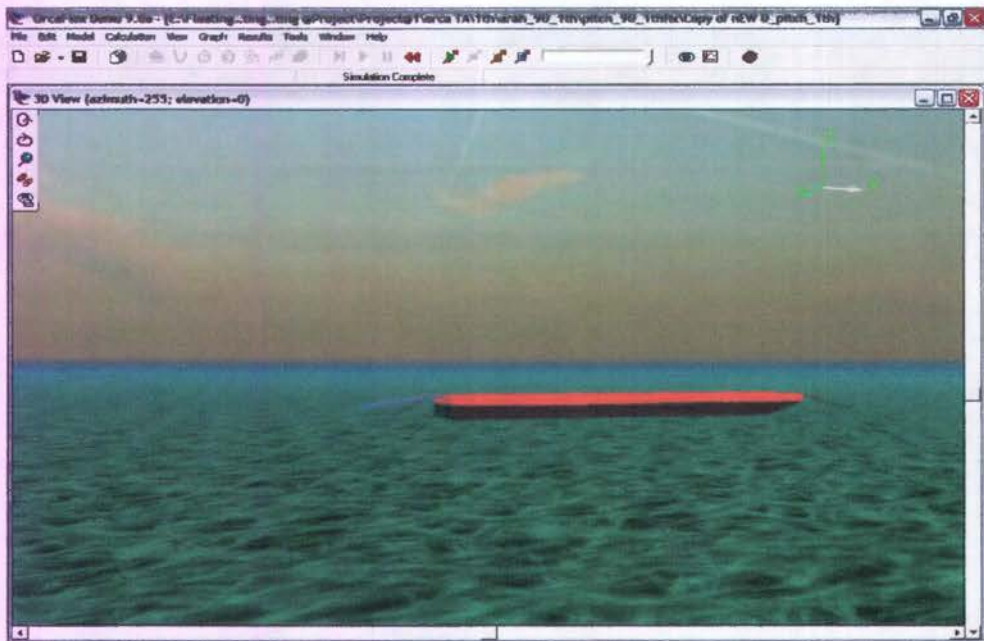
Simulasi pada software ini akan dilakukan selama 10 menit (600 s). Pada tahap pemodelan ini, struktur dimodelkan lengkap dengan konfigurasi pipa dan *mooring*nya. Untuk tahap pertama kita buat model hullnya sesuai dengan dimensi Castoro II dengan cara menentukan titik koordinat menjadi satu-kasatuan yang utuh. Setelah itu kita modelkan konfigurasi *moring*nya yang kemudian dilanjutkan dengan pemodelan pipa dan *stingernya*. Tahap selanjutnya memasukan sarat air max yaitu sebesar 5.5 m. Tahap berikutnya memasukan RAO dan Wave Drift untuk arah yang diinginkan, dalam hal ini arah yang ditinjau adalah 0° , 90° , 180° dengan arah gerakan heave, surge, pitch serta kombinasi dari ketiganya. Untuk lebih jelas pemodelannya dapat dilihat pada gambar 3.4 3.5 dan 3.6



Gambar 3.4. Model Lay Barge Lenkap Tampak Samping



Gambar 3.5. Model Lay Barge Lenkap Tampak Isometri



Gambar 3.6. Model 3D Solid Lay Barge Lenkap Tampak Isometri

Setelah pemodelan struktur, kemudian dilanjutkan dengan menginputkan data lingkungan seperti kedalaman pada saat laying, H_S , T_P , arah gelombang, kecepatan angin dan arus. Untuk data lingkungan yang digunakan adalah data 1 tahunan. Data untuk 100 tahunan tidak digunakan pada tugas akhir ini sebab pada kondisi riil di lapangan, proses instalasi akan dihentikan jika kondisi lingkungan ekstrem. Di bawah ini adalah tabel konfigurasi *mooring* dan *pipe span*. Untuk perhitungannya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 3.5. Konfigurasi Mooring

Wire rope 0.044 m		
Height fairlead from seabed, h	75.5	m
Submerged weight per unit length, w	101.75	N/m
Horizontal force, Fh	46.56	kN
Tension in line at fairlead, T	54.04	kN
Added safety length, D	200	m
Horizontal projection of the line of length, x	255.615	m
Total length of line, l	469.58	m

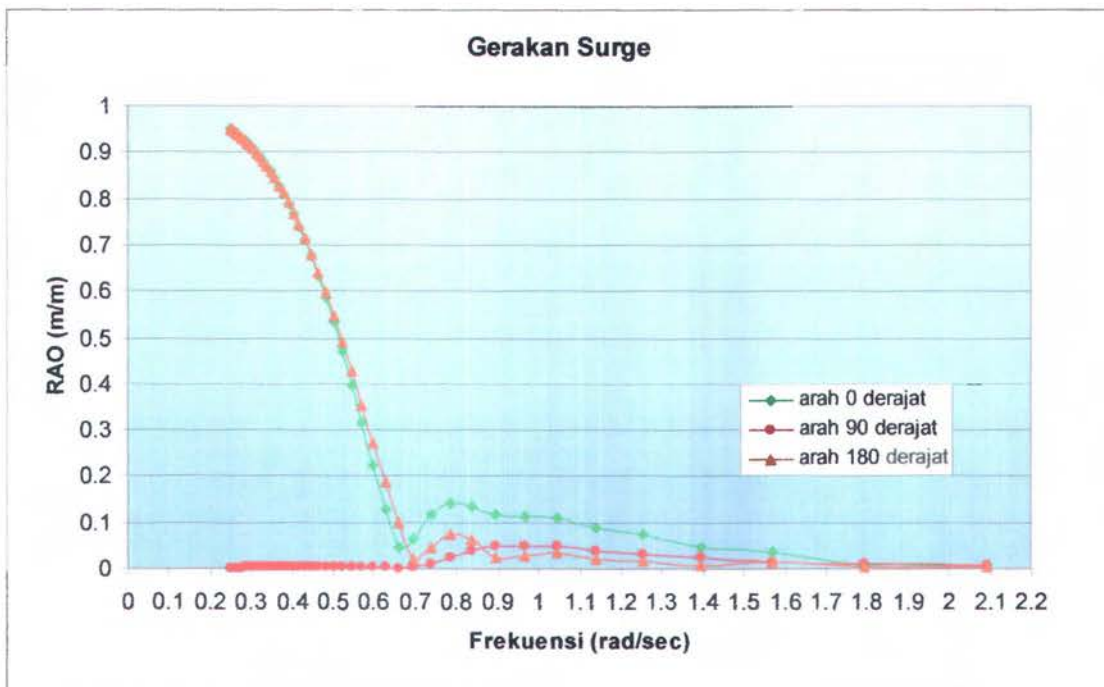
Tabel 3.6. Konfigurasi Pipe Span

Pipe Steel 0.66 m		
Cross sectional area of pipe	0.055	m ²
Cross sectional area of displaced water	0.35	m ²
Submerged weight per unit length, w	737.17	N/m
Applied Tension	300	kN
Horizontal component of tension, H	133.788	kN
Departure angle	13.6	derajat
Stinger Length	30	m

BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

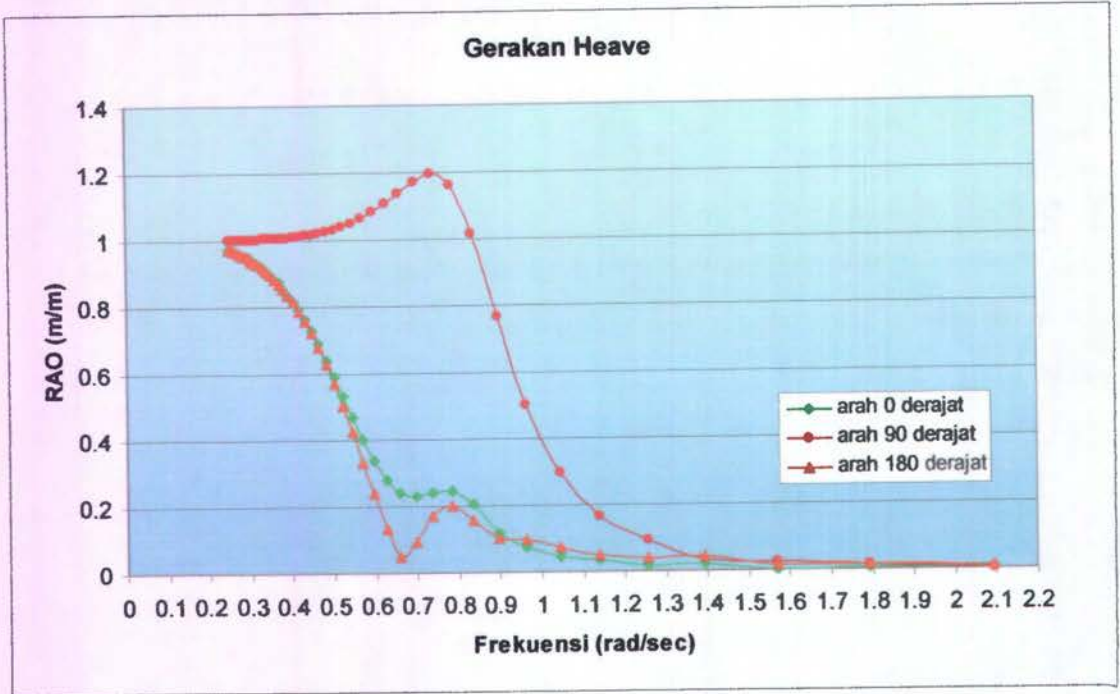
4.1. Analisa Gerakan Lay Barge

Pada tahap ini digunakan software Moses 6.0 untuk menghasilkan RAO dan Wave Drift gerakan barge pada gelombang reguler. Yang dalam tugas akhir ini, arah gelombang yang ditinjau adalah 0° , 90° , 180° untuk 3 gerakan bebas yaitu surge, heave dan pitch . Grafik fungsi transfer dapat dilihat pada gambar berikut :

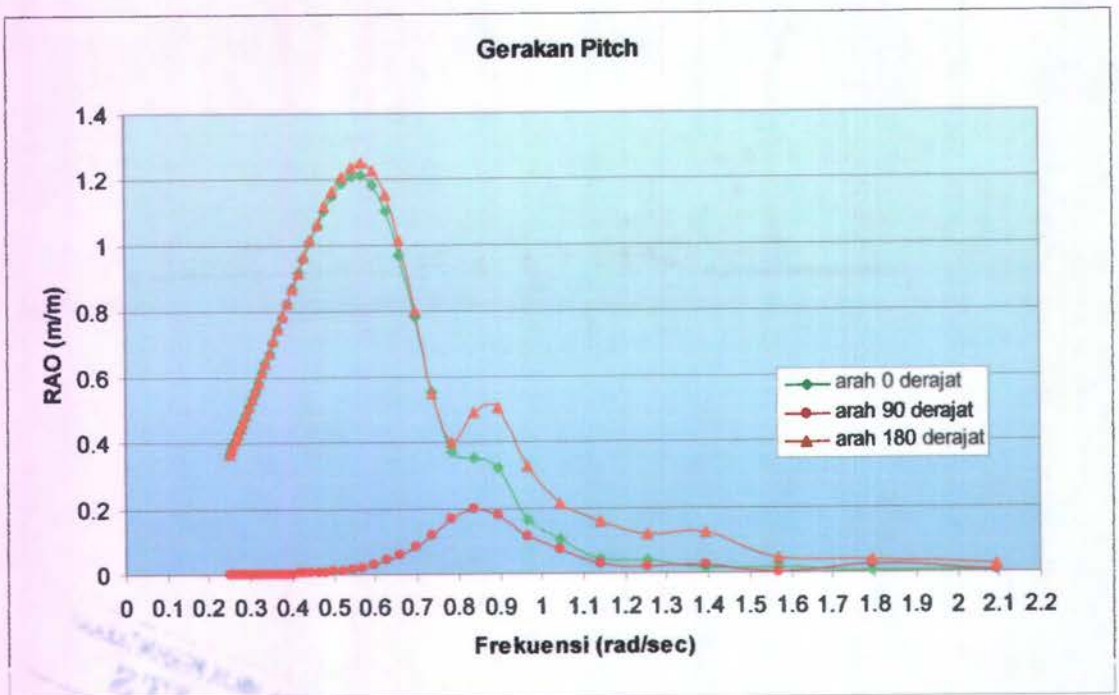


Gambar 4.1. Grafik Fungsi Transfer Gerakan Surge





Gambar 4.2. Grafik Fungsi Transfer Gerakan Heave



Gambar 4.3. Grafik Fungsi Transfer Gerakan Pitch

Dari ketiga grafik tersebut dapat menggambarkan karakteristik gerakan barge untuk masing-masing gerakan yaitu :

Gerakan Surge

- Untuk nilai RAO gerakan surge dengan arah gelombang 0^0 dan 180^0 relatif besar untuk nilai frekuensi kecil yaitu antara ($\omega = 0.25 - 0.7$) . Kemudian terjadi penurunan trend seiring bertambahnya frekuensi ini berarti respon struktur juga mengalami penurunan. Untuk arah pembebanan gelombang 90^0 terjadi sebaliknya. Dimana pada frekuensi kecil ($\omega = 0.25 - 0.5$) respon struktur yang terjadi sangat kecil, kemudian mulai naik pada rentang ($\omega = 0.7 - 1.6$) dan turun lagi seiring bertambahnya frekuensi.

Gerakan Heave

- Respon struktur relatif sama pada arah gelombang 0^0 dan 180^0 antara ($\omega = 0.25 - 0.6$) dan kemudian mengalami penurunan terus pada frekuensi yang besar. Pada ($\omega = 0.25 - 0.4$) untuk arah gelombang 90^0 respon struktur mengalami peningkatan sedikit hingga pada $\omega = 0.7$ mengalami peningkatan signifikan dan terus mengalami penurunan dengan bertambahnya frekuensi.

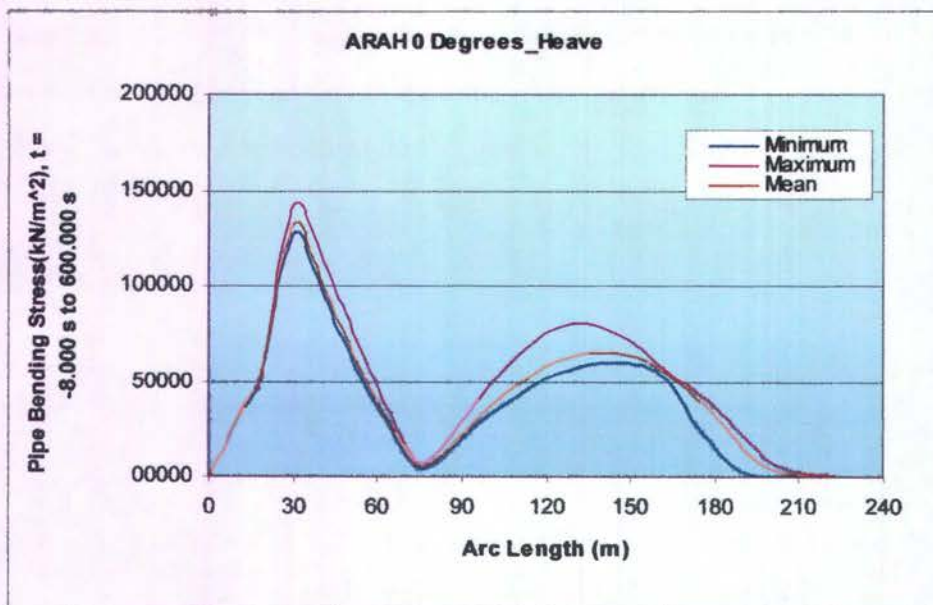
Gerakan Pitch

- Arah gelombang 0^0 dan 180^0 menunjukkan trend yang relatif sama yaitu akan mengalami peningkatan pada $\omega = 0.25$ sampai $\omega = 0.57$ dan mengalami penurunan pada frekuensi besar. Untuk arah gelombang 90^0 , respon struktur mengalami perubahan signifikan pada rentang frekuensi ($\omega = 0.5 - 1.1$) dan cenderung turun terus pada frekuensi dengan nilai besar.

4.2. Analisa Pipeline Pada Saat Instalasi

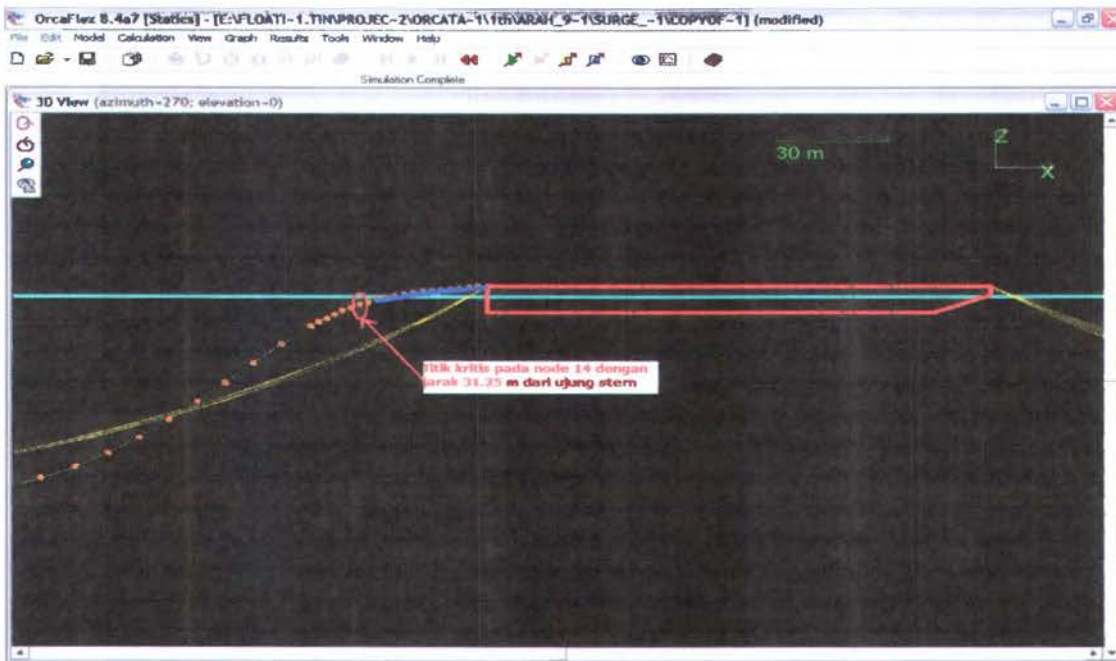
Analisa dinamis ini menggunakan gelombang acak dengan menggunakan spektrum gelombang JONSWAP. Hal ini dapat dilakukan dengan mentransformasikan spektrum gelombang menjadi spektrum struktur dengan cara mengalikan harga pangkat dua dari Response Amplitude Operator (RAO) dengan spektrum gelombang pada frekuensi yang sama.

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software* Orcaflex dengan simulasi sekitar 10 menit (600 s). Hasil dari *running* Orcaflex pada tahap pertama ini adalah untuk mengetahui titik kritis terjadinya *stress bending* terbesar. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa titik kritis terjadi pada pipe span yang berjarak 31.25 m (daerah *overbend*) dari titik awal pipa yaitu di ujung *stern lay barge*. Tetapi dengan nilai tegangan yang berbeda untuk setiap arah pembebanan gelombang.



Gambar 4.4. Grafik Max Bending Stress Arah 0° Gerakan Heave

Untuk selengkapnya mengenai grafik untuk masing-masing gerakan surge, heave, pitch dan kombinasi ketiganya dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4.5. Titik Kritis Pada Daerah Overbend

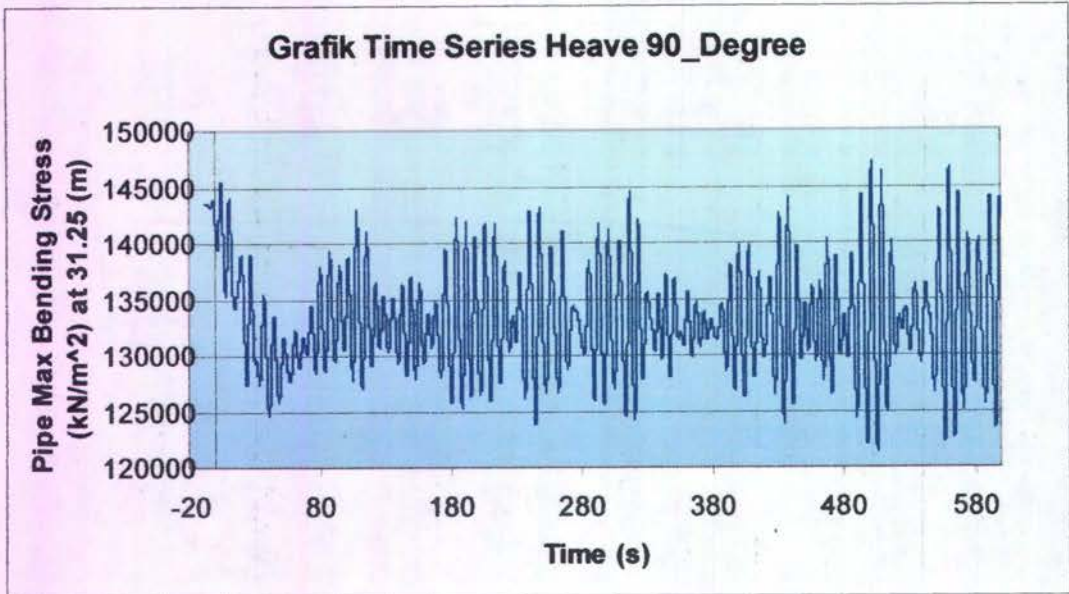
Besar tegangan yang terjadi pada titik 31.25 m tersebut dicek dengan tegangan ekuivalen, yang dalam hal ini di cek dengan tegangan ekuivalen von mises yang diperoleh langsung pada Orcaflex.

Tabel 4.1. Von Mises Ekuivalent Stress

Titik Kritis (m)	Arah Gel.	Tegangan max Von Mises (MPa)	0.9 SMYS (Mpa)
31.25	0 ^o	156.057	403.20
	90 ^o	156.976	403.20
	180 ^o	157.510	403.20

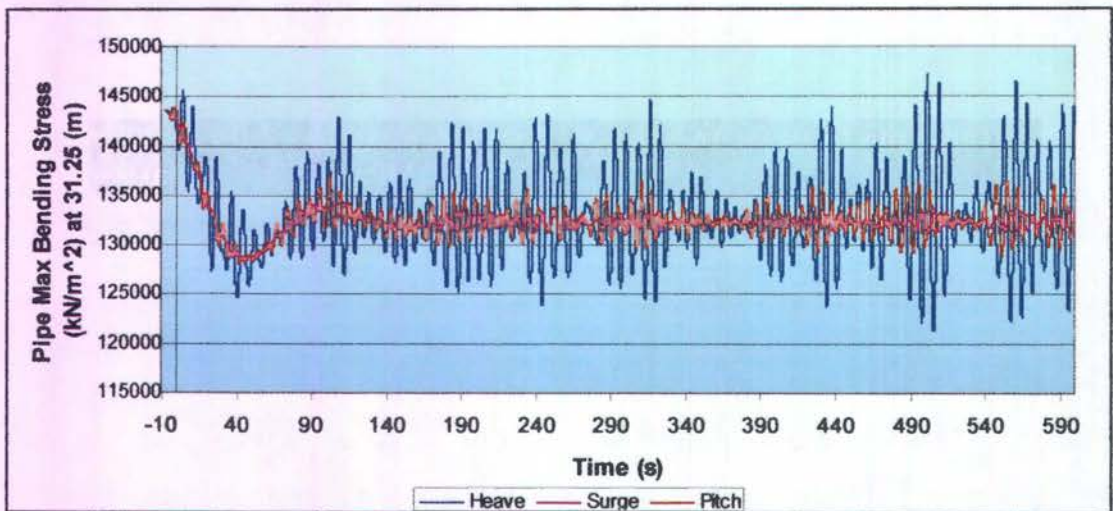
4.3. Analisa Time Series

Analisa ini dilakukan setelah penentuan titik kritis di dapat. Tujuannya adalah untuk mendapatkan variasi tegangan yang terjadi pada titik tersebut dengan melakukan simulasi selama 10 menit. Analisa dilakukan pada titik kritis untuk tiap arah gerakan yaitu surge, heave, pitch dan kombinasi dari ketiga gerakan tersebut. Berikut ini adalah grafik variasi tegangan max pada titik kritis 31.25 m untuk arah gelombang 90^o.



Gambar 4.6. Grafik Time Series Gerakan Heave Arah 90°

Pada grafik tersebut menunjukkan bahwasanya tegangan maksimum rata-rata berkisar antara rentang 135000 kN/m²-140000 kN/m² dan nilai signifikan max bending stress 147258.65 kN/m² pada detik 510.



Gambar 4.7. Grafik Time Series Gerakan Heave, Surge, Pitch Arah 90°

Analisa Hasil dan Pembahasan

Pada gambar 4.5 menunjukkan perbandingan bending stress dari ketiga gerakan, dimana dari grafik tersebut dapat terlihat bahwa gerakan heave memiliki kontribusi yang signifikan terhadap *bending stress* dibandingkan dengan gerakan surge maupun pitch.

4.4. Analisa Statistik

Setelah mendapatkan variasi tegangan untuk setiap gerakan, tahap berikutnya adalah penganalisaan secara statistik. Tahap analisa ini dimaksudkan untuk mengetahui gerakan apa yang paling berpengaruh terhadap terjadinya *max bending stress* dan jenis distribusi yang sesuai dari data-data tegangan max untuk setiap gerakan heave, surge, pitch dan kombinasinya. Tabel 4.2. berikut ini menunjukkan data kejadian variasi tegangan untuk arah 180^0 gerakan heave dan untuk arah 0^0 dan 180^0 dengan masing-masing gerakan dapat dilihat pada lampiran.

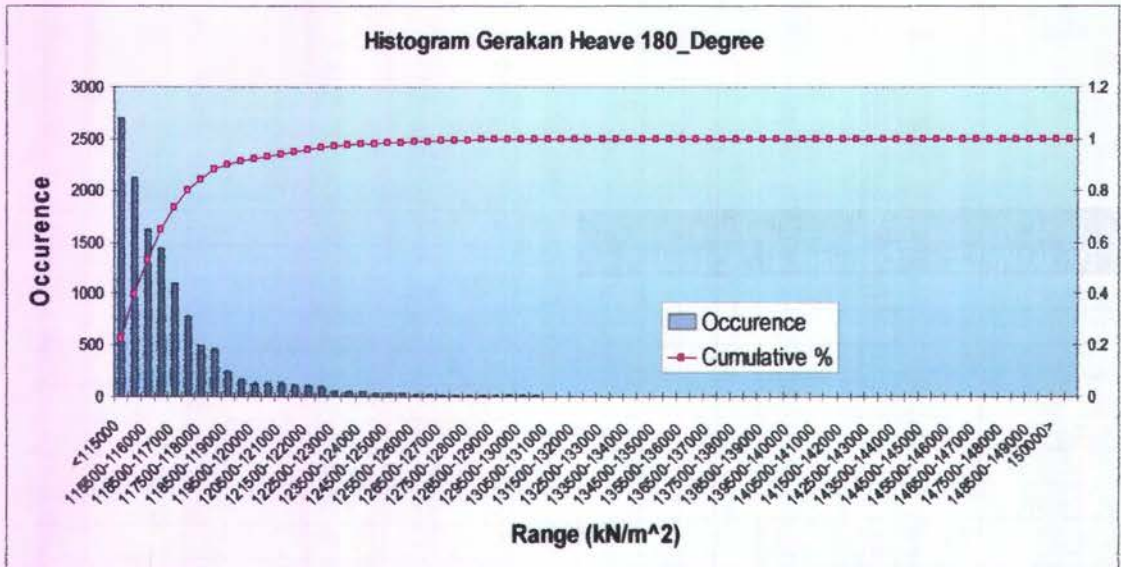
Table 4.2. Kejadian Tegangan Bending Max Arah 180^0 Gerakan Heave

Bin (kN/m ²)	Occurence	Cumulative
<115000	0	0.00%
115000-115500	0	0.00%
115500-116000	0	0.00%
116000-116500	0	0.00%
116500-117000	0	0.00%
117000-117500	0	0.00%
117500-118000	0	0.00%
118000-118500	0	0.00%
118500-119000	0	0.00%
119000-119500	0	0.00%
119500-120000	0	0.00%
120000-120500	0	0.00%
120500-121000	0	0.00%
121000-121500	0	0.00%
121500-122000	0	0.00%
122000-122500	0	0.00%
122500-123000	0	0.00%
123000-123500	0	0.00%
123500-124000	0	0.00%
124000-124500	0	0.00%
124500-125000	0	0.00%
125000-125500	0	0.00%
125500-126000	0	0.00%
126000-126500	0	0.00%
126500-127000	0	0.00%
127000-127500	0	0.00%
127500-128000	0	0.00%
128000-128500	124	1.02%
128500-129000	121	2.01%
129000-129500	241	3.99%
129500-130000	163	5.33%
130000-130500	107	6.21%
130500-131000	494	10.26%
131000-131500	1091	19.22%
131500-132000	1617	32.50%
132000-132500	2703	54.69%
132500-133000	2116	72.06%
133000-133500	1442	83.90%
133500-134000	781	90.31%
134000-134500	457	94.06%
134500-135000	123	95.07%
135000-135500	93	95.84%
135500-136000	17	95.98%
136000-136500	28	96.21%
136500-137000	25	96.41%
137000-137500	13	96.52%
137500-138000	10	96.60%
138000-138500	10	96.68%
138500-139000	48	97.08%

Analisa Hasil dan Pembahasan

139000-139500	51	97.50%
139500-140000	8	97.56%
140000-140500	7	97.62%
140500-141000	17	97.76%
141000-141500	42	98.10%
141500-142000	39	98.42%
142000-142500	30	98.67%
142500-143000	14	98.78%
143000-143500	109	99.68%
143500-144000	39	100.00%
144000-144500	0	100.00%
144500-145000	0	100.00%

145000-145500	0	100.00%
145500-146000	0	100.00%
146000-146500	0	100.00%
146500-147000	0	100.00%
147000-147500	0	100.00%
147500-148000	0	100.00%
148000-148500	0	100.00%
148500-149000	0	100.00%
149000-149500	0	100.00%
150000>	0	100.00%
jumlah	12180	



Gambar 4.8 Histogram Tegangan Bending Max Arah 180^o Gerakan Heave

Kemudian dilakukan penentuan distribusi dan test hipotesa yang sesuai dari histogram diatas dengan bantuan *software* Easyfit. Dengan menginputkan data frekuensi kejadian pada Easyfit, akan diperoleh jenis distribusi yang sesuai. Dari analisa terhadap histogram diatas diketahui bahwa distribusi yang sesuai adalah Lognormal. Ini sesuai dengan penelitian hasil kesimpulan analisa statistik dari jurnal penelitian oleh Ragnar dan Torgeir (1998), bahwasanya metode distribusi untuk variasi tegangan yang terjadi dikarenakan gerakan kombinasi dan gerakan tunggal Lay Barge adalah distribusi Lognormal.

Berikutnya dilakukan tes hipotesa. Tes hipotesa ini mengacu pada tiga metode yaitu metode Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling dan Chi-Squared tes. Tes ini untuk menentukan layak tidaknya distribusi tersebut. Di bawah ini adalah tabel tes hipotesanya.

Table 4.3. Test Hipotesa Arah 180⁰ Gerakan Heave

Lognormal					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	32				
Statistic	0.12379				
α	0.2	0.15	0.1	0.05	0.01
Critical Value	0.18915	0.20153	0.21567	0.24042	0.28815
Reject?	No	No	No	No	No
Anderson-Darling					
Sample Size	32				
Statistic	0.62723				
α	0.2	0.15	0.1	0.05	0.01
Critical Value	1.3749	1.6024	1.9286	2.5018	3.9074
Reject?	No	No	No	No	No
Chi-Squared					
Deg. of freedom	3				
Statistic	3.406				
α	0.2	0.15	0.1	0.05	0.01
Critical Value	4.6416	5.317	6.2514	7.8147	11.345
Reject?	No	No	No	No	No

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa untuk ketiga metode dengan nilai statistic masing-masing dan pada taraf keberartian (α) 1 %, 5%, 10 %, 15 % dan 20 % tidak ada nilai kritis yang yang lebih kecil dari nilai statistic sehingga hipotesa tidak dapat tidak diterima atau hipotesa diterima untuk hipotesa distribusi lognormal.

Setelah mengetahui jenis distribusi yang sesuai, maka tahap berikutnya adalah mencari gerakan yang paling berpengaruh terhadap *max bending stress*. Deskripsi statistik ini menggambarkan parameter-parameter utama hasil analisa statistik. Berikut adalah tabel deskripsi statistik untuk arah 180⁰. Untuk arah yang lain dapat dilihat pada lampiran.

Table 4.4. Deskripsi Statistik Arah 180°

Item	Heave	Surge	Pitch	Kombinasi
Mean	132620.0845	132596.0544	131751.8473	131817.4312
Standard Error	18.96966915	17.87660758	46.65194888	50.33804795
Median	132402.7051	132378.5574	131164.0381	131222.2479
Standard Deviation	2093.550304	1972.916709	5148.650774	5555.459863
Kurtosis	11.25632812	14.76341115	-0.200563563	-0.252346396
Skewness	2.664553949	3.204479425	0.433463957	0.39848699
Range	15398.4881	15408.5755	29295.9571	31687.8229
Minimum	128161.9124	128144.3896	118162.826	116536.3012
Maximum	143560.4005	143552.9651	147458.7831	148224.1241
Sum	1615312629	1615019943	1604737501	1605536312
Count	12180	12180	12180	12180
Confidence Level(95.0%)	37.18356263	35.04098845	91.44522497	98.67056424
Jumlah kejadian / 3	4060	4060	4060	4060
Jumlah nilai tegangan 1/3 terbesar	545099533.5	543452445.6	558265653.6	560443500.6
Significant stress (kN/m ²)	134260.9688	133855.2822	137503.8556	138040.2711

Setelah didapat semua nilai significant stress untuk arah gelombang yang lain, kemudian di buat summary dari signifikan stress tersebut beserta besarnya prosentase dari nilai tegangan kombinasi. Di bawah ini akan disajikan tabel nilai tegangan bending.

Table 4.5. Nilai Tegangan Bending

Arah (o)	Heave (kN/m ²)		Surge (kN/m ²)		Pitch (kN/m ²)		Kombinasi (kN/m ²)	
0	134258.4938	97.19%	136155.6101	98.56%	136818.8726	99.04%	138146.678	100.0
90	138411.3361	99.62%	133915.7974	96.39%	134827.2984	97.04%	138934.4079	100.0
180	134260.9688	97.26%	133855.2822	96.97%	137503.8556	99.61%	138040.2711	100.0

Hasil tabel di atas menunjukkan bahwa gerakan tunggal yang paling berpengaruh, masing-masing adalah: heave arah 90°, surge arah 0°, pitch arah arah 180°, sedangkan untuk gerakan kombinasi arah 90°. Kemudian untuk setiap arah di rata-rata, dan bahwasanya gerakan pitch merupakan gerakan yang paling dominan mempengaruhi tegangan bending yakni dengan nilai rata-rata max bending sebesar 136384 kN/m² persentase rata-rata sebesar 98.56 %. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh W.V. Brewer dan D.A. Dixon (1969) bahwa gerakan pitch pada daerah overbend memberikan kontribusi terbesar penyebab terjadinya tegangan bending.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian mengenai tegangan pipa pada saat instalasi yang di akibatkan oleh gerakan laybarge dan kondisi pada lingkungan laut dengan kedalaman 70 m dengan diameter pipa 26 inchi, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Daerah kritis free span pipa terjadi pada daerah overbend yaitu pada titik 31.25 m dari ujung *stern laybarge* dengan nilai max bending stress rata-rata sebesar 136384 kN/m² untuk gerakan pitch, 135644 kN/m² untuk gerakan heave dan 134643 kN/m² surge.
2. Gerakan tunggal yang paling dominan berpengaruh terhadap tegangan bending yang terjadi pada pipa adalah gerakan pitch dengan rata-rata persentase sebesar 98.56 %, dan disusul dengan gerakan heave dengan rata-rata persentase 98.02 % dan gerakan surge dengan rata-rata persentase 97.30 % .

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan sebagai bahan masukan dan perlu mendapat perhatian lebih lanjut pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perlunya pertimbangan gerakan pitch pada saat instalasi dengan metode S-Lay, karena gerakan ini memiliki kontribusi terbesar penyebab kegagalan pipa. Untuk itu dibutuhkan kejelian dalam mengatur tension pada tensioner untuk mempertahankan bentuk pipa (*catenary shape*) agar tidak mengalami *buckling* dan *collapse* yang merupakan parameter utama penyebab kegagalan pipa pada saat instalasi.
2. Perlunya penelitian lebih lanjut mengenai penentuan sudut datang dan panjang *stinger*, guna meminimalkan *bending stress* yang terjadi pada daerah *overbend*.

DAFTAR PUSTAKA

- American Berau Shipping, Houston **ABS Rules for Building and Classing Mobile Offshore Drilling Units, 2001.**
- Bhattacharyya, R. (1972). **Dynamics of Marine Vehicles.** John Wileys & Sons, New York
- Bai, Y. (2003). **Pipeline and Risers.** Oxford : Elsevier Science
- Chakrabarti, S.K. (1987). **Hydrodynamics of Offshore Structure.** Computational Mechanics Publ, Berlin
- Djarmiko, E.B. (2003). **Dynamic Analysis. Kursus Singkat Offshore Struktur Design and Modelling.** Ocean Engineering Training Center, Surabaya
- Faltinsen, O.M. (1990). **Sea Loads on Ship and Offshore Structures.** Cambridge University Press, Cambridge
- Guo B., Song S., Chacko J., & Ghalambor A. (2005) **Offshore Pipeline .** Elsevier Inc
- Indiyono, P. (2004). **Hidrodinamika Bangunan Lepas Pantai.** Penerbit SIC, Surabaya
- Murdjito. (2003). **Conceptual Design and Offshore Structure. Kursus Singkat Offshore Struktur Design and Modelling.** Ocean Engineering Training Center, Surabaya
- Palmer, AC & Roger A King .2002. **Subsea Pipeline Engineering,** Pen Well Books, United Kingdom..
- Reddy, D. V. (1991). **Offshore Structures Volume II.** Krieger Publishing Company Malabar, Florida.
- Sutomo, J. **Hand Out Hidrodinamika II.** Jurusan Teknik Kelautan, Surabaya
- Soedjono, J. J, (1998). **Diktat Mata kuliah Konstruksi Bangunan Laut II.** Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya
- Tirant, L. P. & Meunier, J. (1990) **Anchoring Of Floating Structure.** Technip, Paris
- Trevor Jee Associates. 2004. **Offshore Pipeline Construction Volume 1**
- Wells, Tumbridge dan Kent. (2004). **Offshore Pipeline Construction Volume I Conceptual Design and Hydromechanics.** Trevor Jee Associates-England.
- Official site Saipem ; www.saipem.com



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LAMPIRAN I

INPUTAN MOSES

***inputan pada Moses V.07 untuk pemodelan Castoro II**

```
$@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
$
$      Pemodelan Lay Barge Castoro II
$
$@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
$
&dimen -save -dimen meters m-tons
&device -cecho y -mecho n -prim screen
&title Ship Modeling
&set demo = .false.
$
$$$$$$$$$$$
$ MACROS $
$$$$$$$$$$$
$
$
$***** macro for plotting
$
&set demo = .false.
&MACRO SUPLOT NAMES
&SELEC :N -SEL %NAMES
&IF %DEMO &THEN
&DEVICE -PRIMARY SCREEN
&SUBTITLE %SUBT
&PICT ISO -parent :N
&LOCAL DUM = &GET(YES/NO )
&IF &STRING(MATCH %DUM% YES) &THEN
&ENDIF
&SUBTITLE %SUBT
&PICT TOP
&LOCAL DUM = &GET(YES/NO )
&IF &STRING(MATCH %DUM% YES) &THEN
&ENDIF
&SUBTITLE %SUBT
&PICT BOW
&LOCAL DUM = &GET(YES/NO )
&IF &STRING(MATCH %DUM% YES) &THEN
&ENDIF
&SUBTITLE %SUBT
&PICT STARB
&LOCAL DUM = &GET(YES/NO )
&IF &STRING(MATCH %DUM% YES) &THEN
&ENDIF
&ELSE
&DEVICE -PRIMARY DEVICE
&SUBTITLE %SUBT
&PICT ISO -parent :N
&SUBTITLE %SUBT
&PICT TOP
&SUBTITLE %SUBT
&PICT BOW
&SUBTITLE %SUBT
&PICT STARB
&ENDIF
&ENDMACRO
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$
$ GENERATE $
$$$$$$$$$$$$$$$
$
&surface
$
$
block BARGE -location 0 0 0 0 0
plane      0.00      -cart      0.000      6.000 \
              1.875      6.000 \
```

			3.750	6.000 \
			5.625	6.000 \
			6.875	6.000 \
			8.750	6.000 \
			10.625	6.000 \
			12.500	6.000 \
			13.750	6.000 \
			15.417	6.000 \
			16.300	6.000 \
			16.300	6.980 \
			16.300	7.115 \
			16.300	7.250 \
			16.300	7.385 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	2.50	-cart	0.000	5.000 \
			1.875	5.000 \
			3.750	5.000 \
			5.625	5.000 \
			6.875	5.000 \
			8.750	5.000 \
			10.625	5.000 \
			12.500	5.000 \
			13.750	5.000 \
			15.417	5.000 \
			16.300	5.000 \
			16.300	5.980 \
			16.300	6.365 \
			16.300	6.750 \
			16.300	7.135 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	5.00	-cart	0.000	4.000 \
			1.875	4.000 \
			3.750	4.000 \
			5.625	4.000 \
			6.875	4.000 \
			8.750	4.000 \
			10.625	4.000 \
			12.500	4.000 \
			13.750	4.000 \
			15.417	4.000 \
			16.300	4.000 \
			16.300	4.980 \
			16.300	5.615 \
			16.300	6.250 \
			16.300	6.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	7.50	-cart	0.000	3.000 \
			1.875	3.000 \
			3.750	3.000 \
			5.625	3.000 \
			6.875	3.000 \
			8.750	3.000 \
			10.625	3.000 \
			12.500	3.000 \
			13.750	3.000 \
			15.417	3.000 \
			16.300	3.000 \
			16.300	3.980 \
			16.300	4.865 \
			16.300	5.750 \
			16.300	6.635 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	10.00	-cart	0.000	2.000 \
			1.875	2.000 \
			3.750	2.000 \
			5.625	2.000 \

			6.875	2.000 \
			8.750	2.000 \
			10.625	2.000 \
			12.500	2.000 \
			13.750	2.000 \
			15.417	2.000 \
			16.300	2.000 \
			16.300	2.980 \
			16.300	4.115 \
			16.300	5.250 \
			16.300	6.385 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000 \
plane	12.50	-cart	0.000	1.000 \
			1.875	1.000 \
			3.750	1.000 \
			5.625	1.000 \
			6.875	1.000 \
			8.750	1.000 \
			10.625	1.000 \
			12.500	1.000 \
			13.750	1.000 \
			15.417	1.000 \
			16.300	1.000 \
			16.300	1.980 \
			16.300	3.365 \
			16.300	4.750 \
			16.300	6.135 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000 \
plane	15.00	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000 \
plane	17.500	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000 \
plane	20.000	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \

			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	22.500	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	25.000	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	27.500	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	30.000	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \

			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000 \
plane	32.500	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000 \
plane	35.000	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000 \
plane	37.500	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000 \
plane	40.000	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \

			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	42.500	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	45.000	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	47.500	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	50.000	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \

			16.300	2.615 \	
			16.300	4.250 \	
			16.300	5.885 \	
			16.300	7.520 \	
			16.300	9.000	
plane	52.500	-cart	0.000	0.000	\
			1.875	0.000 \	
			3.750	0.000 \	
			5.625	0.000 \	
			6.875	0.000 \	
			8.750	0.000 \	
			10.625	0.000 \	
			12.500	0.000 \	
			13.750	0.000 \	
			15.417	0.000 \	
			16.300	0.000 \	
			16.300	0.980 \	
			16.300	2.615 \	
			16.300	4.250 \	
			16.300	5.885 \	
			16.300	7.520 \	
			16.300	9.000	
plane	55.000	-cart	0.000	0.000	\
			1.875	0.000 \	
			3.750	0.000 \	
			5.625	0.000 \	
			6.875	0.000 \	
			8.750	0.000 \	
			10.625	0.000 \	
			12.500	0.000 \	
			13.750	0.000 \	
			15.417	0.000 \	
			16.300	0.000 \	
			16.300	0.980 \	
			16.300	2.615 \	
			16.300	4.250 \	
			16.300	5.885 \	
			16.300	7.520 \	
			16.300	9.000	
plane	57.500	-cart	0.000	0.000	\
			1.875	0.000 \	
			3.750	0.000 \	
			5.625	0.000 \	
			6.875	0.000 \	
			8.750	0.000 \	
			10.625	0.000 \	
			12.500	0.000 \	
			13.750	0.000 \	
			15.417	0.000 \	
			16.300	0.000 \	
			16.300	0.980 \	
			16.300	2.615 \	
			16.300	4.250 \	
			16.300	5.885 \	
			16.300	7.520 \	
			16.300	9.000	
plane	60.000	-cart	0.000	0.000	\
			1.875	0.000 \	
			3.750	0.000 \	
			5.625	0.000 \	
			6.875	0.000 \	
			8.750	0.000 \	
			10.625	0.000 \	
			12.500	0.000 \	
			13.750	0.000 \	
			15.417	0.000 \	
			16.300	0.000 \	
			16.300	0.980 \	
			16.300	2.615 \	
			16.300	4.250 \	



			16.300	5.885 \	
			16.300	7.520 \	
			16.300	9.000	
plane	62.500	-cart	0.000	0.000 \	
			1.875	0.000 \	
			3.750	0.000 \	
			5.625	0.000 \	
			6.875	0.000 \	
			8.750	0.000 \	
			10.625	0.000 \	
			12.500	0.000 \	
			13.750	0.000 \	
			15.417	0.000 \	
			16.300	0.000 \	
			16.300	0.980 \	
			16.300	2.615 \	
			16.300	4.250 \	
			16.300	5.885 \	
			16.300	7.520 \	
			16.300	9.000	
plane	65.000	-cart	0.000	0.000 \	
			1.875	0.000 \	
			3.750	0.000 \	
			5.625	0.000 \	
			6.875	0.000 \	
			8.750	0.000 \	
			10.625	0.000 \	
			12.500	0.000 \	
			13.750	0.000 \	
			15.417	0.000 \	
			16.300	0.000 \	
			16.300	0.980 \	
			16.300	2.615 \	
			16.300	4.250 \	
			16.300	5.885 \	
			16.300	7.520 \	
			16.300	9.000	
plane	67.500	-cart	0.000	0.000 \	
			1.875	0.000 \	
			3.750	0.000 \	
			5.625	0.000 \	
			6.875	0.000 \	
			8.750	0.000 \	
			10.625	0.000 \	
			12.500	0.000 \	
			13.750	0.000 \	
			15.417	0.000 \	
			16.300	0.000 \	
			16.300	0.980 \	
			16.300	2.615 \	
			16.300	4.250 \	
			16.300	5.885 \	
			16.300	7.520 \	
			16.300	9.000	
plane	70.000	-cart	0.000	0.000 \	
			1.875	0.000 \	
			3.750	0.000 \	
			5.625	0.000 \	
			6.875	0.000 \	
			8.750	0.000 \	
			10.625	0.000 \	
			12.500	0.000 \	
			13.750	0.000 \	
			15.417	0.000 \	
			16.300	0.000 \	
			16.300	0.980 \	
			16.300	2.615 \	
			16.300	4.250 \	
			16.300	5.885 \	
			16.300	7.520 \	

plane	72.500	-cart	16.300	9.000	\
			0.000	0.000	
			1.875	0.000	
			3.750	0.000	
			5.625	0.000	
			6.875	0.000	
			8.750	0.000	
			10.625	0.000	
			12.500	0.000	
			13.750	0.000	
			15.417	0.000	
			16.300	0.000	
			16.300	0.980	
			16.300	2.615	
			16.300	4.250	
			16.300	5.885	
16.300	7.520				
16.300	9.000				
plane	75.000	-cart	0.000	0.000	\
			1.875	0.000	
			3.750	0.000	
			5.625	0.000	
			6.875	0.000	
			8.750	0.000	
			10.625	0.000	
			12.500	0.000	
			13.750	0.000	
			15.417	0.000	
			16.300	0.000	
			16.300	0.980	
			16.300	2.615	
			16.300	4.250	
			16.300	5.885	
			16.300	7.520	
16.300	9.000				
plane	77.500	-cart	0.000	0.000	\
			1.875	0.000	
			3.750	0.000	
			5.625	0.000	
			6.875	0.000	
			8.750	0.000	
			10.625	0.000	
			12.500	0.000	
			13.750	0.000	
			15.417	0.000	
			16.300	0.000	
			16.300	0.980	
			16.300	2.615	
			16.300	4.250	
			16.300	5.885	
			16.300	7.520	
16.300	9.000				
plane	80.000	-cart	0.000	0.000	\
			1.875	0.000	
			3.750	0.000	
			5.625	0.000	
			6.875	0.000	
			8.750	0.000	
			10.625	0.000	
			12.500	0.000	
			13.750	0.000	
			15.417	0.000	
			16.300	0.000	
			16.300	0.980	
			16.300	2.615	
			16.300	4.250	
			16.300	5.885	
			16.300	7.520	
16.300	9.000				
plane	82.500	-cart	0.000	0.000	\
			0.000	0.000	

			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000 \
plane	85.000	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000 \
plane	87.500	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000 \
plane	90.000	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000 \
plane	92.500	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \

			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000 \
plane	95.000	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000 \
plane	97.500	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000 \
plane	100.000	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000 \
plane	102.500	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \

			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	105.000	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	107.500	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	110.000	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	112.500	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \

			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	115.000	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	117.500	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	120.000	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	122.500	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \

			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	125.000	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	127.500	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	130.000	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \
			16.300	0.980 \
			16.300	2.615 \
			16.300	4.250 \
			16.300	5.885 \
			16.300	7.520 \
			16.300	9.000
plane	132.500	-cart	0.000	0.000 \
			1.875	0.000 \
			3.750	0.000 \
			5.625	0.000 \
			6.875	0.000 \
			8.750	0.000 \
			10.625	0.000 \
			12.500	0.000 \
			13.750	0.000 \
			15.417	0.000 \
			16.300	0.000 \

```

16.300 0.980 \
16.300 2.615 \
16.300 4.250 \
16.300 5.885 \
16.300 7.520 \
16.300 9.000 \
plane 135.000 -cart 0.000 0.000 \
1.875 0.000 \
3.750 0.000 \
5.625 0.000 \
6.875 0.000 \
8.750 0.000 \
10.625 0.000 \
12.500 0.000 \
13.750 0.000 \
15.417 0.000 \
16.300 0.000 \
16.300 0.980 \
16.300 2.615 \
16.300 4.250 \
16.300 5.885 \
16.300 7.520 \
16.300 9.000
end
&set sub = BARGE
subplot BARGE
$
$
rename KAPAL
&set sub = BARGE
emit BARGE -body BARGE
emit BARGE -piece ' -diftyp 3ddif'
$
$$$$$$$$
$ FINISH $
$$$$$$$$
$
&dimen -remember
end
&finish

```

*berikut ini adalah inputan pada Moses V.06 untuk mencari RAO dan drif force pada Castoro II

```

$@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
$
$ Response Amplitude Operators and Wave Drift Force
$
$@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
$
$*****set basic parameter
$
&dimen -DIMEN meters m-tons
&device -oecho no -query no -primary device -auxin cast_135.ppo
&TITLE Response Amplitude Operators and Wave Drift Force
$
$***** read model
$

```

```

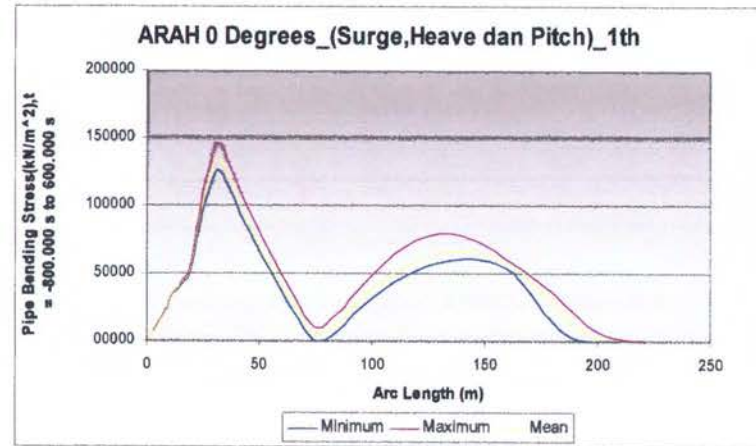
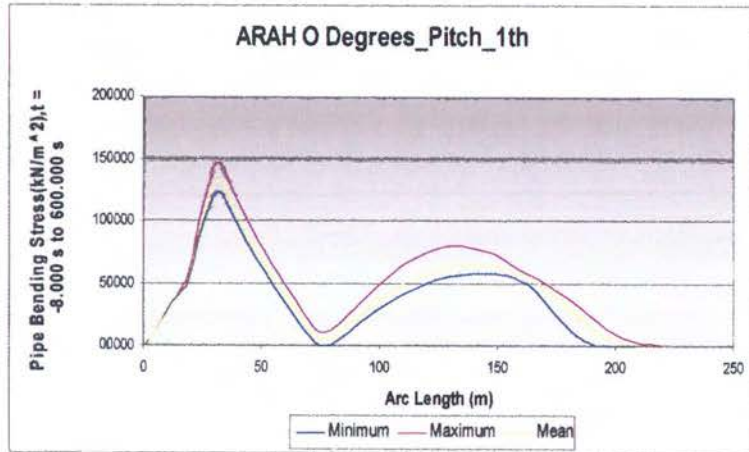
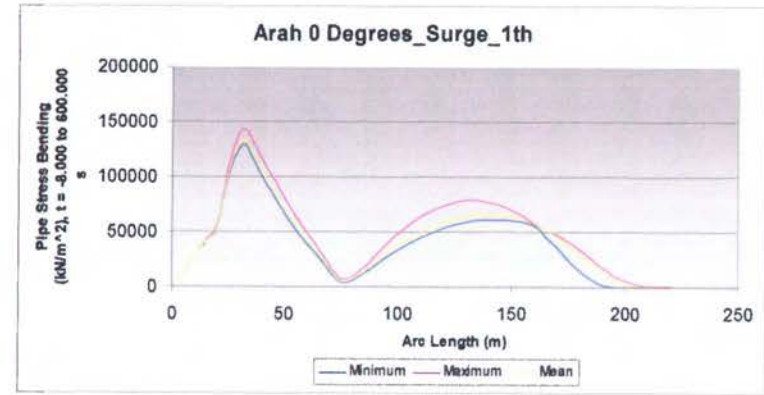
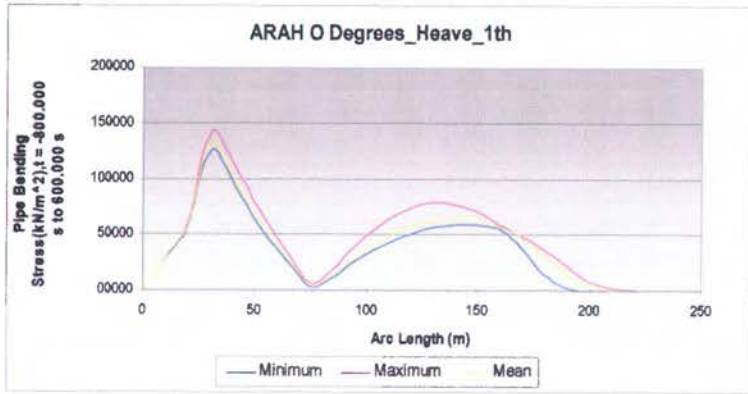
INMODEL
$
$***** set condition
$
&INSTATE -CONDITION 5.5
&WEIGHT -COMPUTE 6.06 0.32*32.6 0.29*135 0.29*135
&EQUI -ITER_MAX 100
&STATUS B_W -HARD
$
$***** hydrodynamic
$
hydrodynamics
  g_pressure cast_11 -heading 0 -wave_run yes\
    -period 30.0 29.5 29.0 28.5 28.0 27.5 27.0 26.5 \
      26.0 25.5 25.0 24.5 24.0 23.5 23.0 22.5 22.0 21.5 \
      21.0 20.5 20.0 19.5 19.0 18.5 18.0 17.5 \
      17.0 16.5 16.0 15.5 15.0 14.5 14.0 13.5 \
      13.0 12.5 12.0 11.5 11.0 10.5 10.0 9.5 \
      9.0 8.5 8.0 7.5 7.0 6.5 6.0 5.5 5.0 4.5 \
      4.0 3.5 3.0
  v_mdrift
    report
  end
end
$
&env Itahun -sea JONSWAP 0 1.7 6.3 2.5 -wind 14.7 0 -current 0.7 0 -depth 70
$***** frequency analysis
$
freq_resp
  rao
  fr_point &body(cg BARGE)
  report
  end
end
FREQ_RESP
  RAO -period 6.0
  FR_POINT &BODY(CG BARGE)
  REPORT
  END
  st_point
  report
  end
  matrices -file yes
  report
  end
end
$
$***** all done
$
&FINISH

```

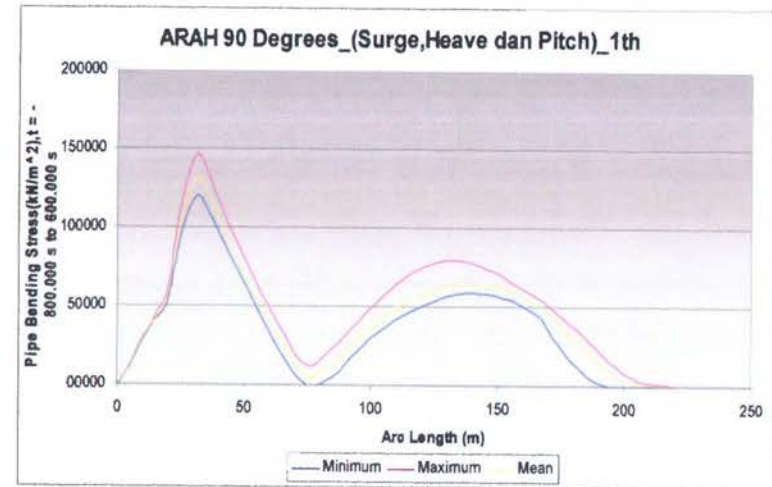
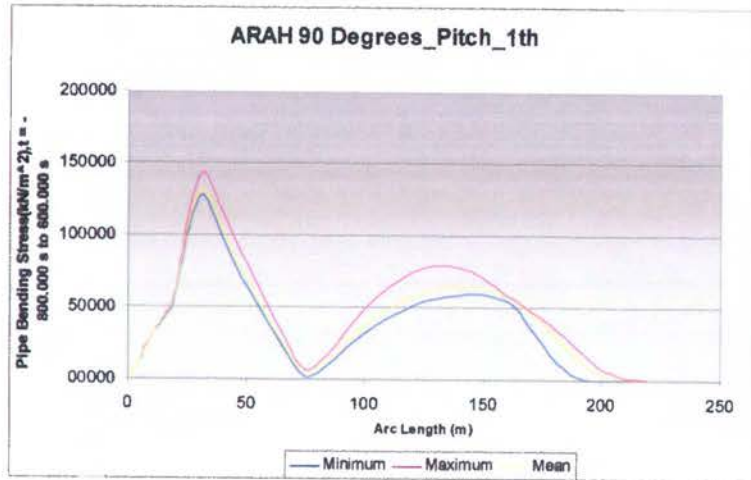
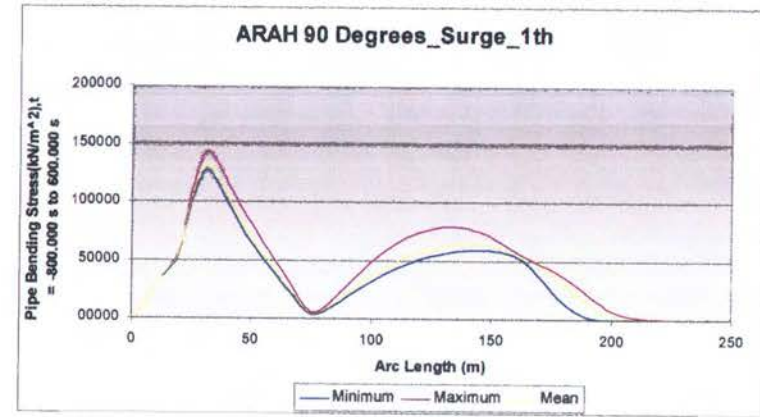
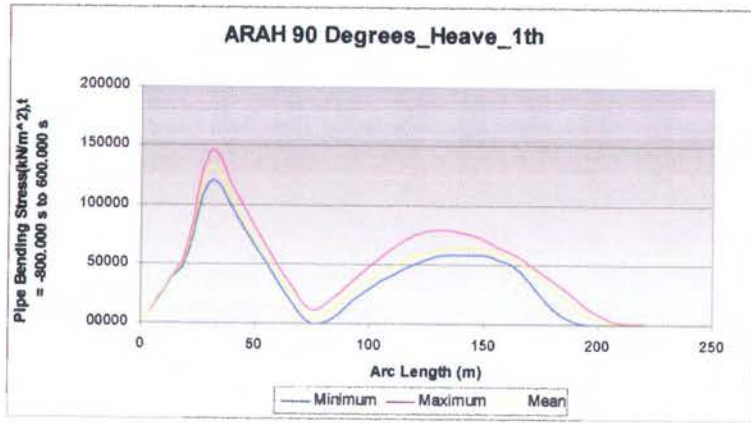



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

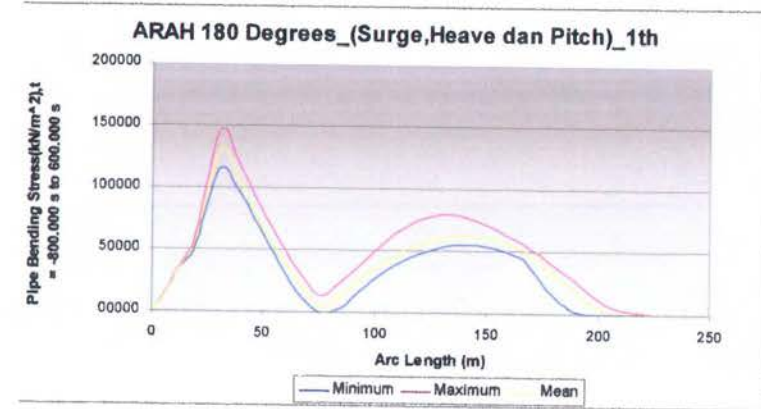
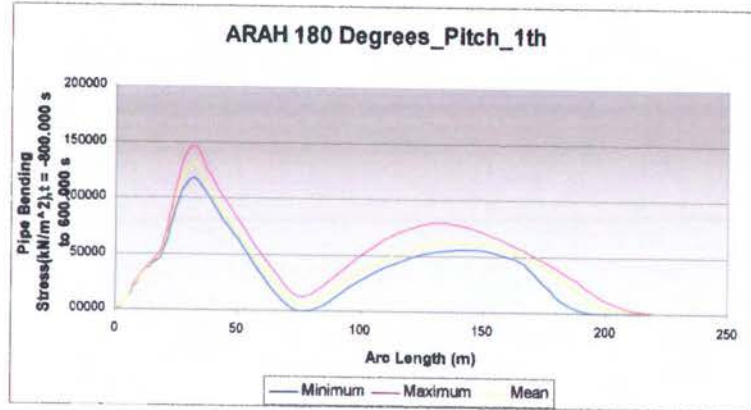
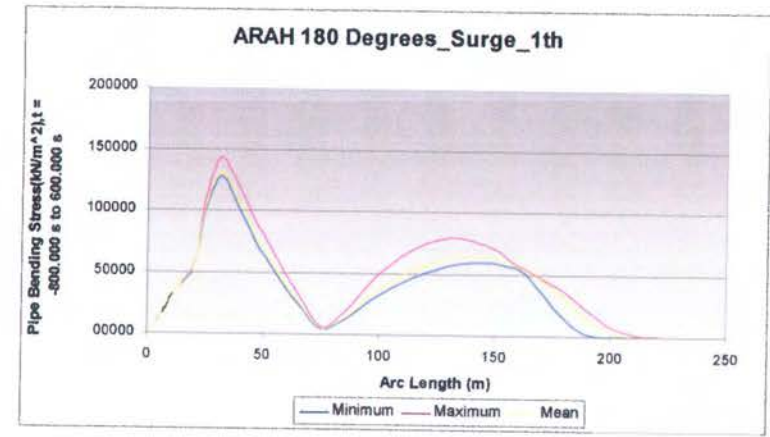
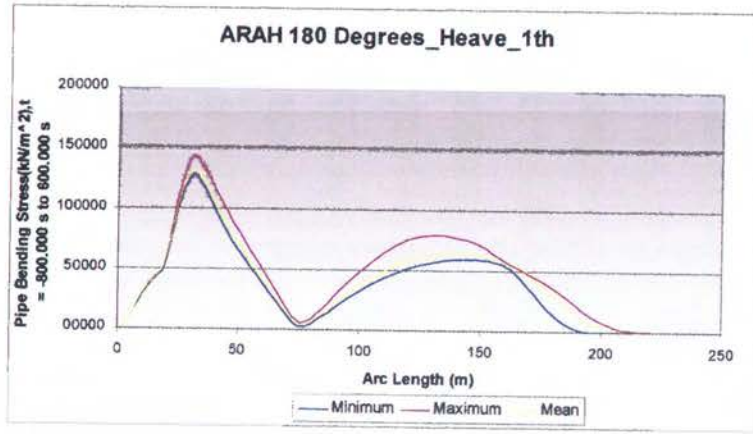
LAMPIRAN II
GRAFIK HASIL
ORCAFLEX



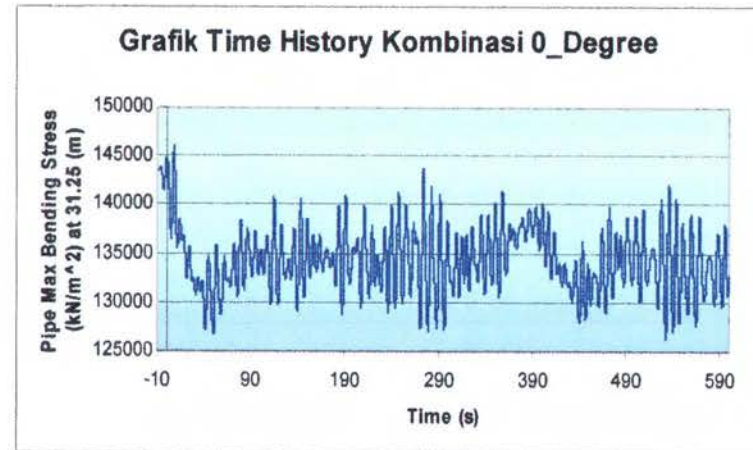
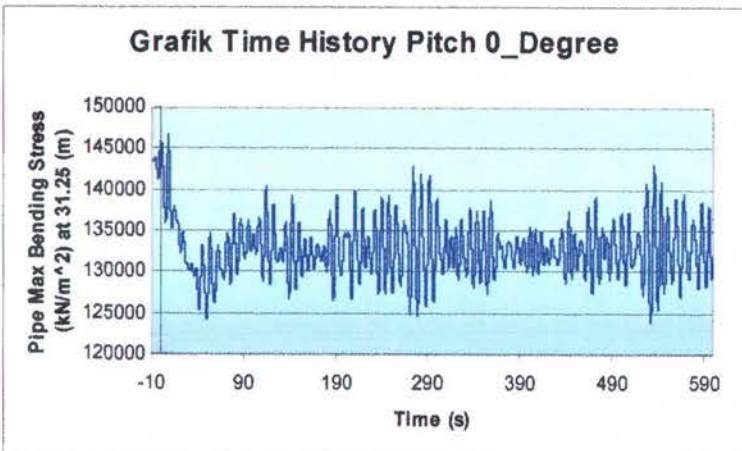
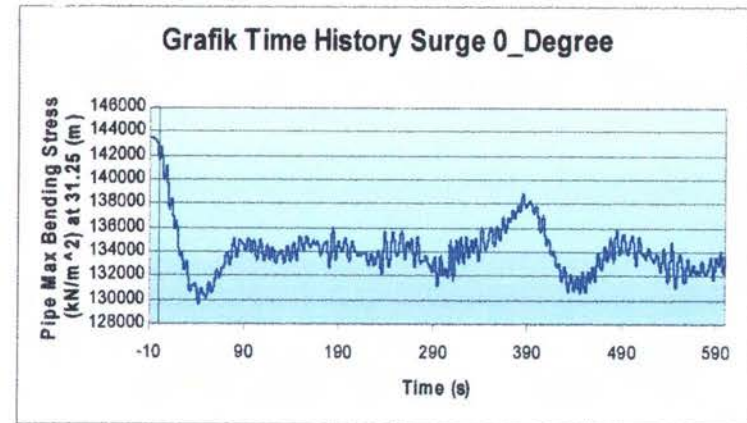
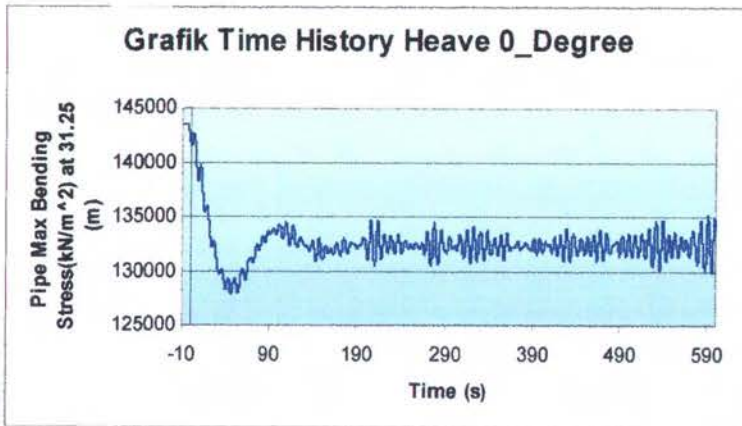
Gambar 5.1. Grafik max bending stress terhadap arc length arah 0^0



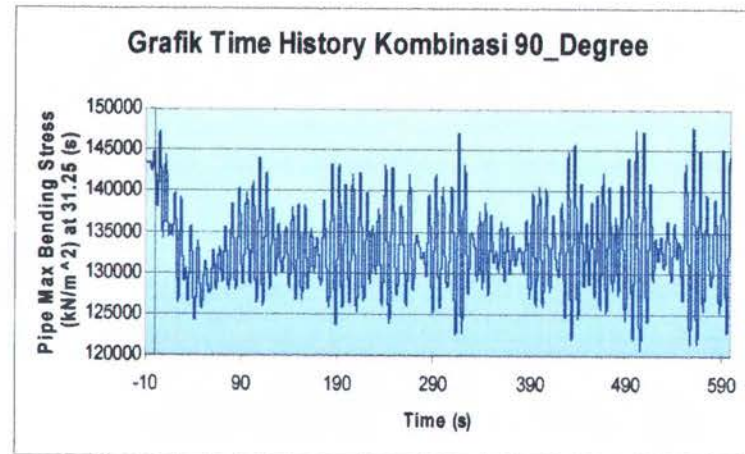
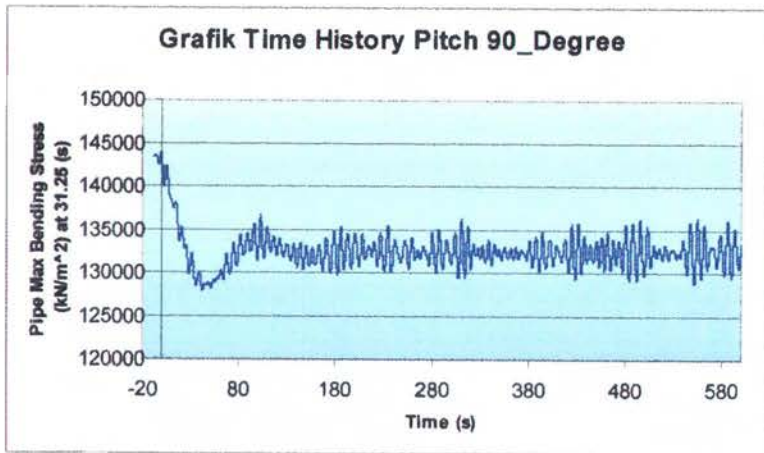
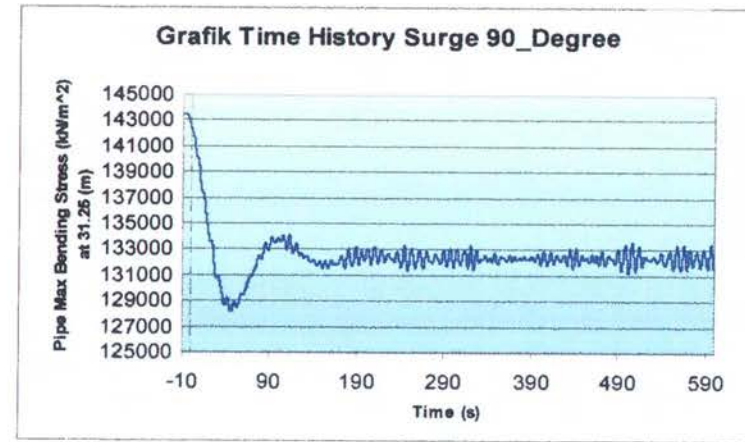
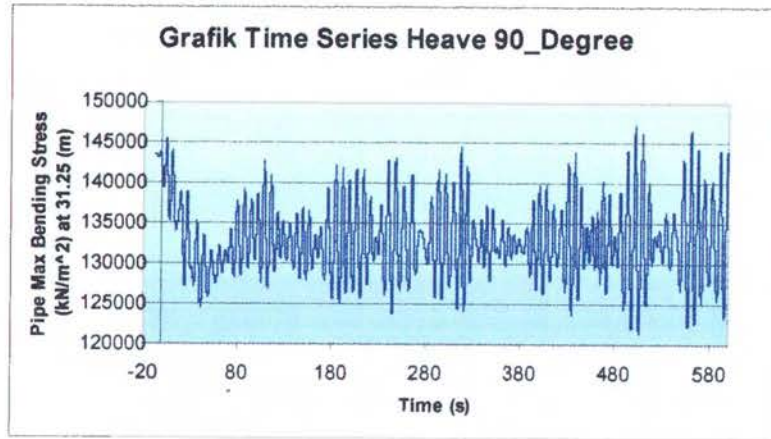
Gambar 5.2. Grafik max bending stress terhadap arc length arah 90⁰



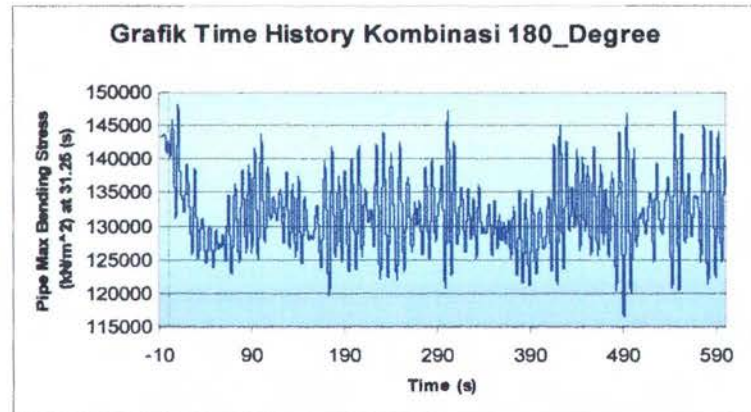
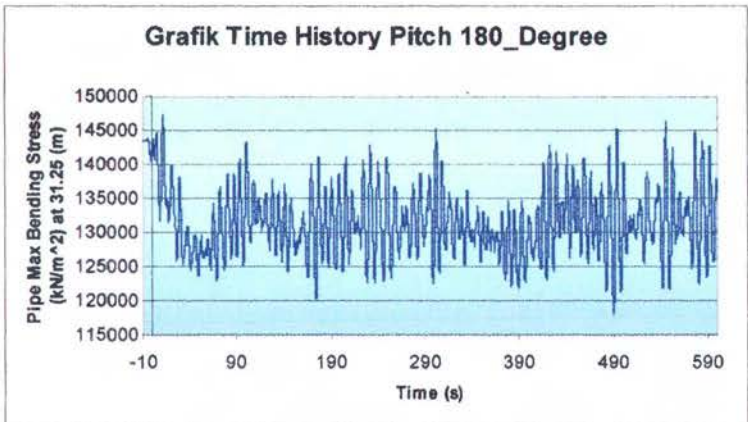
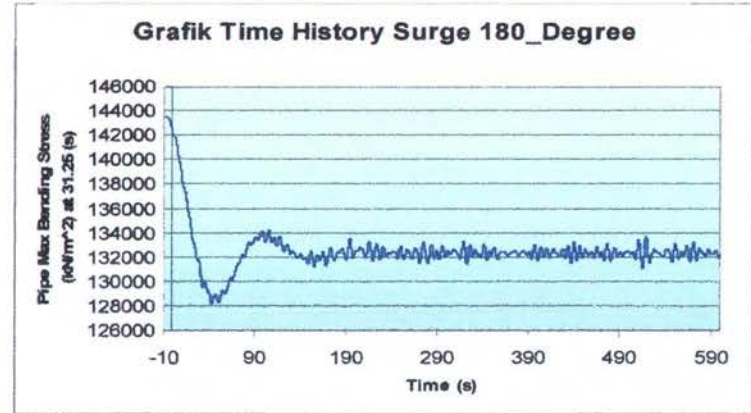
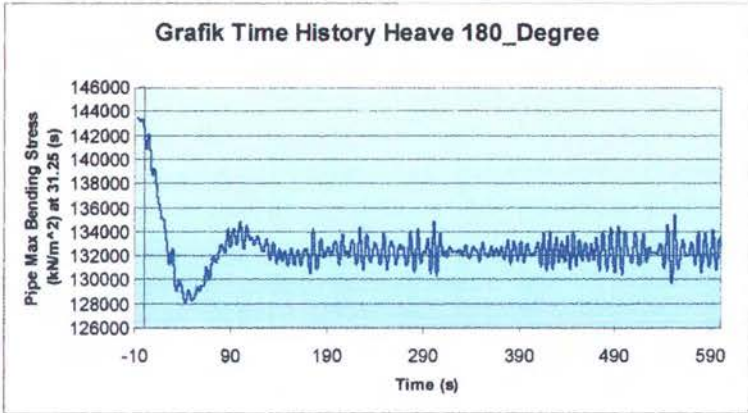
Gambar 5.3. Grafik max bending stress terhadap arc length arah 180^o



Gambar 5.4. Grafik time history arah 0°



Gambar 5.5. Grafik time history arah 90^0



Gambar 5.6. Grafik time history arah 180⁰



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LAMPIRAN III
KONFIGURASI PIPA
DAN MOORING

Konfigurasi Pipa

Data

diameter pipa (D)	0.660	m	26	in
wall thickness (t)	0.0275	m	1.083	in
water depth (d)	70	m	229.6	ft
applied tension (T)	300	KN	67	kips
water density(ρ_{seawater})	1025	kg/m ³	64	lb/ft ³
steel density(ρ_{steel})	7850	kg/m ³	490	lb/ft ³
young modulus (E)	2.07E+11	N/m ²	3000	KSI

Perhitungan :

- Cross sectional of steel

$$A_{\text{steel}} = \frac{\pi}{4} (D^2 - (D - 2t)^2)$$

$$A_{\text{steel}} = 0.054651 \text{ m}^2$$

- Cross sectional of displaced water

$$A_{\text{water}} = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$A_{\text{water}} = 0.342361 \text{ m}^2$$

- Submerged weight of pipe

$$w = (A_{\text{steel}} \cdot \rho_{\text{steel}} - A_{\text{water}} \cdot \rho_{\text{water}}) \cdot g$$

$$w = 766.0555 \text{ N/m}$$

$$= 0.7660555 \text{ kN/m}$$

- Horizontal component of tension

$$H = T - wd$$

$$H = 246.376 \text{ kN}$$

- Pipe span length

$$s = \frac{H}{w} \tan \alpha$$

$$s = 223.44198 \text{ m}$$

$$s = 224 \text{ m (dibulatkan ke atas)}$$

- Length to Touchdown

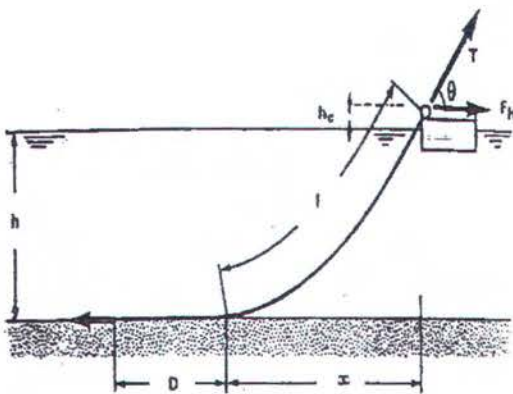
$$X_s = \frac{H}{w} \sinh^{-1}(\tan \alpha)$$

$$X_s = 208.52248 \text{ m}$$

Konfigurasi Mooring

Data

Diameter wire rope	44	mm
Submerged weight	101.7	N/m
Beban horizontal:	46.5648	kN
$H=hc+hm$	73.5	m



- Penentuan panjang mooring :

$$\frac{l}{h} = \sqrt{\frac{2F_H}{ph} + 1}$$

Berdasarkan grafik fig. 31c (Design of Anchoring Line , 1990) :

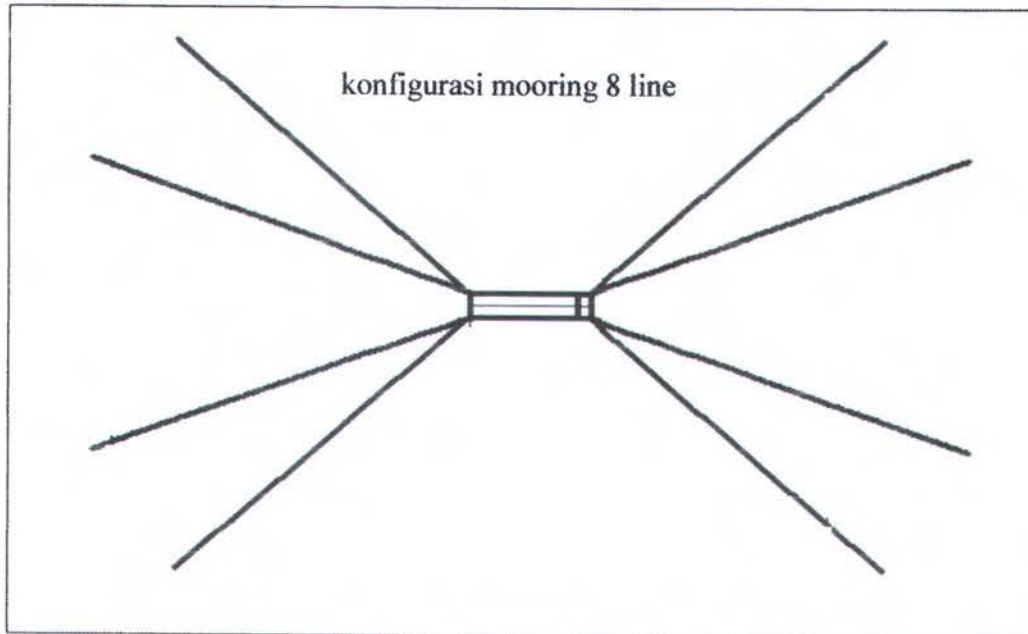
$$l/h = 3.67$$

$$l-x/h = 0.19$$

sehingga panjang mooring = 3.67×73.5
= 269.58

Setelah di tambah safety length 200 m maka;

Panjang total mooring adalah 469.58 m.





ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LAMPIRAN IV

ANALISA STATISTIK

Tabel 5.1. Summary analisa statistik arah 0°

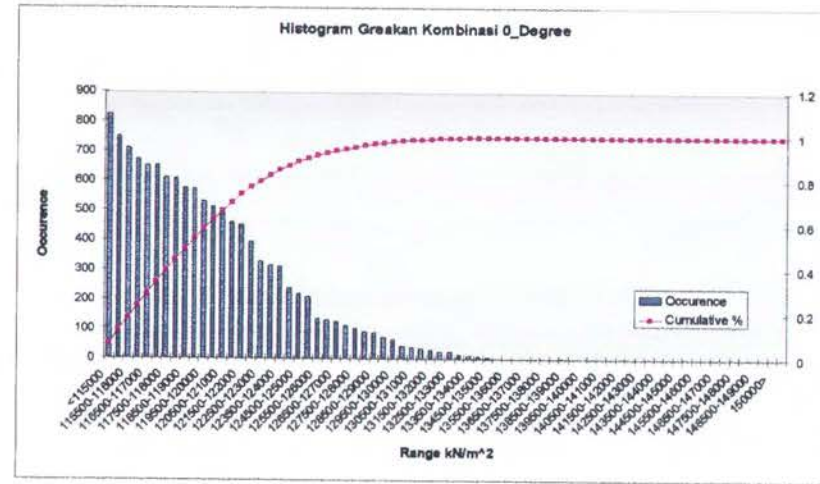
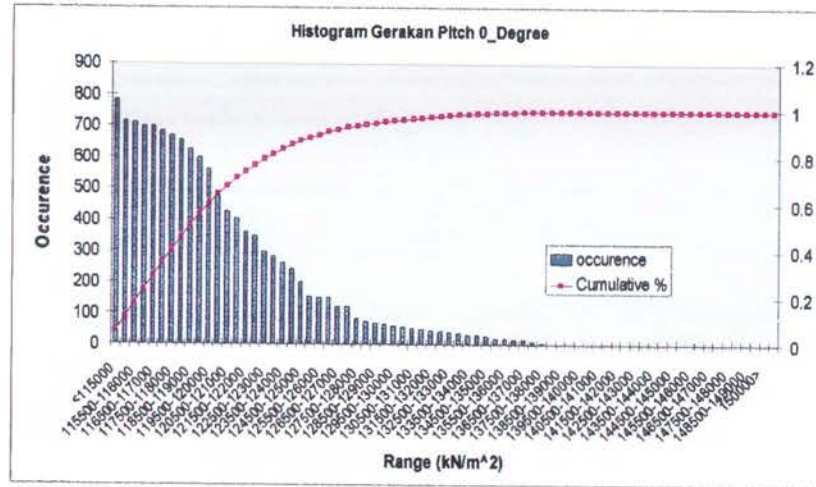
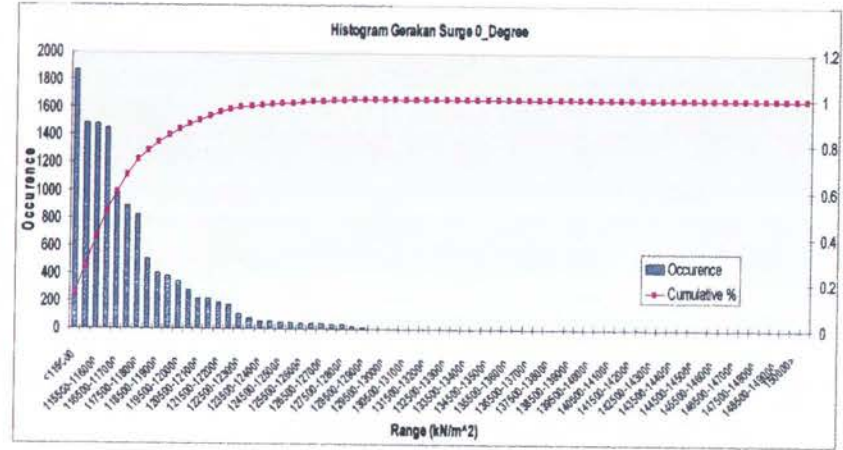
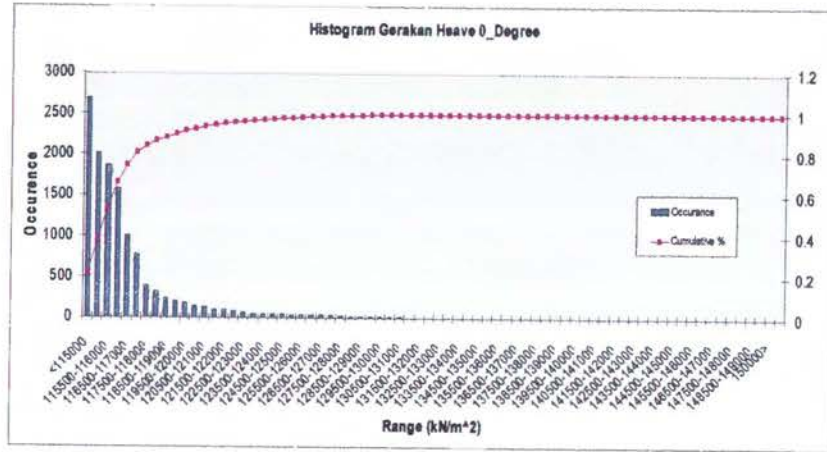
Arah 0 derajat	Heave		Surge		Pitch		Kombinasi	
	Data OrcaFlex (kN/m ²)	Data Occurrence	Data OrcaFlex(kN/m ²)	Data Occurrence	Data OrcaFlex(kN/m ²)	Data Occurrence	Data OrcaFlex(kN/m ²)	Data Occurrence
Mean Value	132618.4829	369.09	134147.1	420	132981.31	259.15	134473.34	297.07
Standard Deviasi	2098.704503	678.03	2139.3467	540.85	3605.7655	260.96	3387.5562	259.63
Distribusi	Lognormal		Lognormal		Lognormal		Weibull	
Parameter Distribusi	$\sigma=1.7705 \square \square \mu=4.4238$		$\sigma=1.5548 \square \square \mu=5.0534$		$\sigma=1.4084 \square \square \mu=4.8071$		$\alpha=0.80251 \square \square \beta=286.37$	
Tegangan Bending Significant (kN/m ²)	134258.4938		136155.6101		136818.8726		138146.678	
	97.19%		98.56%		99.04%		100%	

Tabel 5.2. Summary analisa statistik arah 90°

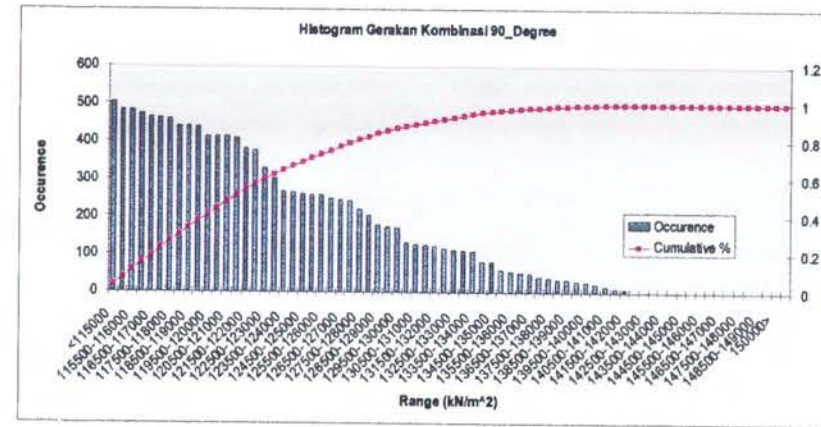
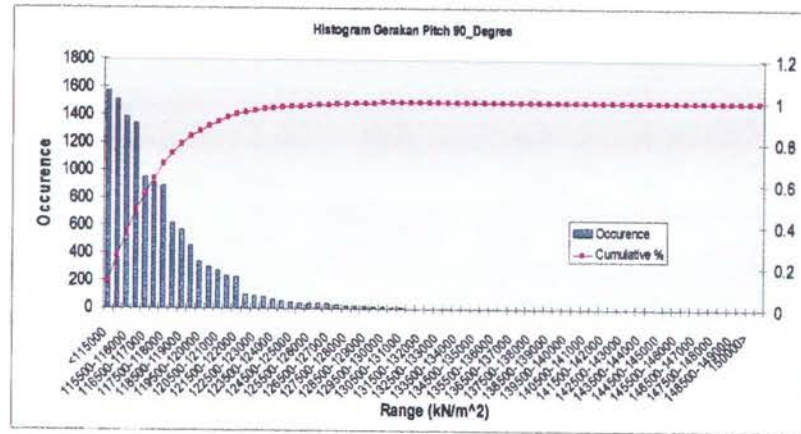
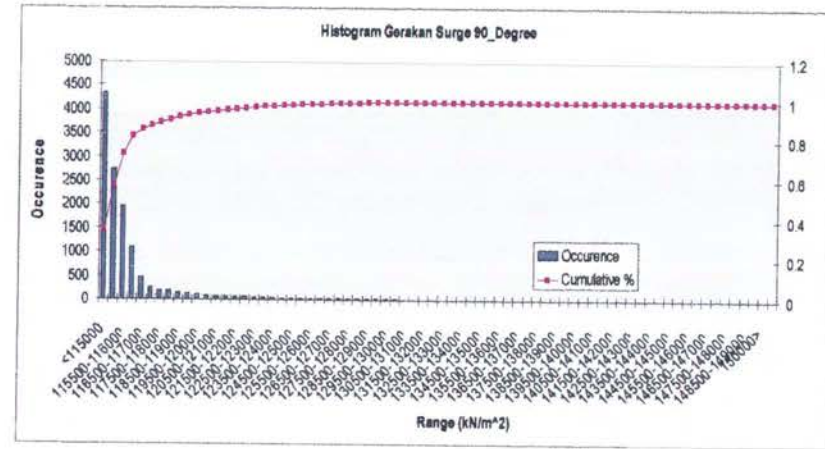
Arah 90 derajat	Heave		Surge		Pitch		Kombinasi	
	Data OrcaFlex (kN/m ²)	Data Occurrence	Data OrcaFlex(kN/m ²)	Data Occurrence	Data OrcaFlex(kN/m ²)	Data Occurrence	Data OrcaFlex(kN/m ²)	Data Occurrence
Mean Value	133119.4	229.81	132602.3	380.63	132677.2	369.09	133182.1	221.45
Standard Deviasi	4737.77	184.47	1981.857	928.52	2343.301	490.93	5123.004	163.66
Distribusi	Weibull		Lognormal		Lognormal		Weibull	
Parameter Distribusi	$\alpha=0.91476 \square \square \beta=237.69$		$\sigma=2.2928 \square \square \mu=3.6438 \square \square \gamma=10.909$		$\sigma=1.9839 \square \square \mu=4.5504 \square \square \gamma=5.4076$		$\alpha=1.0359 \square \square \beta=236.28$	
Tegangan Bending Significant (kN/m ²)	138411.3361		133915.7974		134827.2984		138934.4079	
	99.62%		96.39%		97.04%		100%	

Tabel 5.3. Summary analisa statistik arah 180⁰

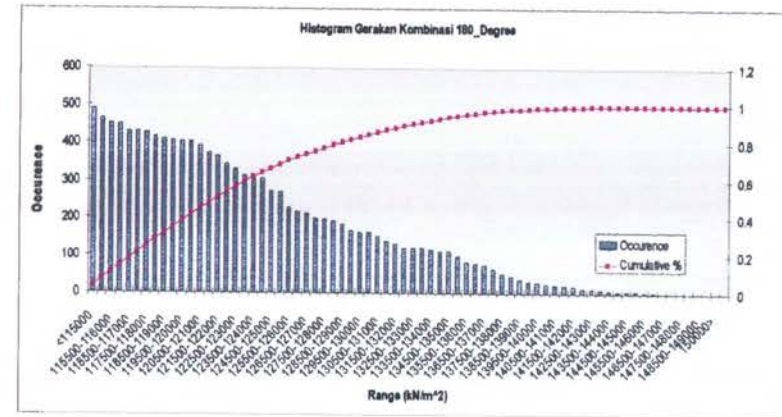
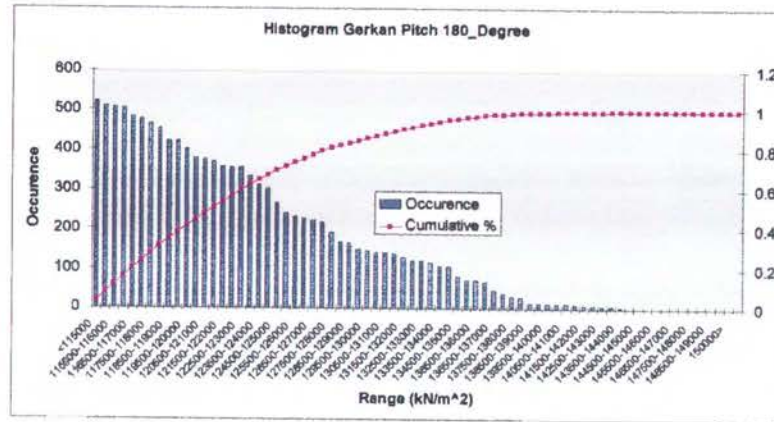
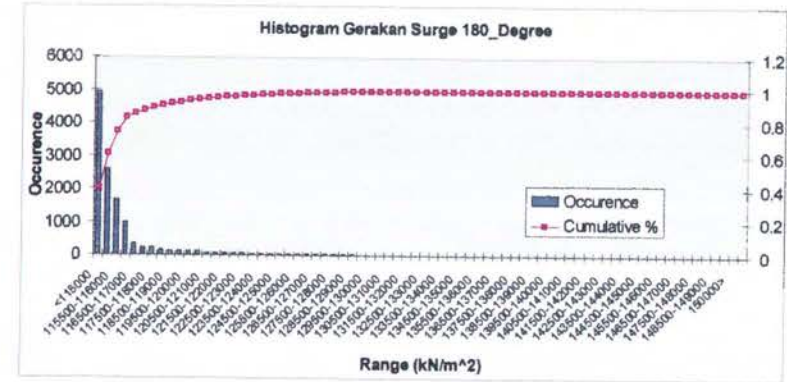
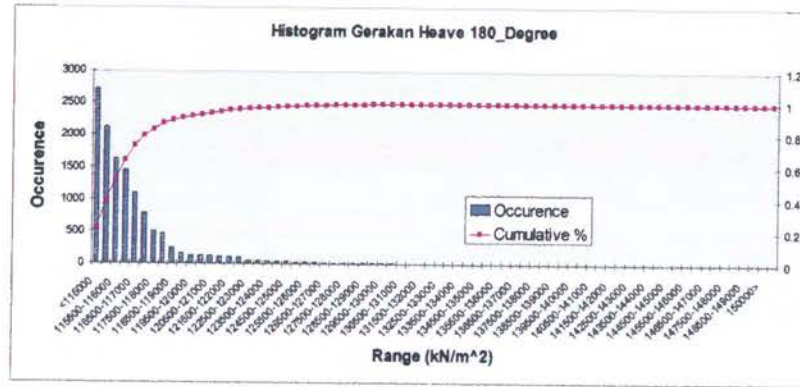
Arah 180 derajat	Heave		Surge		Pitch		Kombinasi	
	Data OrcaFlex (kN/m2)	Data Occurrence	Data OrcaFlex(kN/m2)	Data Occurrence	Data OrcaFlex(kN/m2)	Data Occurrence	Data OrcaFlex(kN/m2)	Data Occurrence
Mean Value	132620.1	380.63	132596.05	380.63	131751.85	206.44	131817.43	190.31
Standard Deviasi	2093.55	678.47	1972.9167	988.68	5148.6508	169.16	5555.4599	156.4
Distribusi	Lognormal		Lognormal		Weibull		Weibull	
Parameter Distribusi	$\sigma=2.2819$ $\mu=4.0804$ $\gamma=6.8585$		$\sigma=1.5539$ $\mu=4.2982$		$\alpha=0.79846$ $\beta=210.8$		$\alpha=0.78255$ $\beta=193.71$	
Tegangan Bending Significant (kN/m2)	134260.9688		133855.2822		137503.8556		138040.2711	
	97.26%		96.97%		99.61%		100%	



Gambar 5.7. Histogram arah 0°



Gambar 5.8. Histogram arah 90^0



Gambar 5.9. Histogram arah 180⁰

Tabel 5.4. Deskripsi statistik

Descriptive Statistic Arah 0 Derajat

Item	Heave	Surge	Pitch	Kombinasi
Mean	132618.4829	134147.0992	132981.3113	134473.3386
Standard Error	19.01637138	19.38463065	32.6718581	30.6946625
Median	132389.4816	133899.9363	132653.9682	134174.9601
Mode	133156.99	#N/A	#N/A	#N/A
Standard Deviation	2098.704503	2139.346715	3605.765494	3387.556182
Sample Variance	4404560.592	4576804.368	13001544.79	11475536.89
Kurtosis	11.37543939	4.569797774	0.906654468	0.085323521
Skewness	2.680089677	1.591619382	0.649460894	0.365842087
Range	15652.1459	13802.3862	22729.1038	19919.6832
Minimum	127901.0801	129750.8594	123958.3314	126250.4165
Maximum	143553.226	143553.2456	146687.4352	146170.0997
Sum	1615293122	1633911669	1619712372	1637885264
Count	12180	12180	12180	12180
Confidence Level(95.0%)	37.2751064	37.99695303	64.04202794	60.16641073
Jumlah kejadian / 3	4060	4060	4060	4060
Jumlah nilai tegangan 1/3 terbesar	545089484.8	552791776.9	555484622.9	560875512.7
Significant stress (kN/m ²)	134258.4938	136155.6101	136618.8726	138146.678

Descriptive Statistic Arah 90 Derajat

Item	Heave	Surge	Pitch	Kombinasi
Mean	133119.4487	132602.262	132677.1695	133182.1231
Standard Error	42.92895268	17.95761973	21.23266372	46.41956113
Median	132560.2856	132362.6734	132442.6321	132621.0024
Mode	#N/A	133255.4233	#N/A	#N/A
Standard Deviation	4737.769606	1981.857456	2343.301258	5123.003756
Sample Variance	22446460.84	3927758.977	5491060.784	26245167.49
Kurtosis	-0.210404817	14.51993168	6.453947989	-0.314654073
Skewness	0.414793004	3.169975454	1.888983782	0.373682302
Range	25900.1734	15337.7784	16037.39372	27178.1363
Minimum	121358.4849	128215.7485	127932.3575	120778.2223
Maximum	147258.6583	143553.5269	143969.7512	147956.3586
Sum	1621394885	1615095551	1616007925	1622158259
Count	12180	12180	12180	12180
Confidence Level(95.0%)	84.14756146	35.19978512	41.61939119	90.98970809
Jumlah kejadian / 3	4060	4060	4060	4060
Jumlah nilai tegangan 1/3 terbesar	561950024.7	543698137.5	547398831.3	564073696.2
Significant stress (kN/m ²)	138411.3361	138915.7974	134827.2984	138934.4079

Descriptive Statistic Arah 180 Derajat

Item	Heave	Surge	Pitch	Kombinasi
Mean	132620.0845	132596.0544	131751.8473	131817.4312
Standard Error	18.96966915	17.87660758	46.65194888	50.33804795
Median	132402.7051	132378.5574	131164.0381	131222.2479
Standard Deviation	2093.550304	1972.916709	5148.650774	5555.459863
Sample Variance	4382952.876	3892400.342	26508604.8	30863134.29
Kurtosis	11.25632812	14.76341115	-0.200563563	-0.252346396
Skewness	2.664553949	3.204479425	0.433463957	0.39848699
Range	15398.4881	15408.5755	29295.9571	31687.8229
Minimum	128161.9124	128144.3896	118162.826	116536.3012
Maximum	143560.4005	143552.9651	147458.7831	148224.1241
Sum	1615312629	1615019943	1604737501	1605536312
Count	12180	12180	12180	12180
Confidence Level(95.0%)	37.18356263	35.04098845	91.44522497	98.67056424
Jumlah kejadian / 3	4060	4060	4060	4060
Jumlah nilai tegangan 1/3 terbesar	545099533.5	543452445.6	558265653.6	560443500.6
Significant stress (kN/m ²)	134260.9688	133855.2822	137503.8556	138040.2711

Tabel 5.5. Kejadian tegangan bending arah θ^0

Range (kN/m ²)	Heave		Surge		Pitch		Kombinasi	
	Occurence	Cumulative %	Occurence	Cumulative %	Occurence	Cumulative %	Occurence	Cumulative %
<115000	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
115000-115500	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
115500-116000	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
116000-116500	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
116500-117000	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
117000-117500	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
117500-118000	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
118000-118500	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
118500-119000	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
119000-119500	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
119500-120000	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
120000-120500	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
120500-121000	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
121000-121500	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
121500-122000	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
122000-122500	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
122500-123000	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
123000-123500	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
123500-124000	0	0.00%	0	0.00%	4	0.03%	0	0.00%
124000-124500	0	0.00%	0	0.00%	28	0.26%	0	0.00%
124500-125000	0	0.00%	0	0.00%	43	0.62%	0	0.00%
125000-125500	0	0.00%	0	0.00%	39	0.94%	0	0.00%
125500-126000	0	0.00%	0	0.00%	68	1.49%	0	0.00%
126000-126500	0	0.00%	0	0.00%	81	2.16%	13	0.11%
126500-127000	0	0.00%	0	0.00%	121	3.15%	24	0.30%
127000-127500	0	0.00%	0	0.00%	149	4.38%	90	1.04%
127500-128000	33	0.27%	0	0.00%	198	6.00%	111	1.95%
128000-128500	126	1.31%	0	0.00%	239	7.96%	130	3.02%
128500-129000	98	2.11%	0	0.00%	345	10.80%	125	4.05%
129000-129500	178	3.57%	0	0.00%	475	14.70%	209	5.76%
129500-130000	137	4.70%	35	0.29%	561	19.30%	310	8.31%
130000-130500	229	6.58%	102	1.12%	653	24.66%	326	10.99%
130500-131000	389	9.77%	338	3.90%	714	30.53%	458	14.75%
131000-131500	996	17.95%	401	7.19%	783	36.95%	486	18.74%
131500-132000	1858	33.20%	501	11.31%	697	42.68%	609	23.74%
132000-132500	2688	55.27%	821	18.05%	684	48.29%	822	30.48%
132500-133000	2006	71.74%	980	26.09%	697	54.01%	748	36.63%
133000-133500	1572	84.65%	1443	37.94%	709	59.84%	670	42.13%
133500-134000	771	90.98%	1866	53.26%	669	65.33%	707	47.93%
134000-134500	314	93.56%	1485	65.45%	625	70.46%	650	53.27%
134500-135000	196	95.16%	1479	77.59%	599	75.38%	606	58.24%
135000-135500	43	95.52%	887	84.88%	402	78.68%	574	62.96%
135500-136000	72	96.11%	378	87.98%	359	81.63%	570	67.64%
136000-136500	30	96.35%	217	89.76%	426	85.12%	528	71.97%
136500-137000	8	96.42%	214	91.52%	280	87.42%	651	77.32%
137000-137500	6	96.47%	187	93.05%	296	89.85%	511	81.51%
137500-138000	7	96.53%	270	95.27%	262	92.00%	449	85.20%
138000-138500	35	96.81%	168	96.65%	149	93.23%	391	88.41%
138500-139000	31	97.07%	49	97.05%	151	94.47%	312	90.97%
139000-139500	28	97.30%	6	97.10%	121	95.46%	218	92.76%
139500-140000	42	97.64%	14	97.22%	65	95.99%	238	94.71%
140000-140500	7	97.70%	40	97.55%	51	96.41%	135	95.82%
140500-141000	7	97.76%	31	97.80%	57	96.88%	100	96.64%

141000-141500	7	97.82%	26	98.01%	48	97.27%	71	97.22%
141500-142000	59	98.30%	42	98.36%	59	97.76%	63	97.74%
142000-142500	43	98.65%	34	98.64%	34	98.04%	37	98.05%
142500-143000	46	99.03%	42	98.98%	42	98.38%	29	98.28%
143000-143500	26	99.24%	76	99.61%	28	98.61%	33	98.56%
143500-144000	92	100.00%	48	100.00%	72	99.20%	86	99.26%
144000-144500	0	100.00%	0	100.00%	14	99.32%	24	99.46%
144500-145000	0	100.00%	0	100.00%	14	99.43%	41	99.79%
145000-145500	0	100.00%	0	100.00%	18	99.58%	6	99.84%
145500-146000	0	100.00%	0	100.00%	25	99.79%	10	99.93%
146000-146500	0	100.00%	0	100.00%	17	99.93%	9	100.00%
146500-147000	0	100.00%	0	100.00%	9	100.00%	0	100.00%
147000-147500	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%
147500-148000	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%
148000-148500	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%
148500-149000	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%
149000-149500	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%
150000>	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%
jumlah	12180		12180		12180		12180	

Tabel 5.6. Kejadian tegangan bending arah 90^o

Range (kN/m ²)	Heave		Surge		Pitch		Kombinasi	
	Occurence	Cumulative %	Occurence	Cumulative %	Occurence	Cumulative %	Occurence	Cumulative %
<115000	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
115000-115500	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
115500-116000	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
116000-116500	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
116500-117000	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
117000-117500	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
117500-118000	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
118000-118500	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
118500-119000	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
119000-119500	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
119500-120000	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
120000-120500	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
120500-121000	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	9	0.07%
121000-121500	7	0.06%	0	0.00%	0	0.00%	8	0.14%
121500-122000	9	0.13%	0	0.00%	0	0.00%	32	0.40%
122000-122500	28	0.36%	0	0.00%	0	0.00%	40	0.73%
122500-123000	32	0.62%	0	0.00%	0	0.00%	53	1.17%
123000-123500	24	0.82%	0	0.00%	0	0.00%	48	1.56%
123500-124000	52	1.25%	0	0.00%	0	0.00%	51	1.98%
124000-124500	56	1.71%	0	0.00%	0	0.00%	79	2.63%
124500-125000	96	2.50%	0	0.00%	0	0.00%	106	3.50%
125000-125500	102	3.33%	0	0.00%	0	0.00%	115	4.44%
125500-126000	174	4.76%	0	0.00%	0	0.00%	171	5.85%
126000-126500	177	6.22%	0	0.00%	0	0.00%	246	7.87%
126500-127000	261	8.36%	0	0.00%	0	0.00%	259	9.99%
127000-127500	255	10.45%	0	0.00%	0	0.00%	255	12.09%
127500-128000	329	13.15%	0	0.00%	13	0.11%	329	14.79%
128000-128500	357	16.08%	69	0.57%	79	0.76%	437	18.37%
128500-129000	359	19.03%	242	2.55%	231	2.65%	440	21.99%
129000-129500	425	22.52%	124	3.57%	267	4.84%	482	25.94%
129500-130000	470	26.38%	136	4.69%	334	7.59%	440	29.56%
130000-130500	556	30.94%	81	5.35%	561	12.19%	503	33.69%
130500-131000	596	35.84%	175	6.79%	882	19.43%	482	37.64%
131000-131500	596	40.73%	185	8.31%	942	27.17%	457	41.40%



131500-132000	564	45.36%	1939	24.23%	1384	38.53%	463	45.20%
132000-132500	506	49.52%	4317	59.67%	1569	51.41%	472	49.07%
132500-133000	480	53.46%	2719	82.00%	1509	63.80%	461	52.86%
133000-133500	550	57.97%	1083	90.89%	1329	74.71%	411	56.23%
133500-134000	460	61.75%	445	94.54%	906	82.15%	407	59.57%
134000-134500	489	65.76%	109	95.44%	612	87.18%	412	62.96%
134500-135000	392	68.98%	22	95.62%	448	90.85%	412	66.34%
135000-135500	368	72.00%	20	95.78%	294	93.27%	378	69.44%
135500-136000	311	74.56%	15	95.90%	223	95.10%	375	72.52%
136000-136500	341	77.36%	15	96.03%	89	95.83%	301	74.99%
136500-137000	279	79.65%	15	96.15%	25	96.03%	255	77.09%
137000-137500	235	81.58%	53	96.58%	6	96.08%	243	79.08%
137500-138000	221	83.39%	29	96.82%	60	96.58%	262	81.23%
138000-138500	227	85.25%	13	96.93%	49	96.98%	266	83.42%
138500-139000	227	87.12%	11	97.02%	39	97.30%	239	85.38%
139000-139500	183	88.62%	13	97.13%	13	97.41%	203	87.04%
139500-140000	199	90.25%	20	97.29%	8	97.47%	218	88.83%
140000-140500	175	91.69%	63	97.81%	35	97.76%	176	90.28%
140500-141000	123	92.70%	16	97.94%	21	97.93%	169	91.67%
141000-141500	121	93.69%	16	98.07%	20	98.10%	109	92.56%
141500-142000	128	94.75%	28	98.30%	21	98.27%	111	93.47%
142000-142500	92	95.50%	46	98.68%	37	98.57%	122	94.47%
142500-143000	99	96.31%	44	99.04%	43	98.92%	124	95.49%
143000-143500	138	97.45%	66	99.58%	35	99.21%	125	96.52%
143500-144000	153	98.70%	51	100.00%	96	100.00%	130	97.59%
144000-144500	51	99.12%	0	100.00%	0	100.00%	78	98.23%
144500-145000	26	99.33%	0	100.00%	0	100.00%	59	98.71%
145000-145500	26	99.55%	0	100.00%	0	100.00%	33	98.98%
145500-146000	17	99.69%	0	100.00%	0	100.00%	27	99.20%
146000-146500	19	99.84%	0	100.00%	0	100.00%	20	99.37%
146500-147000	11	99.93%	0	100.00%	0	100.00%	26	99.58%
147000-147500	8	100.00%	0	100.00%	0	100.00%	37	99.89%
147500-148000	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%	14	100.00%
148000-148500	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%
148500-149000	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%
149000-149500	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%
150000>	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%
jumlah	12180		12180		12180		12180	

Tabel 5.7. Kejadian tegangan bending arah 180^o

Range (kN/m ²)	Heave		Surge		Pitch		Kombinasi	
	Occurence	Cumulative %	Occurence	Cumulative %	Occurence	Cumulative %	Occurence	Cumulative %
<115000	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
115000-115500	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
115500-116000	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
116000-116500	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
116500-117000	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	12	0.10%
117000-117500	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	5	0.14%
117500-118000	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	4	0.17%
118000-118500	0	0.00%	0	0.00%	9	0.07%	4	0.21%
118500-119000	0	0.00%	0	0.00%	7	0.13%	3	0.23%
119000-119500	0	0.00%	0	0.00%	5	0.17%	2	0.25%
119500-120000	0	0.00%	0	0.00%	4	0.21%	12	0.34%
120000-120500	0	0.00%	0	0.00%	12	0.30%	19	0.50%
120500-121000	0	0.00%	0	0.00%	11	0.39%	44	0.86%

121000-121500	0	0.00%	0	0.00%	13	0.50%	64	1.39%
121500-122000	0	0.00%	0	0.00%	45	0.87%	83	2.07%
122000-122500	0	0.00%	0	0.00%	68	1.43%	79	2.72%
122500-123000	0	0.00%	0	0.00%	121	2.42%	120	3.70%
123000-123500	0	0.00%	0	0.00%	145	3.61%	131	4.78%
123500-124000	0	0.00%	0	0.00%	149	4.84%	165	6.13%
124000-124500	0	0.00%	0	0.00%	141	5.99%	150	7.36%
124500-125000	0	0.00%	0	0.00%	219	7.79%	227	9.23%
125000-125500	0	0.00%	0	0.00%	232	9.70%	268	11.43%
125500-126000	0	0.00%	0	0.00%	301	12.17%	330	14.14%
126000-126500	0	0.00%	0	0.00%	356	15.09%	312	16.70%
126500-127000	0	0.00%	0	0.00%	371	18.14%	373	19.76%
127000-127500	0	0.00%	0	0.00%	357	21.07%	408	23.11%
127500-128000	0	0.00%	0	0.00%	464	24.88%	425	26.60%
128000-128500	124	1.02%	109	0.89%	452	28.59%	462	30.39%
128500-129000	121	2.01%	133	1.99%	421	32.04%	449	34.08%
129000-129500	241	3.99%	213	3.74%	521	36.32%	489	38.10%
129500-130000	163	5.33%	125	4.76%	507	40.48%	414	41.49%
130000-130500	107	6.21%	142	5.93%	509	44.66%	401	44.79%
130500-131000	494	10.26%	50	6.34%	477	48.58%	428	48.30%
131000-131500	1091	19.22%	226	8.19%	482	52.54%	448	51.98%
131500-132000	1617	32.50%	1674	21.94%	504	56.67%	403	55.29%
132000-132500	2703	54.69%	4914	62.28%	376	59.76%	402	58.59%
132500-133000	2116	72.06%	2589	83.54%	377	62.86%	391	61.80%
133000-133500	1442	83.90%	986	91.63%	401	66.15%	342	64.61%
133500-134000	781	90.31%	339	94.42%	422	69.61%	365	67.60%
134000-134500	457	94.06%	114	95.35%	356	72.54%	428	71.12%
134500-135000	123	95.07%	15	95.48%	333	75.27%	303	73.60%
135000-135500	93	95.84%	28	95.71%	312	77.83%	308	76.13%
135500-136000	17	95.98%	27	95.93%	240	79.80%	271	78.36%
136000-136500	28	96.21%	17	96.07%	222	81.63%	217	80.14%
136500-137000	25	96.41%	16	96.20%	266	83.81%	191	81.71%
137000-137500	13	96.52%	27	96.42%	227	85.67%	211	83.44%
137500-138000	10	96.60%	46	96.80%	193	87.26%	199	85.07%
138000-138500	10	96.68%	20	96.96%	167	88.63%	197	86.69%
138500-139000	48	97.08%	15	97.09%	165	89.98%	183	88.19%
139000-139500	51	97.50%	15	97.21%	115	90.93%	162	89.52%
139500-140000	8	97.56%	31	97.46%	122	91.93%	116	90.48%
140000-140500	7	97.62%	28	97.69%	129	92.99%	120	91.46%
140500-141000	17	97.76%	17	97.83%	140	94.14%	112	92.38%
141000-141500	42	98.10%	19	97.99%	107	95.02%	121	93.37%
141500-142000	39	98.42%	55	98.44%	82	95.69%	138	94.51%
142000-142500	30	98.67%	48	98.83%	72	96.28%	112	95.43%
142500-143000	14	98.78%	25	99.04%	108	97.17%	99	96.24%
143000-143500	109	99.68%	65	99.57%	71	97.75%	75	96.86%
143500-144000	39	100.00%	52	100.00%	141	98.91%	162	98.19%
144000-144500	0	100.00%	0	100.00%	29	99.15%	50	98.60%
144500-145000	0	100.00%	0	100.00%	38	99.46%	31	98.85%
145000-145500	0	100.00%	0	100.00%	27	99.68%	34	99.13%
145500-146000	0	100.00%	0	100.00%	8	99.75%	28	99.36%
146000-146500	0	100.00%	0	100.00%	14	99.86%	17	99.50%
146500-147000	0	100.00%	0	100.00%	5	99.90%	24	99.70%
147000-147500	0	100.00%	0	100.00%	12	100.00%	22	99.88%
147500-148000	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%	7	99.93%
148000-148500	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%	8	100.00%
148500-149000	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%
149000-149500	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%
150000>	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%	0	100.00%
jumlah	12180		12180		12180		12180	

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Denpasar, 18 Januari 1984, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Lestari Denpasar, SD 2 Saraswati Denpasar, SMPN 1 Denpasar dan SMUN 4 Denpasar. Setelah lulus dari SMUN tahun 2002, Penulis mengikuti SPMB dan diterima di Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS pada tahun 2002 dan terdaftar dengan NRP 4302 100 036.

Di Jurusan Teknik Kelautan ini Penulis mengambil Bidang Perancangan dan Produksi. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan seminar yang diselenggarakan oleh Jurusan, Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan (HIMATEKLA) dan aktif sebagai panitia beberapa pelatihan software di Laboratorium Komputasi dan Numerik JTK-ITS.