



TUGAS AKHIR - MO 091336

KAJIAN KEKUATAN KOLOM-PONTON *SEMI-*
SUBMERSIBLE DENGAN KONFIGURASI DELAPAN
KOLOM BERPENAMPANG PERSEGI EMPAT AKIBAT
EKSITASI GELOMBANG

YOSIA PRAKOSO

NRP. 4310 100 017

Dosen Pembimbing:

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

Ir. Murdjito, M. Sc. Eng.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Tekonolgi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2014



FINAL PROJECT - MO 091336

**STUDY OF COLUMN-PONTOON STRENGTH DUE TO
WAVE EXCITATION ON SEMISUBMERSIBLE WITH EIGHT
RECTANGULAR COLUMN CONFIGURATION**

YOSIA PRAKOSO

NRP. 4310 100 017

Supervisors:

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

Ir. Murdjito, M. Sc. Eng.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2014

KAJIAN KEKUATAN KOLOM-PONTON *SEMI-SUBMERSIBLE* DENGAN KONFIGURASI DELAPAN KOLOM BERPENAMPANG PERSEGI EMPAT AKIBAT EKSITASI GELOMBANG

Nama Mahasiswa : Yosia Prakoso
NRP : 4309 100 017
Jurusan : Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D
Ir. Murdjito, M. Sc. Eng.

ABSTRAK

Semisubmersible merupakan salah satu struktur yang handal digunakan dalam berbagai kondisi lautan. Sebelum dioperasikan, *semisubmersible* perlu dilakukan analisis karakteristik respon gerak dan kekuatan memanjang struktur pada kondisi lautan tempat *semisubmersible* beroperasi untuk mengetahui kemampuan struktur terhadap beban gelombang. Kajian dalam penelitian ini menggunakan rancangan *semisubmersible* dengan konfigurasi delapan kolom berpenampang persegi dan menggunakan acuan dari *Semisubmersible Essar Wildcat* berdisplasemen 24173 ton yang beroperasi di Laut Natuna. Perhitungan respon struktur diselesaikan dengan integrasi dari distribusi beban dan distribusi gaya apung (*buoyancy*) pada *semisubmersible* dengan kondisi *still water* dan kondisi gelombang (*hogging* dan *sagging*). Perhitungan respon struktur *semisubmersible* menghasilkan kekuatan memanjang pada struktur yaitu *shear force* dan *bending moment*. Respon struktur terbesar dihasilkan pada kondisi *sagging* panjang gelombang sama dengan panjang struktur, dengan *shear force* sebesar 19.18 MN dan *bending moment* sebesar -259.58 MN.m. Pemodelan kekuatan struktur dilakukan dengan variasi model global dan sambungan kolom-ponton (lokal) untuk mengetahui secara spesifik tegangan yang terjadi pada sambungan kolom-ponton. Pada analisis kekuatan didapatkan model global *semisubmersible* yang paling efektif dengan tegangan maksimum sebesar 71 MPa dan deformasi total maksimum sebesar 7.3 mm.

Kata kunci: *semisubmersible*, kekuatan memanjang, *shear force*, *bending moment*, tegangan Von Mises, deformasi total

STUDY OF COLUMN-PONTOON STRENGTH DUE TO WAVE EXCITATION ON SEMISUBMERSIBLE WITH EIGHT RECTANGULAR COLUMN CONFIGURATION

Name : Yosia Prakoso
Reg : 4310 100 017
Department : Ocean Engineering
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Supervisors : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D
Ir. Murdjito, M. Sc. Eng.

ABSTRACT

Semisubmersible is one of the reliable structure that used in a variety of sea conditions. Before the operation, the semisubmersible need to analyze the response characteristics of motion and strength of the structure to the sea state where the semisubmersible operate to determine the ability of the structure due to the wave loads. Studies in this research using the semisubmersible design with eight columns rectangular section and design reference from the semisubmersible Essar Wildcat with 24.173 tonnes of displacement which will operating in the Natuna Sea. Calculation of the response of the structure completed with the integration of load distribution and the distribution of buoyancy load on semisubmersible within conditions still water and wave conditions (hogging and sagging). Calculation of structural response of semisubmersible produces longitudinal response of a structure those are shear force and bending moment. Largest structural response is generated in sagging condition of wave length equal to the length of the structure, the shear force at 19:18 MN and bending moment at -259.58 MN.m. Modeling conducted by variation of semisubmersible model to know the strength of structure by the global model and local model (column-pontoon connection) to find out the specifics stress that occurs in connection of column-pontoon. In the analysis of the strength of the global model obtained semisubmersible most effective with a maximum stress of 71 MPa and a maximum total deformation of 7.3 mm.

Keyword: *semisubmersible, longitudinal strength, shear force, bending moment, Von Mises stress, total deformation*

**KAJIAN KEKUATAN KOLOM-PONTON SEMI-
SUBMERSIBLE DENGAN KONFIGURASI DELAPAN
KOLOM BERPENAMPANG PERSEGI EMPAT AKIBAT
EKSITASI GELOMBANG
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:

YOSIA PRAKOSO

NRP. 4310 100 017

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

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

2. Ir. Murdjito, M. Sc. Eng. (Pembimbing 2)

SURABAYA, AGUSTUS 2014

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Allah Bapa, Putera dan Roh Kudus yang telah melimpahkan berkat dan anugerah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan dengan baik dan lancar. Judul yang diambil pada Tugas Akhir ini adalah **“Kajian Kekuatan Kolom-Ponton *Semisubmersible* dengan Konfigurasi Delapan Kolom Berpenampang Persegi Empat Akibat Eksitasi Gelombang”**.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tujuan akhir dalam pengerjaan Tugas Akhir ini yaitu untuk mengetahui distribusi tegangan dan deformasi yang terjadi pada sambungan kolom dan ponton pada berbagai kondisi pembebanan.

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

Surabaya, Agustus 2014

Yosia Prakoso

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG MASALAH.....	1
1.2. PERUMUSAN MASALAH.....	2
1.3. TUJUAN.....	3
1.4. MANFAAT.....	3
1.5. BATASAN MASALAH.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.2. DASAR TEORI.....	7
2.2.1. Teori Gerak Bangunan Apung.....	7
2.2.2. Respon Bangunan Apung dalam Enam Derajat Kebebasan.....	10
2.2.3. Respon Struktur <i>Semisubmersible</i> Akibat Eksitasi Gelombang.....	13
2.2.4. <i>Response Amplitude Operator (RAO)</i>	15
2.2.5. <i>Shear Force</i> dan <i>Bending Moment</i>	16
2.2.6. Kondisi Pembebanan pada <i>Semisubmersible</i>	17
2.2.7. Beban Lingkungan.....	17
2.2.8. Pembebanan pada <i>Semisubmersible</i>	19
2.2.9. Tegangan (<i>Stress</i>).....	23

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1. METODE PENELITIAN TUGAS AKHIR	27
3.2. METODE PEMODELAN HIDRODINAMIS <i>SEMISUBMERSIBLE</i>	28
3.3. LANGKAH Pengerjaan	29
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	39
4.1. ANALISIS RESPON GERAKAN <i>SEMISUBMERSIBLE</i> PADA GELOMBANG REGULER	39
4.1.1. Respon Gerakan Translasional.....	40
4.1.2. Respon Gerakan Rotasional.....	43
4.2. ANALISIS RESPON STRUKTUR <i>SEMISUBMERSIBLE</i> PADA GELOMBANG REGULER.....	45
4.2.1. Perhitungan <i>Shear Force</i> dan <i>Bending Moment</i> Kondisi <i>Still Water</i>	46
4.2.2. Perhitungan <i>Shear Force</i> dan <i>Bending Moment</i> Kondisi Gelombang	48
4.2.3. Perhitungan <i>Shear Force</i> dan <i>Bending Moment</i> Kondisi Gelombang 100-tahunan.....	51
4.2.4. Komparasi Hasil <i>Shear Force</i> dan <i>Bending Moment</i>	54
4.3. ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR	55
4.3.1. Perancangan Scantling Kolom dan Ponton.....	55
4.3.2. Pemodelan dengan ANSYS	58
4.3.3. Pemodelan Global	59
4.3.4. Pemodelan Lokal	67
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1 KESIMPULAN.....	71
5.2 SARAN	72
DAFTAR PUSTAKA	xv
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 <i>Principal dimension</i> dari semisubmersible Essar Wildcat	30
Tabel 3.2 Laut Natuna <i>metocean data</i>	31
Tabel 3.3 Tinggi gelombang signifikan vs periode puncak untuk keseluruhan bulan dan tahun.....	32
Tabel 3.4 Data ukuran utama model.....	34
Tabel 3.5 Hasil analisis hidrostatis	34
Tabel 3.6 Hasil validasi	35
Tabel 4.1 Hasil perhitungan SF dan BM kondisi <i>Still Water</i>	46
Tabel 4.2 Hasil perhitungan SF dan BM kondisi Gelombang($\lambda=108$ m)..	49
Tabel 4.3 Hasil perhitungan SF dan BM kondisi Gelombang ($\lambda=290$ m).	52
Tabel 4.4 Input SF dan BM pada kondisi <i>Sagging</i>	59
Tabel 4.5 Input SF dan BM pada kondisi <i>Hogging</i>	59
Tabel 4.6 <i>Meshing sensitivity</i> model global	61
Tabel 4.7 <i>Meshing sensitivity</i> pada model lokal	68

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 1.1	<i>Semisubmersible</i> beroperasi di laut dalam	1
Gambar 2.1	Ilustrasi gerakan <i>heaving</i>	7
Gambar 2.2	Ilustrasi gerakan <i>pitching</i>	8
Gambar 2.3	Ilustrasi gerakan <i>rolling</i>	9
Gambar 2.4	Ilustrasi gerakan <i>yawing</i>	10
Gambar 2.5	Ilustrasi gerakan <i>swaying</i>	10
Gambar 2.6	Ilustrasi gerakan <i>yawing</i>	10
Gambar 2.7	Ilustrasi enam derajat kebebasan pada <i>semisubmersible</i>	11
Gambar 2.8	Beban longitudinal pada <i>semisubmersible</i>	19
Gambar 2.9	Beban transversal pada <i>semisubmersible</i>	20
Gambar 2.10	Beban <i>hogging</i> pada <i>semisubmersible</i>	20
Gambar 2.11	Beban <i>sagging</i> pada <i>semisubmersible</i>	21
Gambar 2.12	Beban <i>pry</i> pada <i>semisubmersible</i>	21
Gambar 2.13	Beban <i>racking</i> pada <i>semisubmersible</i>	22
Gambar 2.14	Beban <i>racking</i> pada <i>semisubmersible</i>	22
Gambar 2.15	Tegangan Normal yang bekerja pada suatu benda.....	23
Gambar 2.16	Ilustrasi vektor tegangan <i>Von Mises</i>	24
Gambar 3.1	Diagram Alur Pengerjaan Tugas Akhir.....	27
Gambar 3.2	Diagram Alur Pengerjaan Model dan Analisis	29
Gambar 3.3	Tampak depan <i>semisubmersible</i> Essar Wildcat.....	30
Gambar 3.4	Tampak atas <i>semisubmersible</i> Essar Wildcat	31
Gambar 3.5	Tampak isometris model AutoCAD.....	33
Gambar 3.6	Tampak isometris model Maxsurf	33
Gambar 3.7	Tampak samping model MOSES 7.0.....	33
Gambar 3.8	Tampak isometris model MOSES 7.0.....	34
Gambar 3.9	Pemodelan geometris global.....	36
Gambar 3.10	Pemodelan geometris lokal.....	37

Gambar 4.1	RAO <i>semi-submersible</i> gerakan <i>surge</i>	40
Gambar 4.2	RAO <i>semi-submersible</i> gerakan <i>sway</i>	41
Gambar 4.3	RAO <i>semi-submersible</i> gerakan <i>heave</i>	42
Gambar 4.4	RAO <i>semi-submersible</i> gerakan <i>roll</i>	43
Gambar 4.5	RAO <i>semi-submersible</i> gerakan <i>pitch</i>	44
Gambar 4.6	RAO <i>semi-submersible</i> gerakan <i>yaw</i>	45
Gambar 4.7	Ilustrasi pembebanan kondisi <i>still water</i>	46
Gambar 4.8	Grafik <i>shear force</i> dan <i>bending moment</i> kondisi <i>Still Water</i>	48
Gambar 4.9	Ilustrasi pembebanan kondisi panjang gelombang sama dengan panjang struktur	48
Gambar 4.10	Grafik <i>shear force</i> dan <i>bending moment Hogging</i> ($\lambda=108.2\ m$)	50
Gambar 4.11	Grafik <i>shear force</i> dan <i>bending moment Sagging</i> ($\lambda=108.2\ m$)	50
Gambar 4.12	Ilustrasi pembebanan kondisi panjang gelombang periode 100-tahunan Laut Natuna.....	51
Gambar 4.13	Grafik <i>shear force</i> dan <i>bending moment Hogging</i> ($\lambda=290\ m$)	53
Gambar 4.14	Grafik <i>shear force</i> dan <i>bending moment Sagging</i> ($\lambda=290\ m$)	53
Gambar 4.15	Komparasi <i>shear force</i> dalam berbagai kondisi pembebanan	54
Gambar 4.16	Komparasi <i>bending moment</i> dalam berbagai kondisi pembebanan	54
Gambar 4.17	Penampang melintang kolom	55
Gambar 4.18	Penampang mambujur kolom	56
Gambar 4.19	Detil gambar profil <i>stiffener</i> (a) dan <i>beam</i> (b) pada kolom.	56
Gambar 4.20	Penampang melintang ponton.....	57
Gambar 4.21	Penampang mambujur ponton.....	57
Gambar 4.22	Detil gambar profil <i>stiffener</i> (a) dan <i>beam</i> (b) pada ponton	58

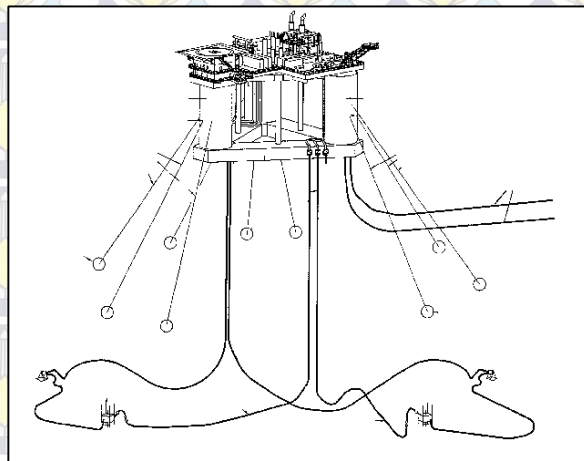
Gambar 4.23	Lokasi input <i>shear force</i> dan <i>bending moment</i>	60
Gambar 4.24	Grafik <i>meshing sensitivity</i> model global.....	61
Gambar 4.25	Distribusi tegangan (a) dan deformasi (b) yang terjadi pada sambungan kolom dan ponton tanpa deck.....	62
Gambar 4.26	Konsentrasi tegangan maksimum model tanpa deck.....	63
Gambar 4.27	Distribusi tegangan (a) dan deformasi (b) yang terjadi pada sambungan kolom dan ponton dengan deck <i>smearred</i>	64
Gambar 4.28	Konsentrasi tegangan maksimum model tanpa deck.....	65
Gambar 4.29	Distribusi tegangan (a) dan deformasi (b) yang terjadi pada sambungan kolom dan ponton dengan deck <i>rigid</i>	66
Gambar 4.30	Konsentrasi tegangan maksimum model deck <i>rigid</i>	67
Gambar 4.31	Grafik <i>meshing sensitivity</i> model lokal	68
Gambar 4.32	Distribusi tegangan (a) dan deformasi (b) yang terjadi pada model lokal sambungan kolom dan ponton.....	69
Gambar 4.33	Konsentrasi tegangan maksimum pada model lokal.....	70

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Tidak dapat dipungkiri bahwa Industri pertambangan sektor minyak dan gas bumi (migas) memberikan keuntungan ekonomi dan penerimaan negara yang sangat besar bagi Indonesia. Migas merupakan sumber daya alam strategis yang tidak dapat diperbaharui dan sebagai sumber energi di negara ini. Minyak dan gas bumi sekarang merupakan energi utama yang sangat vital bagi kehidupan manusia di masa sekarang ini. Seiring dengan berjalannya waktu, kebutuhan manusia akan energi yang tidak terbaharukan ini semakin bertambah, oleh karena itu manusia terus melakukan pengembangan teknologi di bidang eksplorasi, eksploitasi, produksi dan distribusi.

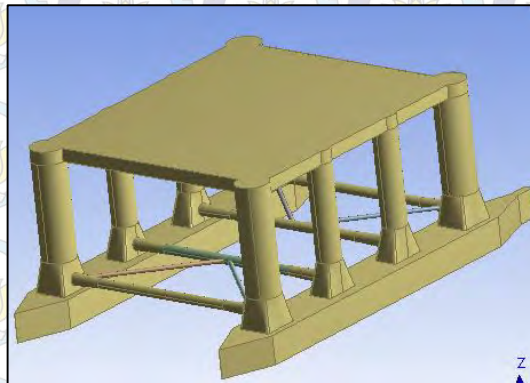


Gambar 1.1 *Semisubmersible* beroperasi di laut dalam

Dengan adanya cadangan minyak yang di temukan di daratan dan lepas pantai, maka di perlukan sarana dan prasarana yang memadai untuk di lakukannya ke empat proses tersebut. Guna memperoleh cadangan minyak dan bumi yang besar yang tersebar di lautan, maka di dibutuhkan sarana khusus dalam menunjang eksploitasi minyak dan gas di lautan. Salah satu sarana yang terkait dengan eksploitasi minyak dan gas adalah *semisubmersible*.

Semisubmersible merupakan bangunan apung yang terdiri atas dua ponton, beberapa kolom dan sebuah *topside*. Karena memiliki dua ponton, *semisubmersible*

memiliki kestabilan yang lebih baik daripada kapal konvensional yang memiliki satu lambung (*single hull*). Konfigurasi *semisubmersible* yang khas menyebabkan pengurangan yang cukup signifikan pada gaya gelombang yang bekerja, sehingga gerakannya pada saat berada dalam medan gelombang akan relatif kecil. Kajian menyangkut gerakan *semisubmersible* di atas gelombang telah banyak dilakukan, namun pembahasan efek gerakan terhadap respons strukturnya masih relatif terbatas.



Gambar 1.2 *Semisubmersible* dengan delapan kolom

Semisubmersible dapat dioperasikan pada berbagai macam kebutuhan seperti kegiatan *drilling* dan produksi pada laut dalam. *Semisubmersible* merupakan bangunan apung yang handal untuk beroperasi di tengah laut dalam waktu yang lama. Karena akan beroperasi di lautan dalam jangka waktu yang lama maka perlu dilakukan berbagai analisis dalam perancangannya.

Salah satu analisis yang dilakukan adalah analisis kekuatan pada sambungan kolom-ponton yang bekerja pada *semisubmersible* tersebut. Sambungan kolom-ponton adalah salah satu komponen yang sangat penting untuk dilakukan inspeksi dan apabila terjadi kegagalan pada salah satu sambungan kolom-ponton akan dapat menghasilkan bencana dan kerugian pada proses produksi, oleh karena itu perhitungan yang detil dan akurat dibutuhkan dalam perancangannya.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana respon struktur *semisubmersible* akibat eksitasi gelombang pada saat terapung bebas ?

2. Berapa besar kekuatan memanjang *semisubmersible* pada kondisi *still water* dan gelombang dengan mode *hogging/sagging* ?
3. Berapa besar kekuatan sambungan kolom-ponton *semisubmersible* pada kondisi *still water* dan gelombang dengan mode *hogging/sagging* ?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Mengetahui respon struktur *semisubmersible* akibat eksitasi gelombang pada saat terapung bebas.
2. Mengetahui besar kekuatan memanjang *semisubmersible* pada kondisi *still water* dan gelombang dengan mode *hogging/sagging*.
3. Mengetahui besar kekuatan sambungan kolom-ponton *semisubmersible* pada kondisi *still water* dan gelombang dengan mode *hogging/sagging*.

1.4 MANFAAT PENELITIAN

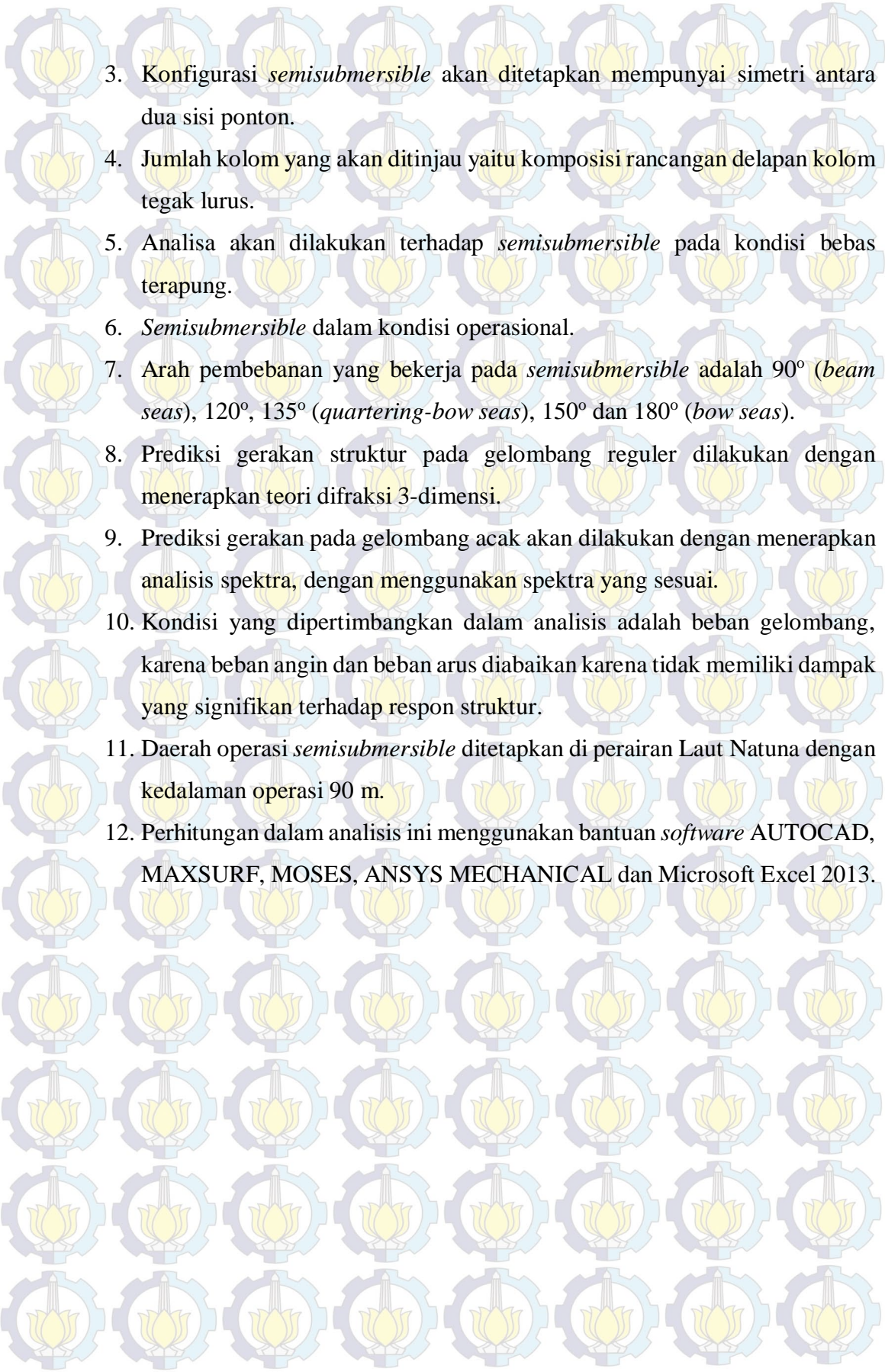
Manfaat dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui prosedur analisis dan menghitung respon struktur *semisubmersible* akibat eksitasi gelombang pada saat terapung bebas.
2. Dapat mengetahui besar kekuatan memanjang dan sambungan kolom-ponton *semisubmersible* akibat kondisi *still water* dan beban gelombang dengan mode *hogging/sagging*.

1.5 BATASAN MASALAH

Untuk memperjelas permasalahan penelitian Tugas Akhir ini, maka perlu adanya ruang lingkup pengujian atau asumsi-asumsi sebagai berikut:

1. Ukuran utama *semisubmersible* berlambung persegi empat akan ditentukan dengan mengacu pada parameter utama struktur *deck semisubmersible* Essar Wildcat, khususnya pada konfigurasi *deck*, displasemen, panjang dan lebar ponton.
2. Ukuran dari kolom dan ponton akan dirancang untuk memenuhi parameter utama displasemen.

- 
3. Konfigurasi *semisubmersible* akan ditetapkan mempunyai simetri antara dua sisi ponton.
 4. Jumlah kolom yang akan ditinjau yaitu komposisi rancangan delapan kolom tegak lurus.
 5. Analisa akan dilakukan terhadap *semisubmersible* pada kondisi bebas terapung.
 6. *Semisubmersible* dalam kondisi operasional.
 7. Arah pembebanan yang bekerja pada *semisubmersible* adalah 90° (*beam seas*), 120° , 135° (*quartering-bow seas*), 150° dan 180° (*bow seas*).
 8. Prediksi gerakan struktur pada gelombang reguler dilakukan dengan menerapkan teori difraksi 3-dimensi.
 9. Prediksi gerakan pada gelombang acak akan dilakukan dengan menerapkan analisis spektra, dengan menggunakan spektra yang sesuai.
 10. Kondisi yang dipertimbangkan dalam analisis adalah beban gelombang, karena beban angin dan beban arus diabaikan karena tidak memiliki dampak yang signifikan terhadap respon struktur.
 11. Daerah operasi *semisubmersible* ditetapkan di perairan Laut Natuna dengan kedalaman operasi 90 m.
 12. Perhitungan dalam analisis ini menggunakan bantuan *software* AUTOCAD, MAXSURF, MOSES, ANSYS MECHANICAL dan Microsoft Excel 2013.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Aubault, dkk. (2006) melakukan kajian tentang kekuatan *semisubmersible* berkolom tiga. Penelitian Aubault secara spesifik meninjau kekuatan *semisubmersible* pada mode *pry/squeeze* berdasarkan domain waktu.

Zhang, dkk. (2009) melakukan kajian tentang perancangan lambung struktur terapung yang beroperasi di laut dalam. Penelitian Zhang meninjau berbagai aspek yang dibutuhkan dalam perancangan lambung struktur terapung seperti kekuatan global dan lokal serta kelelahan pada sambungan kolom-ponton.

Adiguna (2013) melakukan kajian tentang respon struktur dengan variasi geometris pada *semisubmersible*. Penelitian Adiguna meninjau respon struktur *semisubmersible* akibat gelombang reguler dan acak.

Satria (2013) melakukan kajian tentang kepecahan kolom-ponton *semisubmersible* Essar Wildcat. Penelitian Satria meninjau secara lokal kekuatan sambungan kolom-ponton yang telah diberikan inisiasi retak awal.

Konsep Dasar Anjungan Terapung

Soedjono (1998) menyebutkan bahwa secara garis besar konstruksi anjungan lepas pantai dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) golongan utama, yaitu:

1. Anjungan terapung (*Mobile Offshore Drilling Unit (MODU)* atau *Floating Production Platform*) seperti *semi-submersible*, *drill ship*, *mooring storage tanker* dan *FPSO*.
2. Anjungan terpancang (*Fixed Offshore Platform*), seperti : *jacket platform*, *concrete*, *gravity*, dan *tripod*.
3. Anjungan struktur lentur (*Compliant Platform*), seperti : *articulated tower* dan *guyed tower*.

Anjungan terapung merupakan anjungan yang mempunyai karakter bergerak mengikuti gerakan gelombang. Seringkali anjungan tipe ini dihubungkan dengan dasar laut menggunakan peralatan mekanik seperti kabel atau rantai. Untuk

anjungan tipe ini, yang utama adalah mobilitas dan kemampuannya mengantisipasi gerakan akibat gelombang dan arus laut.

Dalam proses kerjanya, kekuatan bangunan apung sangat dipengaruhi oleh beban yang bekerja pada struktur tersebut, sehingga seorang engineer harus mampu untuk menentukan beberapa parameter yang harus dipertimbangkan dalam perancangan suatu struktur, dimana beban-beban yang mempengaruhi bangunan apung tersebut adalah:

1. Beban Mati (*Dead Load*), dimana beban mati adalah beban konstruksi dari bangunan apung tersebut serta seluruh peralatan permanen pada struktur yang tidak berubah selama proses operasi.
2. Beban Hidup (*Live Load*), dimana beban hidup ini adalah beban yang membebani platform yang dapat berubah selama proses operasi, beban hidup ini meliputi : peralatan pengeboran, living quarter, berat tangki penyimpanan dan peralatan yang mendukung kehidupan dan peralatan keselamatan
3. Beban Lingkungan (*Environmental Load*), dimana beban lingkungan adalah beban yang membebani bangunan apung akibat fenomena alam, seperti angin, arus, gelombang, salju dan variasi tekanan hidrostatik akibat gelombang dan pasang surut.
4. Beban Akibat Kecelakaan (*Accidental Load*), merupakan beban tambahan yang terjadi akibat adanya kecelakaan yang menimpa bangunan apung tersebut, seperti tubrukan dengan kapal lain.

Pengetahuan tentang perilaku bangunan apung terhadap lingkungan tempat struktur itu bekerja merupakan suatu kebutuhan dasar dalam menganalisa kekuatan dari struktur bangunan apung sendiri. Hal ini disebabkan karena setiap tipe bangunan apung memiliki karakteristik perilaku yang unik dan berbeda-beda sesuai dengan konfigurasi dari bangunan apung itu sendiri, sehingga perlu diketahui batasan kekuatan dari bangunan apung tersebut sehingga proses pemilihan dan produksi dari bangunan apung itu dapat bekerja secara maksimal pada perairan yang tepat.

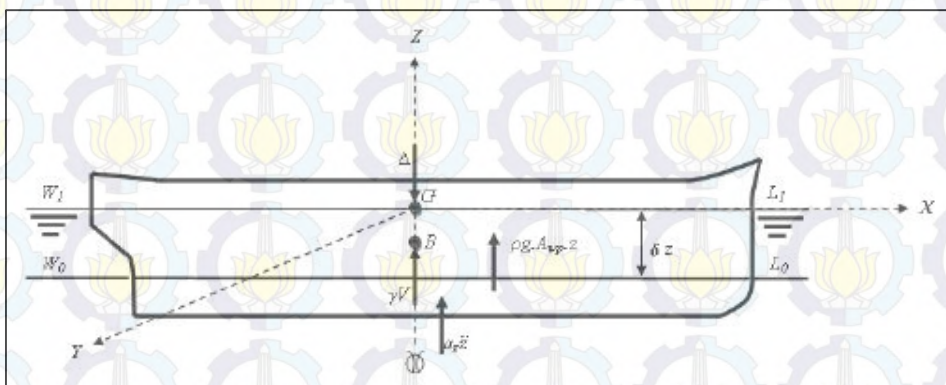
2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Teori Gerak Bangunan Apung

Pada dasarnya benda yang mengapung mempunyai 6 mode gerakan bebas (*Six Degree Of Freedom*) yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu 3 mode gerakan translasional yaitu *surge*, *sway* dan *heave* serta 3 mode gerakan rotasional yaitu *roll*, *pitch* dan *yaw*, dimana enam mode gerakan tersebut adalah:

2.2.1.1 Heaving

Heaving adalah gerakan osilasi translasi pada arah sumbu vertikal (sumbu z), dimana heaving adalah salah satu gerakan kapal pada permukaan perairan gelombang regular, dimana gerakan-gerakannya tersebut disebabkan oleh adanya gaya luar yang bekerja pada badan kapal yang tidak lain adalah gaya gelombang (Murtedjo, 1990).



Gambar 2.1 Ilustrasi gerakan *heaving* (sumber: Murtedjo, 1999)

dengan:

Δ : displasmen struktur terapung (ton)

G : titik tangkap gaya berat (m)

B : titik tangkap gaya angkat ke atas (m)

γV : gaya angkat ke atas

W_0L_0 : garis air keadaan awal

W_1L_1 : garis air keadaan heave

$a_z Z$: tambahan gaya angkat ke atas karena massa tambah

Δz : besar jarak simpangan heave(m)

Dimana persamaan gelombang reguler dapat ditulis sebagai berikut:

$$\zeta = \zeta_a \cos(kx - \omega_e t) \quad (2.1)$$

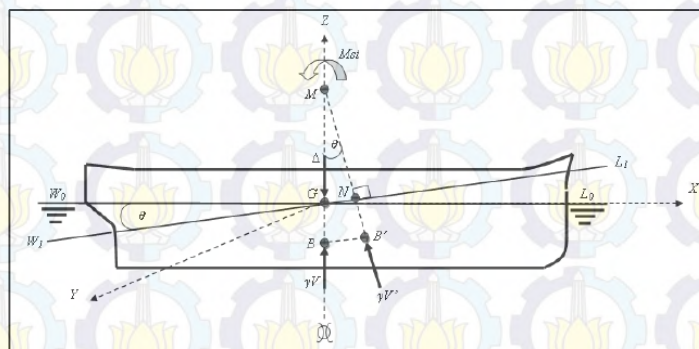
Secara umum persamaan gerakan heaving suatu kapal pada gelombang reguler adalah:

$$a\ddot{Z} + b\dot{Z} + cZ = F_0 \cos(\omega_e t) \quad (2.2)$$

Penyelesaian persamaan umum di atas adalah:

$$Z(t) = Z_h(t) + Z_p(t) \quad (2.3)$$

2.2.1.2 Pitching



Gambar 2.2 Ilustrasi gerakan *pitching* (sumber: Murtedjo, 1999)

dengan:

Δ : displasmen struktur terapung

G : titik tangkap gaya berat (titik berat)

B : titik tangkap gaya angkat ke atas kondisi awal

B' : titik tangkap gaya angkat ke atas kondisi *pitching*

γV : gaya angkat ke atas kondisi awal

$\gamma V'$: gaya angkat ke atas saat *pitching*

W_0L_0 : garis air keadaan awal

W_1L_1 : garis air keadaan *pitching*

θ : sudut *pitching*

M : titik metacenter

M_{st} : momen stabilitas

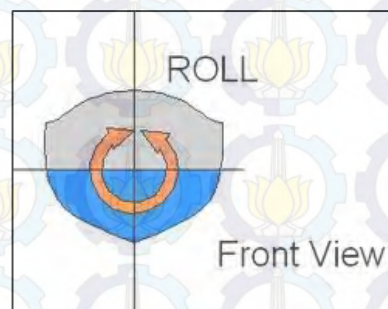
Pitching merupakan gerakan osilasi rotasional pada arah sumbu melintang (sumbu y), dimana gerakan rotasional pada gerakan *pitching* mengakibatkan beberapa momen, yaitu:

1. Momen Inersia
2. Momen Redaman
3. Momen Pengembali
4. Momen Eksitasi

Dimana persamaan umum dari gerakan *pitching* pada gelombang reguler adalah sebagai berikut:

$$a\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = M_0 \cos(\omega_e t) \quad (2.4)$$

2.2.1.3 Rolling



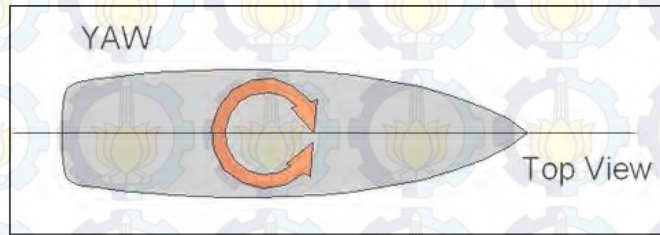
Gambar 2.3 Ilustrasi gerakan *rolling* (sumber: wikipedia.org)

Rolling merupakan gerakan osilasi rotasional terhadap sumbu longitudinal (sumbu x), dimana persamaan umum dari gerakan *rolling* kapal pada gelombang reguler dapat di tulis sebagai berikut :

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

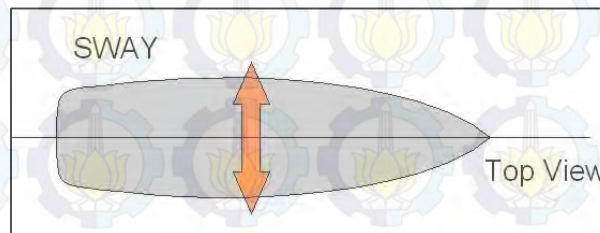
2.2.1.4 Yawing

Yawing merupakan gerakan rotasional pada kapal dimana arah pergerakan dari gerakan rotasional ini mengacu pada sumbu utama yaitu sumbu vertikal (sumbu z).



Gambar 2.4 Ilustrasi gerakan yawing (*sumber: wikipedia.org*)

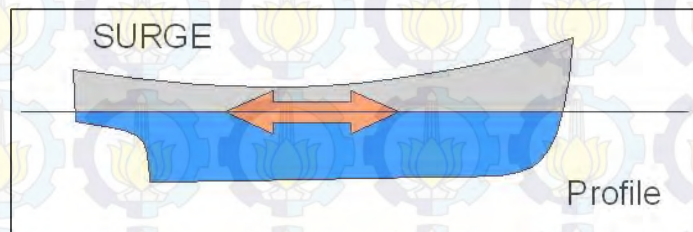
2.2.1.5 Swaying



Gambar 2.5 Ilustrasi gerakan swaying (*sumber: wikipedia.org*)

Swaying merupakan gerakan osilasi pada kapal dimana arah pergerakan dari gerakan rotasional ini mengacu pada sumbu utama yaitu sumbu melintang (sumbu y).

2.2.1.6 Surging



Gambar 2.6 Ilustrasi gerakan yawing (*sumber: wikipedia.org*)

Surging merupakan gerakan osilasi pada kapal dimana arah pergerakan dari gerakan translasional ini mengacu pada sumbu utama yaitu sumbu longitudinal (sumbu x).

2.2.2 Respon Bangunan Apung dalam Enam Derajat Kebebasan

Bangunan apung akan mengalami enam gerakan secara bersamaan. Keenam gerakan tersebut adalah merupakan osilasi linier dan harmonik, yang dapat

dinyatakan dalam persamaan diferensial gerakan kopel dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\ddot{\zeta}_k + B_{jk}\dot{\zeta}_k + K_{jk}\zeta_k] = F_j e^{i\omega t}; \quad j, k = 1, 2, \dots, 6 \quad (2.6)$$

dengan:

M_{jk} : matriks massa dan momen inersia massa bangunan laut

A_{jk} : matriks koefisien-koefisien massa tambah hidrodinamik

B_{jk} : matriks koefisien-koefisien redaman hidrodinamik

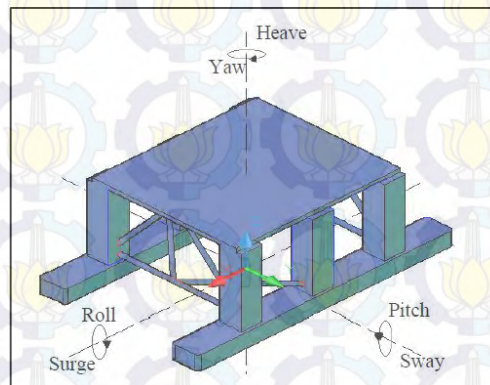
K_{jk} : matriks koefisien-koefisien kekakuan atau gaya dan momen hidrostatis

F_j : matriks gaya eksitasi (F_1, F_2, F_3) dan momen eksitasi (M_4, M_5, M_6) dalam fungsi kompleks (dinyatakan oleh $e^{i\omega t}$)

ζ_k : elevasi gerakan pada mode ke k

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

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



Gambar 2.7 Ilustrasi enam derajat kebebasan pada *semisubmersible*

Persamaan (2.6) menunjukkan hubungan antara gaya aksi di ruas kanan dan gaya reaksi di ruas kiri. Gaya aksi adalah merupakan eksitasi gelombang, sedangkan gaya reaksinya terdiri dari gaya inersia, gaya redaman dan gaya pengembali, yang masing-masing berkorelasi dengan percepatan gerak, kecepatan gerak dan simpangan atau displasemen gerakan.

Penyelesaian pers. (2.7) dapat dilakukan dengan menentukan potensial kecepatan, yang terdiri dari komponen tunak independen terhadap waktu yang ditimbulkan

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

$$\Phi(x, y, z, t) = [-U_x + \Phi_s(x, y, z)] + \Phi_T(x, y, z)e^{i\alpha t} \quad (2.7)$$

Dalam pers. (3.7), variabel pertama di ruas kanan adalah merupakan kontribusi dari potensial kecepatan tunak atau *steady*, Φ_s , dan laju atau kecepatan maju bangunan laut U_x . Sedangkan variabel kedua adalah kontribusi dari potensial kecepatan tak tunak atau *unsteady*:

$$\Phi_T = \zeta(\Phi_I + \Phi_D) + \sum_{j=1}^6 \zeta_j \Phi_j \quad (2.8)$$

di mana Φ_I dan Φ_D adalah potensial kecepatan gelombang insiden dan difraksi, yang intensitasnya dipengaruhi oleh elevasi gelombang ζ . Besaran Φ_j adalah potensial kecepatan radiasi yang ditimbulkan oleh mode gerakan ke j , atau ζ_j . Penyelesaian potensial kecepatan insiden dan difraksi akan memberikan gaya-gaya eksitasi gelombang. Penyelesaian potensial kecepatan radiasi akan memberikan harga-harga koefisien hidrodinamis, yakni massa tambah dan redaman, sebagaimana diutarakan dalam sub-bab sebelumnya.

Penyelesaian persamaan gerak akan terdiri, pertama, komponen persamaan mode gerakan surge, yang mempunyai bentuk:

$$m_1 \ddot{\zeta}_x = F_1 \quad (2.9)$$

Kedua, komponen gerakan kopel *heave* dan *pitch*, yang mempunyai bentuk:

$$\begin{aligned} (m_{33} + a_{33}) \ddot{\zeta}_z + b_{33} \dot{\zeta}_z + k_{33} \zeta_z + a_{35} \ddot{\zeta}_\theta + b_{35} \dot{\zeta}_\theta + k_{35} \zeta_\theta &= F_3 \\ (I_{55} + a_{55}) \ddot{\zeta}_\theta + b_{55} \dot{\zeta}_\theta + k_{55} \zeta_\theta + a_{53} \ddot{\zeta}_z + b_{53} \dot{\zeta}_z + k_{53} \zeta_z &= F_5 \end{aligned} \quad (2.10)$$

Ketiga, komponen gerakan kopel *sway*, *roll* dan *yaw*, yang diekspresikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} (m_{22} + a_{22}) \ddot{\zeta}_y + b_{22} \dot{\zeta}_y + a_{24} \ddot{\zeta}_\phi + b_{24} \dot{\zeta}_\phi + a_{26} \ddot{\zeta}_\psi + b_{26} \dot{\zeta}_\psi &= F_2 \\ (I_{44} + a_{44}) \ddot{\zeta}_\phi + b_{44} \dot{\zeta}_\phi + k_{44} \zeta_\phi + a_{42} \ddot{\zeta}_y + b_{42} \dot{\zeta}_y + a_{46} \ddot{\zeta}_\psi + b_{46} \dot{\zeta}_\psi &= F_4 \\ (I_{66} + a_{66}) \ddot{\zeta}_\psi + b_{66} \dot{\zeta}_\psi + a_{62} \ddot{\zeta}_y + b_{62} \dot{\zeta}_y + a_{64} \ddot{\zeta}_\phi + b_{64} \dot{\zeta}_\phi &= F_6 \end{aligned} \quad (2.11)$$

Prediksi gerakan dengan menggunakan formulasi di atas dapat diselesaikan secara numerik, antara lain dengan penerapan metoda panel, yang mengakomodasi teori

difraksi 3-dimensi, dengan teknik *translating-pulsating source distribution*, sebagaimana dijelaskan oleh Chan (1990). Hasil prediksi gerakan bangunan apung umum diberikan dalam bentuk perbandingan antara amplitudo mode gerakan tertentu dengan amplitudo gelombang insiden, yang berfluktuasi sebagai fungsi perubahan frekuensi gelombangnya. Perbandingan amplitudo tersebut, ζ_j/ζ_0 , adalah disebut sebagai *respons amplitude operator (RAO)*.

2.2.3 Respon Struktur *Semisubmersible* Akibat Eksitasi Gelombang

Perhitungan respon struktur pada *semi-submersible* menggunakan perhitungan respon struktur bangunan apung pada kapal SWATH, hal ini disebabkan karena kapal SWATH memiliki lambung ganda dimana hal tersebut merupakan kesamaan konfigurasi antara kapal SWATH dengan *semisubmersible*, sehingga perhitungan dari beban gelombang *semisubmersible* pada dasarnya dapat dilakukan pendekatan melalui integrasi sejumlah komponen tekanan seperti yang timbul pada benda berotasi.

Komponen ini terdiri dari tekanan akibat radiasi gerakan benda, tekanan quasi-hidrostatik, tekanan Froude-Krylov, dan tekanan difraksi gelombang. Komponen-komponen tekanan tersebut dapat diturunkan dari potensial kecepatan aliran di sekeliling benda, yang secara umum dapat diberikan dalam bentuk:

$$\phi(\vec{x}, t) = -Ux + \bar{\phi}(\vec{x}) + \bar{\phi}(\vec{x}, t) \quad (2.12)$$

dengan U sebagai kecepatan gerak maju rata-rata benda, $\phi(x)$ perturbasi potensial *steady* akibat kecepatan maju, dan $\phi(x, t)$ potensial kecepatan system gelombang *unsteady* akibat gelombang insiden, difraksi dan radiasi, yang mempunyai perumusan

$$\bar{\phi}(\vec{x}, t) = \left[\zeta_w(\zeta_I + \zeta_D) + \sum_{j=1}^6 \zeta_j \phi_j \right] e^{i\omega t} \quad (2.13)$$

Chan (1990) menunjukkan bahwa dengan menggunakan analisis perturbasi serta ekspansi deret Taylor, tekanan fluida p dapatlah diekspresikan dalam bentuk variabel luas permukaan basah rata-rata S_0

$$p(x, t) = \rho \left\{ \frac{1}{2} (\vec{W} \cdot \vec{W} - U^2) + (gz + g\vec{\alpha} \cdot \vec{k}) + \tilde{\phi}_t + \vec{W} \cdot \nabla \tilde{\phi} + \frac{1}{2} \vec{\alpha} \cdot (\vec{W} \cdot \vec{W}) \right\} \quad (2.14)$$

dengan α sebagai vektor displasemen lokal pada sembarang titik r di permukaan benda S_w akibat gerakan translasional dan gerakan rotasional Ω relatif terhadap S_0 . Vektor α selanjutnya dapat dituliskan

$$\vec{\alpha} = \vec{\zeta} + \vec{\omega} \times \vec{r} \quad (2.15)$$

Setelah formulasi komponen tekanan diperoleh maka persamaan respons struktur untuk kapal SWATH akan dapat diselesaikan. Di sini respons struktur didefinisikan dengan notasi $V_1, V_2, V_3, M_4, M_5,$ dan M_6 . Respons terhadap beban gelombang tersebut dihitung pada garis tengah struktur geladak, yang masing-masing adalah merupakan gaya geser memanjang, gaya geser sisi, gaya geser vertikal, momen lengkung melintang, momen torsi, dan momen yaw.

Respons struktur tersebut dihitung dengan mempertimbangkan dua bagian badan kapal SWATH, yang dianggap bertumpuan bebas pada kedua sisinya dan dipisahkan dengan tumpuan jepit di bagian tengahnya. Sehingga persamaan umum respons adalah:

$$V_1 = -\frac{1}{2} (M\bar{y}_G \ddot{\zeta}_6 + F_{1P} + F_{1S}) \quad (2.16)$$

$$V_2 = -\frac{1}{2} (F_{2P} - F_{2S}) \quad (2.17)$$

$$V_3 = -\frac{1}{2} M\bar{y}_G \ddot{\zeta}_4 - \frac{1}{2} (F_{3P} - F_{3S}) \quad (2.18)$$

$$M_4 = -\frac{1}{2} M\bar{y}_G \ddot{\zeta}_3 + i_{45} \ddot{\zeta}_5 - \frac{1}{2} (F_{4P} - F_{4S}) \quad (2.19)$$

$$M_5 = i_{45} \ddot{\zeta}_4 + i_{56} \ddot{\zeta}_6 - \frac{1}{2} (F_{5P} - F_{5S}) \quad (2.20)$$

$$M_6 = -\frac{1}{2} M\bar{y}_G \ddot{\zeta}_1 + i_{65} \ddot{\zeta}_5 - \frac{1}{2} (F_{6P} - F_{6S}) \quad (2.21)$$

F_{jP} dan F_{jS} masing-masing adalah gaya tekanan quasi-hidrostatik dan hidrodinamik pada bagian kiri dan kanan badan kapal. Variabel-variabel ini diperoleh dengan mengintegrasikan distribusi tekanan dalam pers. (2.14), yang diturunkan berdasarkan perumusan potensial kecepatan. M adalah massa kapal, y jarak titik berat satu sisi badan kapal dan garis *length*, $i_{45} = i_{54}$ produk momen inersia satu sisi badan terhadap garis tengah memanjang dan vertikal kapal, i_{56} produk momen inersia satu

sisi badan terhadap garis tengah vertikal dan sumbu netral kapal. $\ddot{\zeta}_j$ adalah percepatan gerakan badan kapal dengan frekuensi osilasi ω untuk mode ke j . Dengan $j = 1, 2, 3, 4, 5$ dan 6 . masing-masing adalah *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* dan *yaw*. Penyelesaian numerik untuk formulasi di atas telah ditunjukkan oleh Djatmiko (1995) dan Subraman & Beena (2002).

2.2.4 Response Amplitudo Operator (RAO)

Amplitudo respon secara umum dipengaruhi oleh amplitudo gelombang. Pada sistem linear, respon berada dalam varian dengan amplitudo gelombang pada frekuensi gelombang. Fungsi respon terbentuk ketika frekuensi gelombang yang mengenai struktur, hal inilah yang di sebut dengan *Response Amplitudo Operator* (RAO) atau di sebut juga dengan fungsi transfer, karena terdapat transfer *exciting wave* terhadap respon struktur.

Tetapi dalam pemahamannya, RAO di definisikan sebagai amplitudo respon (R_a) per amplitudo gelombang (ζ_a), di mana dalam perhitungannya RAO selalu di anggap sebagai gelombang reguler dan frekuensi gelombang yang di pilih dimasukkan ke dalam *range* frekuensi yang di pakai dalam membuat spektrum gelombang. Persamaan RAO dapat dicari sebagai berikut:

$$RAO = \left(\frac{R_a}{\zeta_a} \right)^2 \quad (2.22)$$

dengan:

R_a : amplitudo respon struktur (m)

ζ_a : amplitudo gelombang (m)

Sedangkan RAO respon struktur dapat dirumuskan :

$$X_p = \left(\frac{x_o}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta_c r)^2}} \right) \cos(\omega t - \alpha) \quad (2.23)$$

dengan:

$$x_o = \frac{F_o}{k}$$

$$r = \frac{\omega}{\omega_n}$$

$$\tan \alpha = \frac{2\zeta r}{1-r^2}$$

2.2.5 Shear Force dan Bending Moment

Pada struktur terapung aspek yang harus diperhitungkan adalah *longitudinal strength* (kekuatan memanjang kapal). Kekuatan struktur terapung ini berhubungan dengan kemampuan struktur untuk bertahan oleh beban yang ditimbulkannya, baik berupa beban internal maupun eksternal, yang diperkirakan oleh adanya pengaruh tekanan memanjang pada lambung struktur. Pada analisis kekuatan globab struktur, salah satu aspek yang penting untuk dipertimbangkan adalah *vertical bending moment*.

Bentuk *hull* struktur terapung akan mempengaruhi beban luar seperti tekanan fluida pada permukaan *hull*, gaya gravitasi dan gaya inersia pada gerakan *body elastic* dan kaku. Tekanan fluida diintegrasikan sepanjang permukaan *hull* untuk menghitung gaya hidrodinamis, termasuk gaya gravitasi dan gaya inersia untuk mendapatkan gaya luar total yang bekerja pada bagian tersebut. Integral pertama dan kedua dari gaya sepanjang struktur terapung akan menghasilkan *shear force* dan *bending moment* pada sepanjang *hull girder*. Tegangan utama *hull girder* pada deck dan kombinasi *stiffener*-pelat longitudinal di bagian bawah akan memiliki *bending moment* yang lebih besar, di daerah dekat dengan bagian *midship* dari kapal dan semakin menurun sampai mencapai nol pada kedua ujungnya.

Jika lengkung diagram gaya berat dikurangi dengan lengkung diagram gaya tekan ke atas, akan diperoleh lengkung penyebaran beban sepanjang struktur dengan persamaan sebagai berikut:

$$V(x) = \int_0^x (w(x) - \Delta(x)) dx \quad (2.24)$$

$$M(x) = \int_0^x V(x) dx \quad (2.25)$$

dengan:

$V(x)$: *Shear force* pada sumbu x dari haluan (atau buritan) (N)

$M(x)$: *Bending moment* pada sumbu x dari haluan (atau buritan) (N.m)

w : Beban per satuan panjang (N/m)

Δ : *Bouyancy* per satuan panjang dan beban gaya geser $f(x)$ ini merupakan turunan kedua dari momen lengkung (N/m)

Dimana berdasarkan hal tersebut, salah satu permasalahan hidrostatis pada struktur bangunan apung adalah permasalahan respon struktur. Apabila struktur bangunan apung mendapat beban yang berasal dari gaya *buoyancy*, muatan maupun dari gelombang, maka pada struktur akan terjadi gaya geser (*shear force*) dan *bending moment*. Berdasarkan dari asal pembebanannya, gaya geser dan *bending moment* dibedakan menjadi dua, yaitu *still water* dan *wave shear force bending moment*. *Still water shear force* dan *bending moment* di sebabkan oleh beban statis seperti gaya *buoyancy* dan beban muatan struktur. Sedangkan *wave shear force* dan *bending moment* disebabkan oleh adanya gelombang yang mengenai struktur. Penjelasan dan gambar mengenai konsep pembebanan akan dibahas pada sub-bab 2.2.8 tentang “Pembebanan pada *Semisubmersible*”.

2.2.6 Kondisi Pembebanan pada *Semisubmersible*

Terdapat 3 batasan yang telah ditentukan pada desain kriteria struktur *semisubmersible*, yaitu:

1. *Ultimate Limit State* (ULS), kondisi pembebanan lingkungan ekstrim pada struktur *semisubmersible*
2. *Accidental Limit State* (ALS), kondisi pembebanan yang penyebabnya tidak diketahui pada struktur *semisubmersible*
3. *Fatigue Limit State* (FLS), kondisi pembebanan siklis pada struktur *semisubmersible*

2.2.7 Beban Lingkungan

2.2.7.1 Beban Gelombang

Beban gelombang adalah beban lingkungan yang bersifat siklis dan memberikan dampak signifikan terhadap struktur bangunan apung selama masa operasi. Hal tersebut yang mengakibatkan beban gelombang penting untuk dimasukkan dalam perhitungan pembebanan pada struktur.

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

$\frac{D}{\lambda} > 1$: gelombang mendekati pemantulan murni, persamaan morison tidak valid

$\frac{D}{\lambda} > 0.2$: difraksi gelombang perlu diperhitungkan, persamaan morison tidak valid

$\frac{D}{\lambda} < 0.2$: persamaan morison valid

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

a. Teori Morison

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

b. Teori *Froude-Krylov*

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

c. Teori Difraksi

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

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

2.2.7.2 Beban Angin

Beban angin adalah salah satu beban lingkungan yang bersifat dinamis pada struktur. Namun karena beban angin tidak memberikan dampak yang signifikan sehingga dapat didekati dengan model respon statis. Umumnya dibutuhkan data angin 100 tahunan untuk mengetahui kecepatan angin signifikan dan ekstrim.

2.2.7.3 Beban Arus

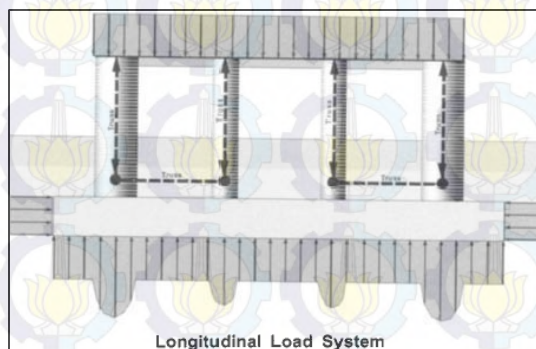
Beban arus adalah beban lingkungan yang bersifat siklis dan tidak memberikan dampak signifikan terhadap struktur bangunan apung selama masa operasi. Sehingga dapat didekati dengan model respon statis. Umumnya dibutuhkan data arus 100 tahunan untuk mengetahui kecepatan arus signifikan dan ekstrim.

2.2.8 Pembebanan pada *Semisubmersible*

Menurut Chakrabarti (2005), beban yang harus dipertimbangkan untuk desain struktural dari kolom dan ponton *semisubmersible* terdapat beberapa jenis. Beberapa kasus pembebanan diantaranya adalah:

2.2.8.1 Beban Longitudinal

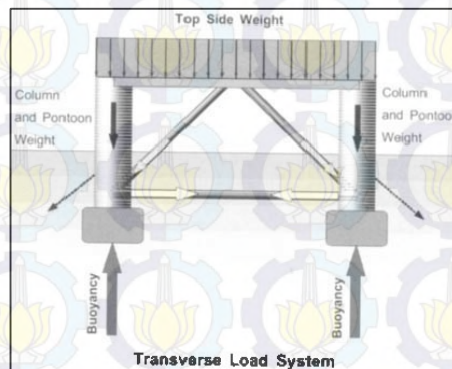
Beban longitudinal adalah beban akibat pengaruh gaya gravitasi terhadap massa struktur dan gaya apung (*buoyancy*) yang bekerja secara memanjang terhadap struktur *semisubmersible*.



Gambar 2.8 Beban longitudinal pada *semisubmersible* (sumber: Chakrabarti, 2005)

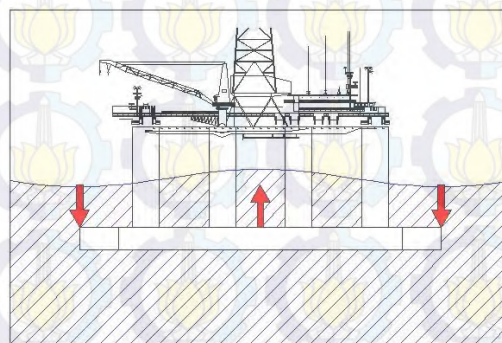
2.2.8.2 Beban Transversal

Beban transversal adalah beban akibat pengaruh gaya gravitasi pada massa struktur dan gaya apung (*buoyancy*) yang bekerja secara melintang terhadap struktur *semisubmersible*.



Gambar 2.9 Beban transversal pada *semisubmersible* (sumber: Chakrabarti, 2005)

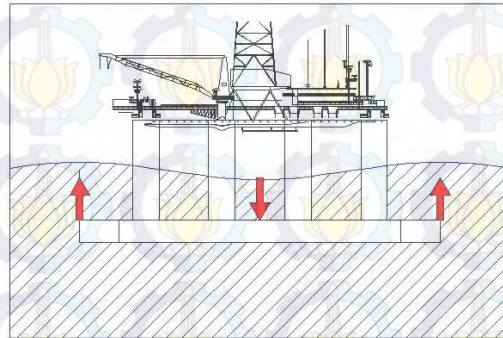
2.2.8.3 Beban Hogging



Gambar 2.10 Beban *hogging* pada *semisubmersible* (sumber: Chakrabarti, 2005)

Beban *hogging* adalah ketika puncak gelombang berada di tengah *semisubmersible* secara memanjang sehingga mengakibatkan ponton tersebut mengalami beban tekan ke atas oleh beban gelombang yang mengakibatkan beban tekan maksimum pada tengah ponton.

2.2.8.4 Beban Sagging

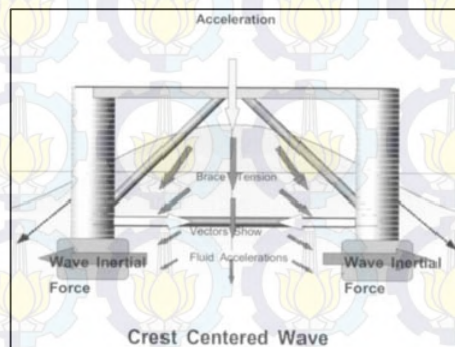


Gambar 2.11 Beban *sagging* pada *semisubmersible* (sumber: Chakrabarti, 2005)

Beban *squeeze* serupa dengan beban *pry*, yaitu ketika puncak gelombang berada di pinggir *semisubmersible* secara memanjang sehingga beban gelombang cenderung bergerak menekan ponton ke bawah sehingga mengakibatkan beban tekan maksimum pada ponton.

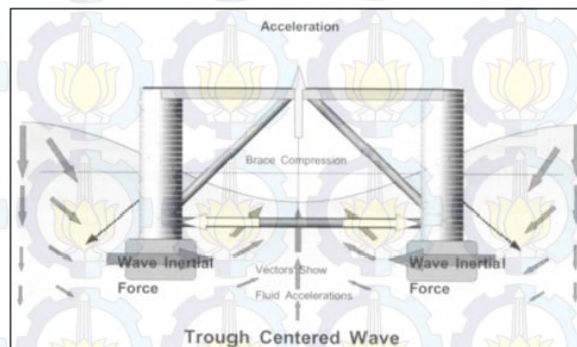
2.2.8.5 Beban Pry

Beban *pry* adalah ketika puncak gelombang berada di tengah dua kolom sehingga mengakibatkan kolom tersebut ditarik bersamaan oleh beban gelombang yang mengakibatkan beban tarik maksimum pada ponton.



Gambar 2.12 Beban *pry* pada *semisubmersible* (sumber: Chakrabarti, 2005)

2.2.8.6 Beban Squeeze

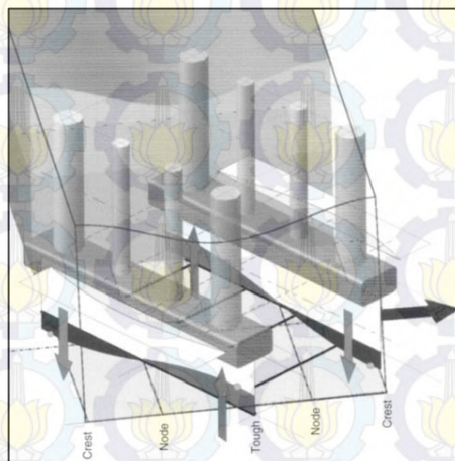


Gambar 2.13 Beban racking pada *semisubmersible* (sumber: Chakrabarti, 2005)

Beban *squeeze* serupa dengan beban *pry*, yaitu ketika puncak gelombang berada di pada dua sisi kolom sehingga beban gelombang cenderung bergerak menekan kolom sehingga mengakibatkan beban tekan maksimum pada ponton.

2.2.8.7 Beban Racking

Beban *racking* adalah ketika kolom dan ponton yang mengalami beban tarik dan tekan secara bersamaan oleh beban gelombang yang datang dari arah diagonal yang mengakibatkan beban tarik dan tekan maksimum bersamaan pada kolom dan ponton.



Gambar 2.14 Beban racking pada *semisubmersible* (sumber: Chakrabarti, 2005)

2.2.9 Tegangan (Stress)

2.2.9.1 Tegangan Normal

Tegangan normal adalah intensitas gaya pada suatu titik yang tegak lurus atau normal terhadap penampang, yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (2.26)$$

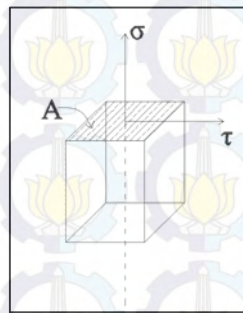
dengan:

σ : Tegangan normal (N/m^2)

F : Gaya yang bekerja dalam arah tegak lurus atau normal terhadap penampang

(N)

A : Luas penampang (m^2)



Gambar 2.15 Tegangan Normal yang bekerja pada suatu benda dengan luasan A

Bila gaya-gaya luar yang bekerja pada suatu batang sejajar terhadap sumbu utamanya dan potongan penampang batang tersebut konstan, tegangan internal yang dihasilkan adalah sejajar terhadap sumbu tersebut. Gaya-gaya seperti itu disebut gaya aksial, dan tegangan yang timbul dikenal sebagai tegangan normal (aksial) seperti terlihat pada gambar 3.8.

2.2.9.2 Tegangan Geser

Tegangan geser adalah intensitas gaya pada suatu titik yang sejajar terhadap penampang. Yang didefinisikan sebagai:

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta A} \quad (2.27)$$

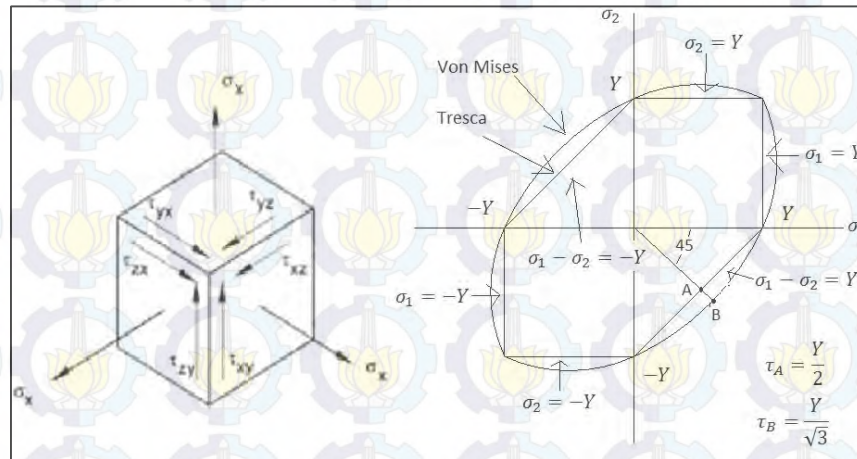
dengan:

τ : Tegangan Geser (N/m^2)

V : Gaya yang bekerja dalam arah sejajar terhadap penampang (gaya geser) (N)

A : Luas penampang (m^2)

2.2.9.3 Tegangan Von Mises



Gambar 2.16 Ilustrasi vektor tegangan *Von Mises*

Tegangan *Von Mises* bekerja pada elemen tiga dimensi, bekerja tegangan-tegangan searah sumbu x , y dan z . Pada tiap-tiap sumbu dapat diketahui tegangan utama ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) yang dihitung dari komponen tegangan dengan persamaan sebagai berikut (ANSYS Guide, 2013):

$$\begin{bmatrix} \sigma_x - \sigma_0 & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y - \sigma_0 & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_z - \sigma_0 \end{bmatrix} = Q \quad (2.28)$$

dengan:

σ_0 = tegangan yang bekerja pada sumbu utama

σ_x = tegangan arah sumbu x

σ_y = tegangan arah sumbu y

σ_z = tegangan arah sumbu z

σ_{xy} = tegangan arah sumbu xy

σ_{xz} = tegangan arah sumbu xz

σ_{yz} = tegangan arah sumbu yz

Penggabungan tegangan-tegangan utama pada suatu elemen merupakan suatu cara untuk mengetahui nilai tegangan maksimum yang terjadi pada node tersebut. Salah satu cara untuk mendapatkan tegangan gabungan adalah dengan menggunakan persamaan *Von Mises*:

$$\sigma_{VM} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)} \quad (2.29)$$

dengan:

σ_0 = tegangan *Von Mises*

σ_x = tegangan arah sumbu x

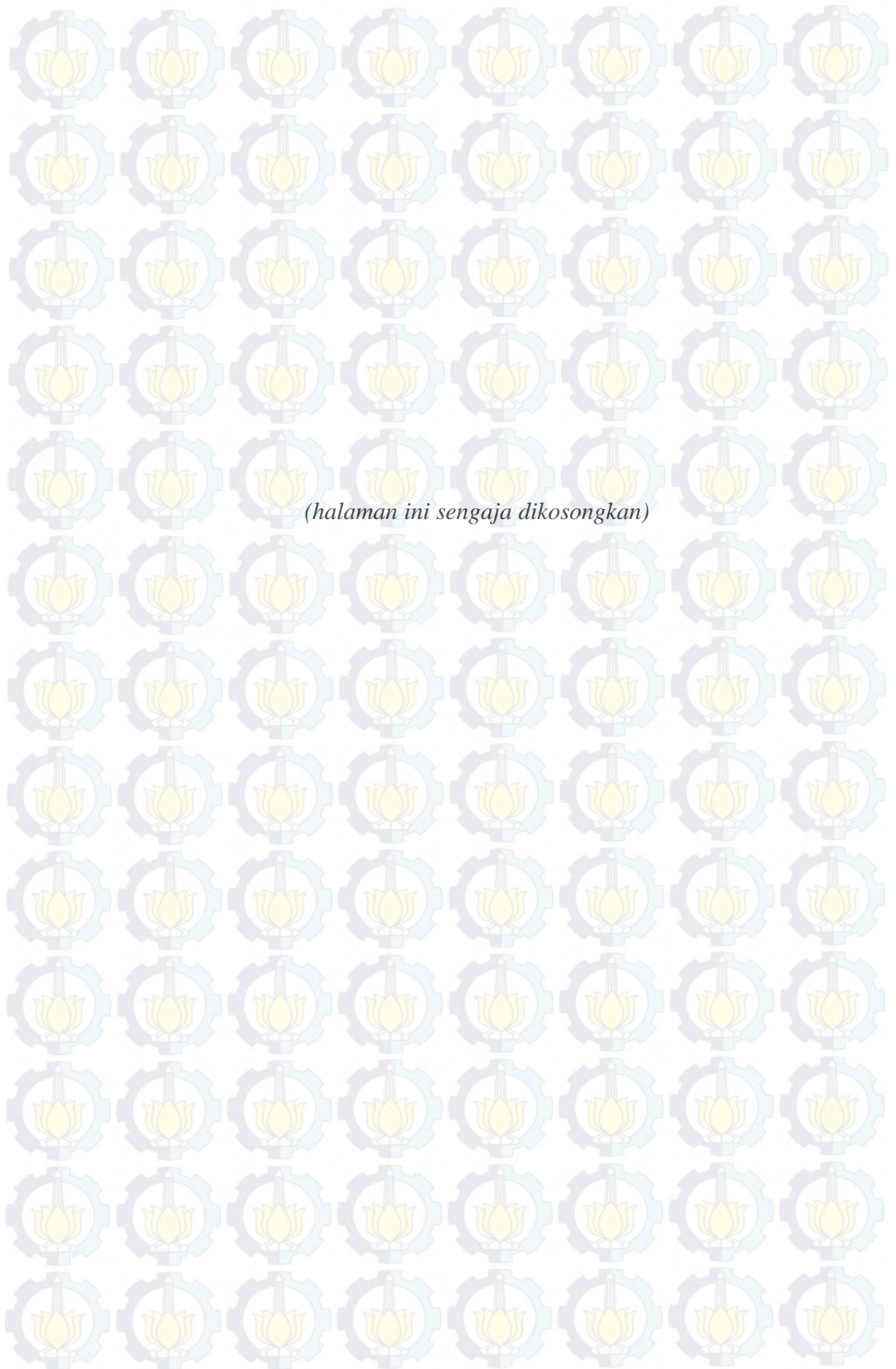
σ_y = tegangan arah sumbu y

σ_z = tegangan arah sumbu z

τ_{xy} = tegangan geser arah sumbu xy

τ_{xz} = tegangan geser arah sumbu xz

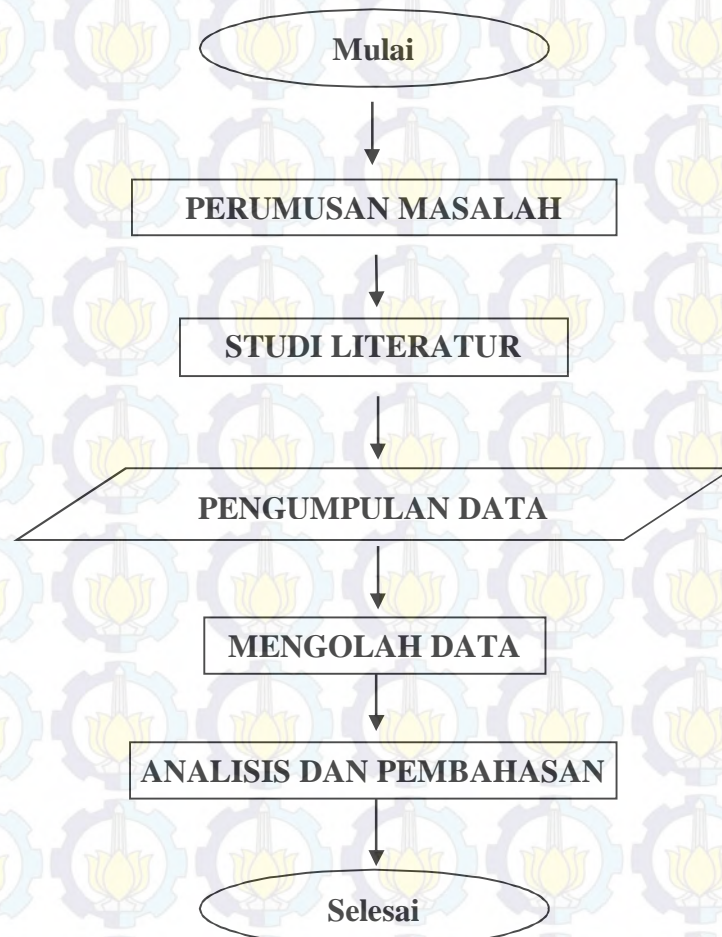
τ_{yz} = tegangan geser arah sumbu yz



BAB III

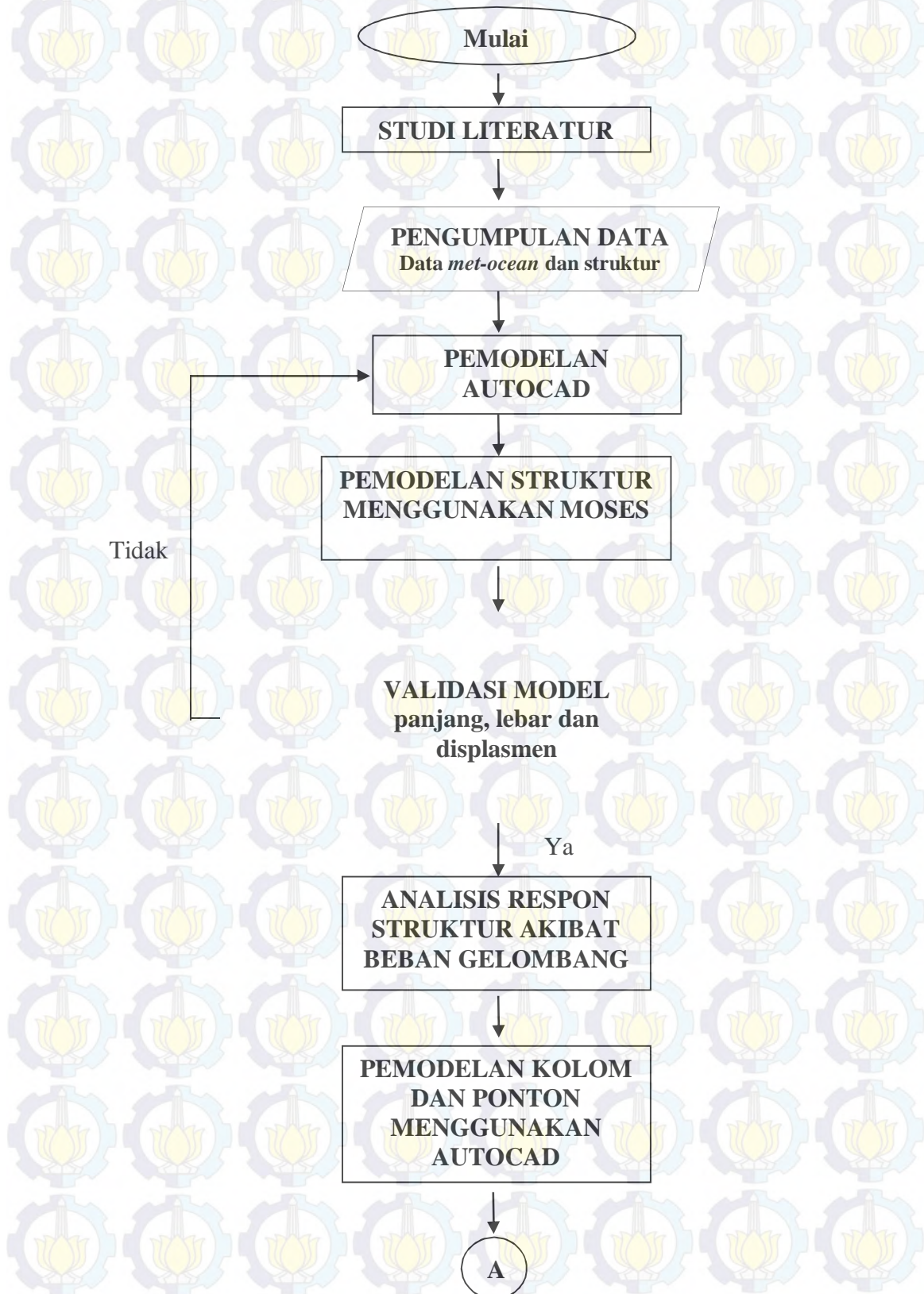
METODOLOGI PENELITIAN

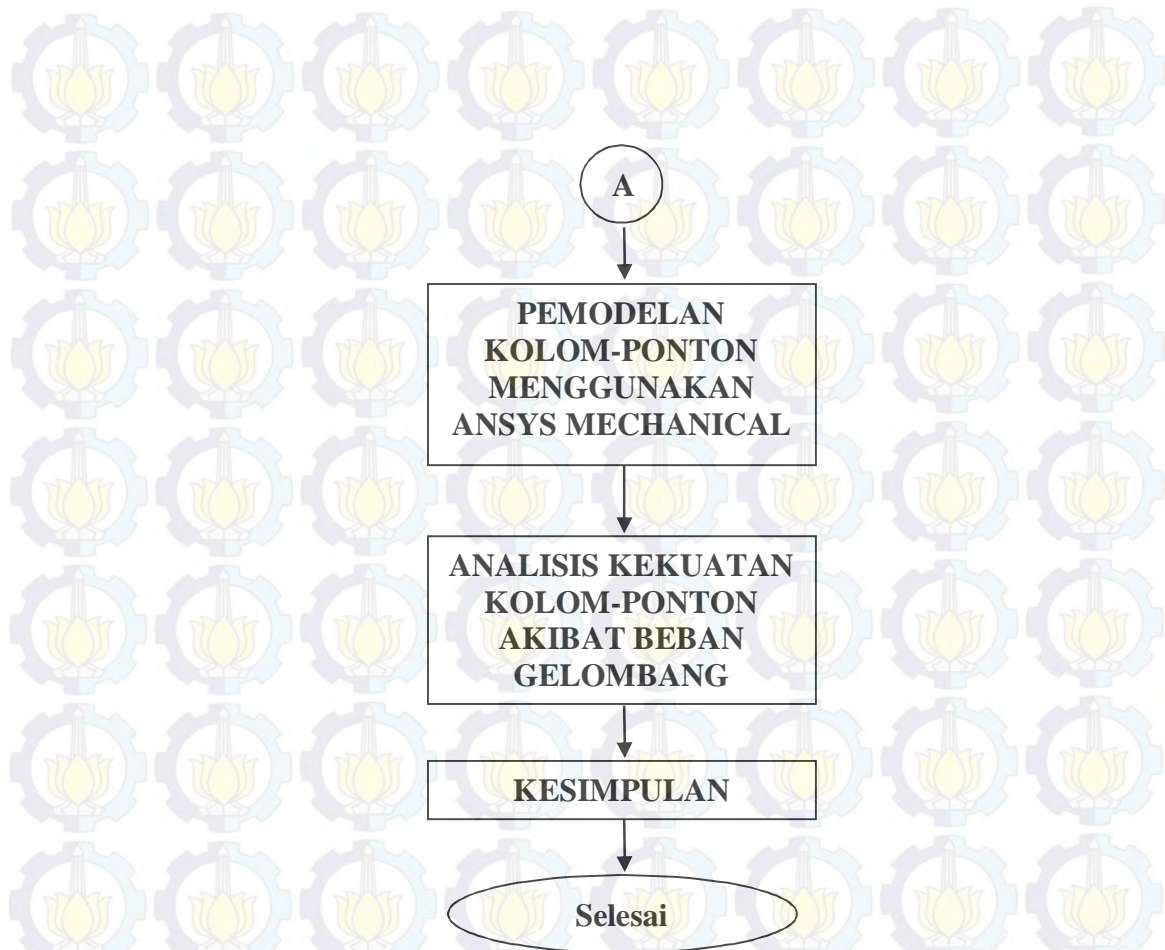
3.1 METODE PENELITIAN TUGAS AKHIR



Gambar 3.1 Diagram Alur Pengerjaan Tugas Akhir

3.2 METODE PEMODELAN HIDRODINAMIS SEMISUBMERSIBLE





Gambar 3.2 Diagram Alur Pengerjaan Model dan Analisis

3.3 LANGKAH Pengerjaan

Untuk penyelesaian masalah, maka dalam penelitian Tugas Akhir ini digunakan metodologi seperti pada **Gambar 3.2** dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pada tahapan ini akan dilakukan studi literatur, yaitu pengumpulan publikasi ilmiah dari literatur terbuka yang relevan yang dapat dijadikan acuan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, literatur yang di kumpulkan mengacu pada penelitian-penelitian, maupun jurnal terdahulu yang pernah membahas hal serupa, yaitu studi respon struktur *semi-submersible* akibat beban lingkungan dan analisis kekuatan kolom-ponton.

2. Pengumpulan Data

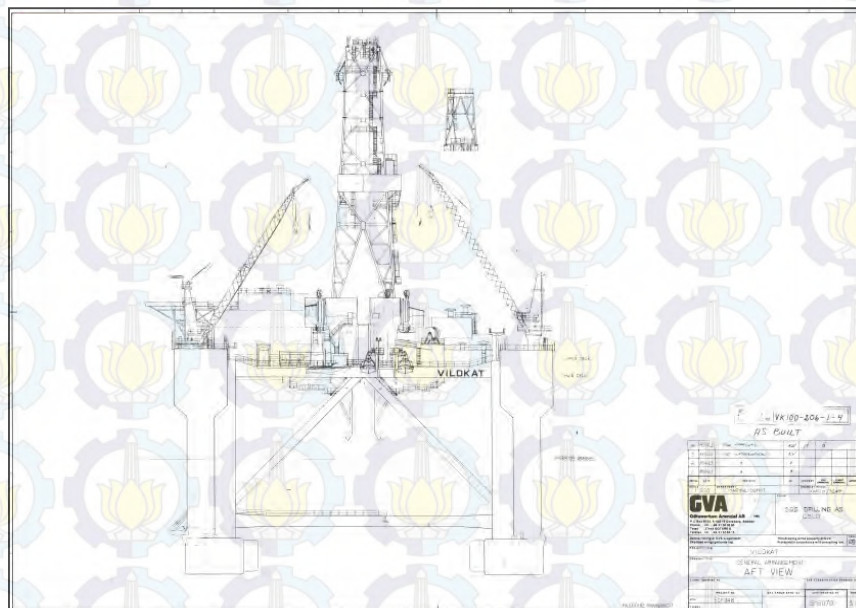
Pada tahapan ini akan dilakukan pengumpulan data, yaitu pengumpulan data yang berkaitan dengan Tugas Akhir meliputi: data struktur, data *met-ocean* dan data *semisubmersible*.

Data Struktur

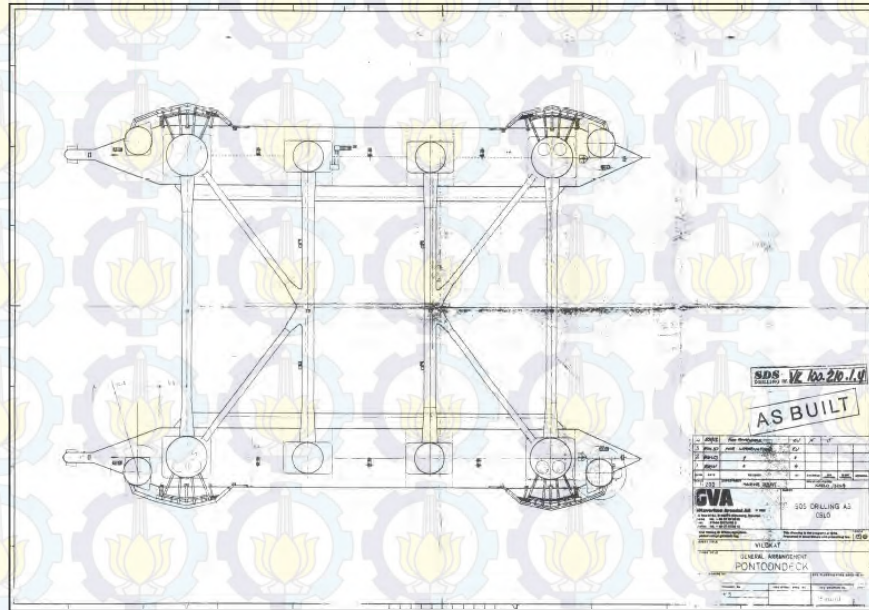
Berikut merupakan data struktur *semisubmersible* Essar Wildcat :

Tabel 3.1 *Principal dimension* dari *semisubmersible* Essar Wildcat

<i>Description</i>	<i>Unit</i>	<i>Quantity</i>
<i>Length Overall</i>	m	108.2
<i>Breadth (moulded)</i>	m	67.36
<i>Large Colum Diameter</i>	m	7.92
<i>Corner Colum Diameter</i>	m	5.2
<i>Height of Pontoons</i>	m	6.71
<i>Operating Draught</i>	m	21.335
<i>Operating Displacement</i>	ton	24173
<i>VCG (Operating)</i>	m	17.83
<i>GM (Operating)</i>	m	2.74



Gambar 3.3 Tampak depan *semisubmersible* Essar Wildcat



Gambar 3.4 Tampak atas *semisubmersible* Essar Wildcat

Sebagai batasan, setiap model harus memiliki *displacement* yang sama pada sarat air yang sama, yaitu displasmen dan sarat air yang dimiliki oleh *semisubmerisble* Essar Wildcat. Program Microsoft Excel 2013 dan AutoCAD digunakan untuk mempermudah penentuan ukuran model.

Data Lingkungan

Berikut merupakan data lingkungan tempat *semisubmersible* beroperasi (Tabel 3.2 dan Tabel 3.3) dengan variasi data gelombang:

Tabel 3.2 Laut Natuna *metocean data*

Parameter	100-years Return Period
Kedalaman	90 m
Gelombang:	
Tinggi glb. signifikan	5.3 m
Periode puncak	13.9 sec
Arus:	
Permukaan	1 m/s
Kedalaman tengah	0.8 m/s
Dasar	0.8 m/s
Angin:	
Kecepatan angin 1 menit	24 m/s

Tabel 3.3 Tinggi gelombang signifikan vs periode puncak untuk keseluruhan bulan dan tahun

T _p		H _s													
Lower	Upper	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	
		0.49	0.99	1.49	1.99	2.49	2.99	3.49	3.99	4.49	4.99	5.49	5.99	6.49	
0	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1	1.9	0.0008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	2.9	0.0210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	3.9	0.1079	0.0863	0.0050	0.0018	0.0002	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	4.9	0.0183	0.1529	0.0143	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	5.9	0.0060	0.0370	0.0771	0.0047	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	6.9	0.0043	0.0177	0.0409	0.0257	0.0010	-	-	-	-	-	-	-	-	
7	7.9	0.0023	0.0079	0.0280	0.0382	0.0105	0.0002	-	-	-	-	-	-	-	
8	8.9	0.0020	0.0058	0.0103	0.0247	0.0334	0.0119	0.0009	-	-	-	-	-	-	
9	9.9	0.0007	0.0041	0.0062	0.0158	0.0176	0.0255	0.0129	0.0012	-	-	-	-	-	
10	10.9	-	0.0037	0.0051	0.0067	0.0095	0.0113	0.0114	0.0080	0.0017	-	-	-	-	
11	11.9	0.0001	0.0027	0.0034	0.0034	0.0043	0.0059	0.0047	0.0049	0.0025	0.0022	0.0003	-	-	
12	12.9	-	0.0020	0.0022	0.0016	0.0009	0.0020	0.0019	0.0018	0.0010	0.0009	0.0005	0.0003	-	
13	13.9	-	0.0007	0.0010	0.0004	0.0006	0.0002	0.0004	0.0011	0.0003	0.0002	0.0002	0.0001	-	
14	14.9	-	0.0002	0.0009	0.0004	0.0004	0.0003	0.0001	-	-	-	-	-	-	
15	15.9	0.0001	0.0001	0.0002	0.0006	0.0004	0.0007	0.0001	-	-	-	-	-	-	
16	16.9	-	0.0001	-	0.0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17	17.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	18.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total		0.1636	0.3212	0.1947	0.1243	0.0789	0.058	0.0324	0.0169	0.0055	0.0033	0.0009	0.0004	-	

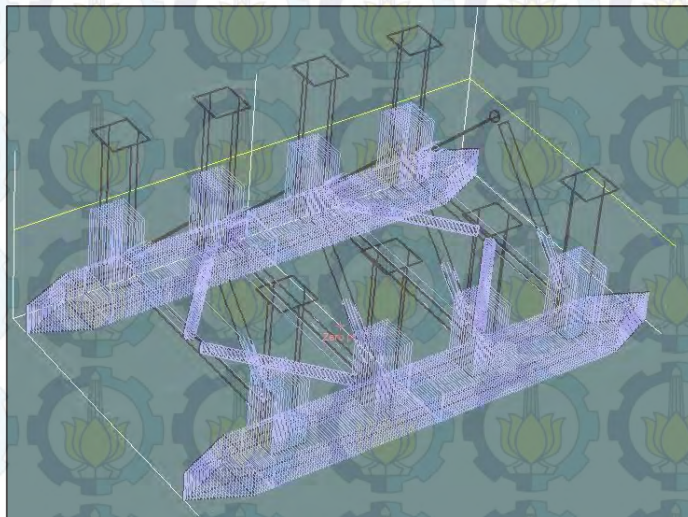
Dari data gelombang yang didapatkan akan di inputkan ke dalam struktur *semisubmersible* pada arah pembebanan 90°, 120°, 135°, 150° dan 180° *omnidirectional* dimana nilainya sama untuk semua arah pembebanan.

3. Pemodelan Struktur

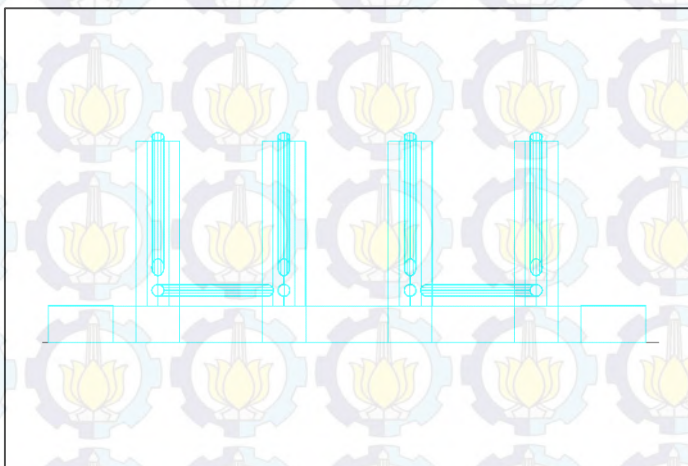
Pada tahapan ini akan dilakukan pemodelan struktur, yaitu mentransformasikan bentuk riil struktur menjadi bentuk 3 dimensi yang sesuai dengan standar *software* AutoCAD (**Gambar 3.5**) dan MAXSURF (**Gambar 3.6**), kemudian dari koordinat yang didapat dari AutoCAD dapat dibuat pemodelan masalah dengan menggunakan *software* MOSES (**Gambar 3.7** dan **Gambar 3.8**) untuk menyelesaikan masalah hidrodinamis dan ANSYS MECHANICAL untuk menyelesaikan masalah struktural.



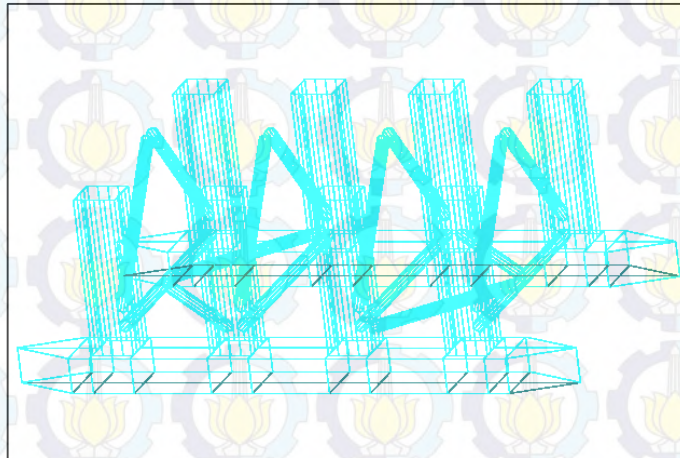
Gambar 3.5 Tampak isometris model AutoCAD



Gambar 3.6 Tampak isometris model Maxsurf



Gambar 3.7 Tampak samping model MOSES 7.0



Gambar 3.8 Tampak isometris model MOSES 7.0

Berikut ini adalah data ukuran utama jenis model *semisubmersible* (**Tabel 3.4**):

Tabel 3.4 Data ukuran utama model

Parameter	Satuan	Model
Jarak melintang antar kolom	m	56.38
Jarak memanjang antar kolom	m	22.85
Panjang Ponton	m	108.2
Lebar Ponton	m	10.5
Lebar Kolom	m	7.92
Tinggi Ponton	m	6.71
Tinggi Kolom	m	29.87
Diameter <i>Bracing</i>	m	2.2
Sarat Operasi	m	21.335
Displasemen	m ³	21473

Analisis hidrostatis dilakukan dengan menggunakan sarat 21.335 m. Berikut ini adalah hasil dari analisis hidrostatis model *semisubmersible* (**Tabel 3.5**):

Tabel 3.5 Hasil analisis hidrostatis

Parameter	Satuan	Moses
Sarat Operasi	m	21.335
Displasemen	ton	24158
Volume	m ³	23569
WSA	m ²	12723

Parameter	Satuan	Moses
WPA	m ²	624
LCB	m	0
LCF	m	0
KB	m	7.7
BMt	m	20.8
BMI	m	17.41
KMt	m	28.5
KMI	m	25.11

Berikut ini adalah hasil dari validasi displasemen model *semisubmersible* (Tabel 3.6):

Tabel 3.6 Hasil validasi

Parameter	Satuan	Data	Moses	Maxsurf	Error (%)	Ket
Displasemen	ton	24173	24158	24254	0.062%	OK
Volume	m ³	23583	23569	23662	0.062%	OK
KB	m	-	7.7	7.65	0.649%	OK
LCB	m	-	0	0	0.000%	OK
KMt	m	-	28.5	28.704	0.716%	OK
KMI	m	-	25.11	24.7	1.633%	OK
BMt	m	-	20.8	20.269	2.55%	OK
BMI	m	-	17.41	16.944	2.677%	OK
LCF	m	-	0	0	0.000%	OK

Dengan melakukan validasi dengan displasemen *semisubmersible* Essar Wildcat yaitu 24173 ton (lihat **Tabel 3.6**), maka didapatkan selisih displasemen dan parameter hidrostatis dari model *semisubmersible* dengan displasemen Essar Wildcat adalah 0.062% dan parameter lain dibawah 5%. Dengan kecilnya presentase selisih displasemen model dengan displasemen acuan, maka syarat kesamaan displasemen pada sarat air yang sama telah terpenuhi dan dianggap valid untuk dilanjutkan kepada analisis selanjutnya.

4. Analisis Respon Struktur akibat Beban Gelombang

Pada tahap ini akan dihitung respon gerakan pada 6 derajat kebebasan untuk setiap ukuran ponton-kolom pada gelombang reguler. Hasil dari tahap ini

adalah RAO (*Response Amplitudo Operator*) pada enam derajat kebebasan yaitu *Heave*, *Pitch*, *Roll*, *Yaw*, *Sway* dan *Surge* yang akan di tampilkan dalam bentuk diagram *transfer function*. Selanjutnya menghitung respon struktur akibat pembebanan pada kondisi statis (*still water*) dan kondisi gelombang (*hogging* dan *sagging*) dengan hasil akhir berupa *shear force* dan *bending moment*.

5. Analisis Kekuatan Memanjang akibat Beban Gelombang

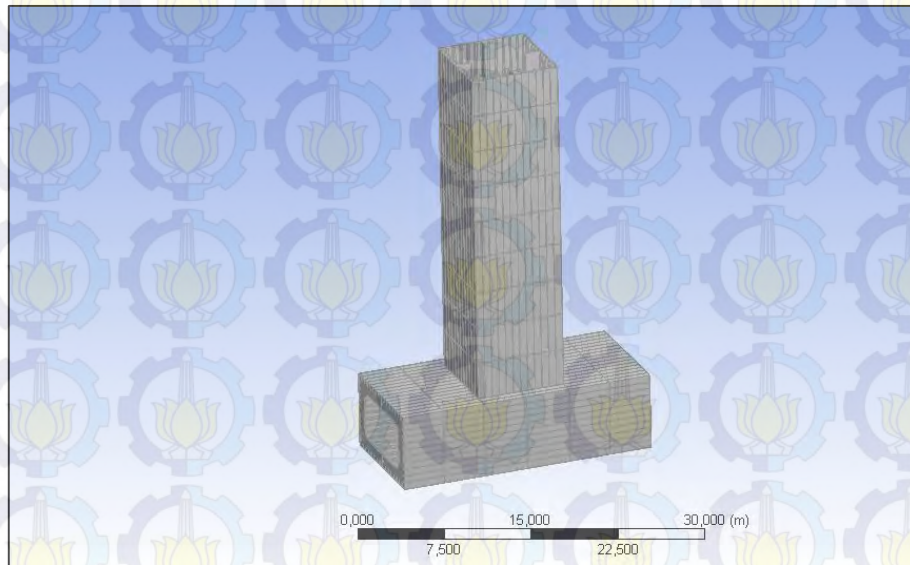
Pada tahap ini akan dihitung kekuatan memanjang *semisubmersible* akibat beban gelombang. Hasil dari tahap ini adalah tegangan maksimum yang bekerja pada *semisubmersible* yang ditinjau secara global (**Gambar 3.9**) pada mode *hogging/sagging*.



Gambar 3.9 Pemodelan geometris global

6. Analisis Kekuatan Kolom-Ponton akibat Beban Gelombang

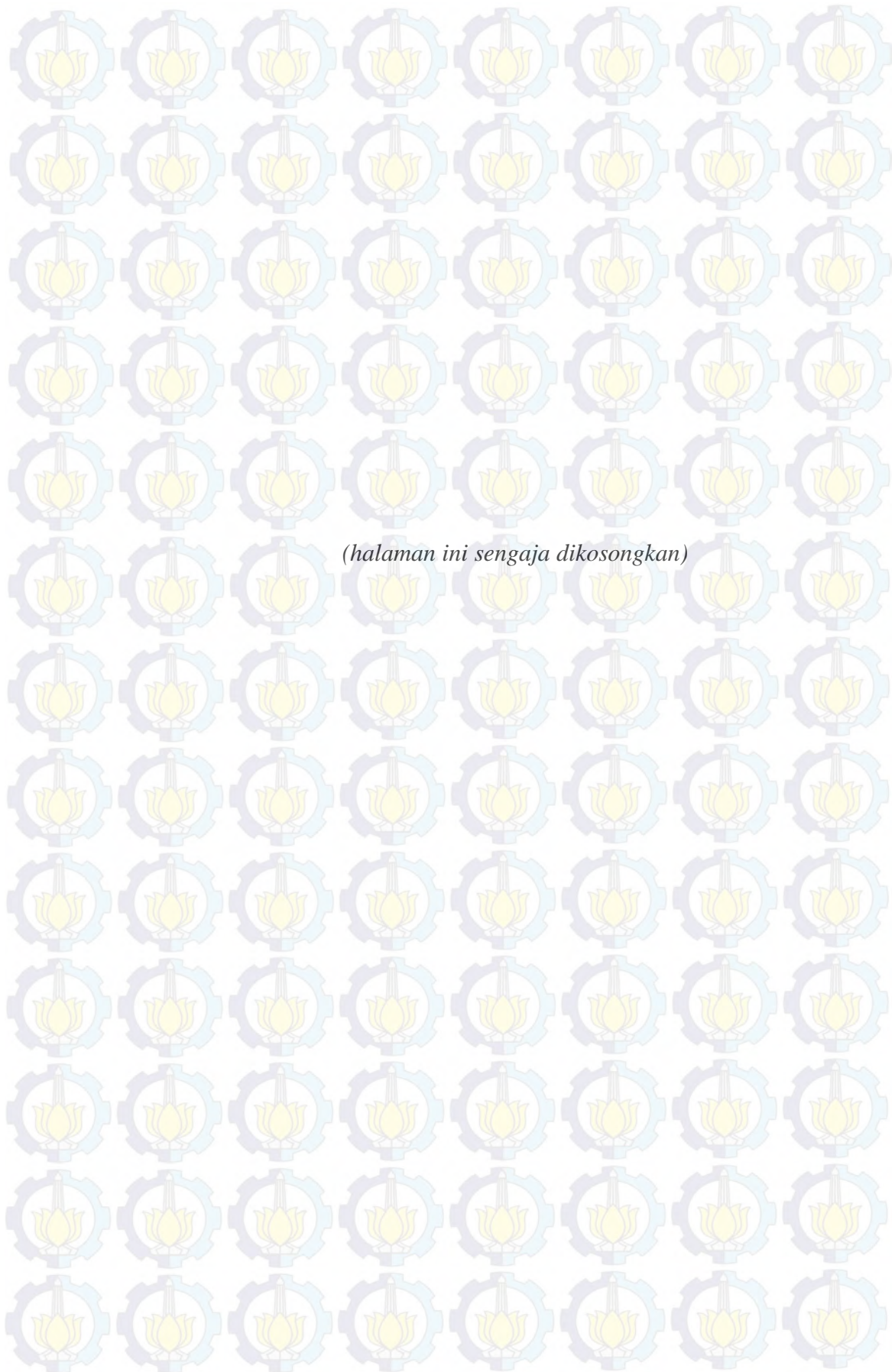
Pada tahap ini akan dihitung kekuatan kolom-ponton akibat beban gelombang. Hasil dari tahap ini adalah tegangan maksimum yang bekerja pada kolom-ponton yang ditinjau secara lokal (**Gambar 3.10**) pada mode *hogging/sagging*.



Gambar 3.10 Pemodelan geometris lokal

7. Kesimpulan

Penarikan kesimpulan dilakukan setelah melakukan berbagai analisis yang dibutuhkan dalam pengerjaan Tugas Akhir.



BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisis dan pembahasan terhadap hasil-hasil perhitungan dan simulasi dari *software* MOSES dan ANSYS Mechanical sesuai dengan metodologi penelitian pada bab sebelumnya. Simulasi dilakukan pada kondisi lingkungan perairan Laut Natuna yang menggunakan data gelombang periode ulang 100-tahunan dengan tinggi gelombang signifikan sebesar 5.3 m dan periode 13.9 detik.

Pembahasan *pertama* adalah melakukan analisis karakteristik respon gerak *semisubmersible* dalam keadaan terapung bebas pada gelombang reguler yang ditunjukkan oleh grafik RAO (*Response Amplitudo Operator*) pada enam derajat kebebasan sebagai keluaran dari *software* MOSES. Pembahasan *kedua* yaitu melakukan analisis respon struktur akibat pembebanan pada kondisi statis (*still water*) dan kondisi gelombang (*hogging* dan *sagging*) dengan hasil akhir berupa *shear force* dan *bending moment*.

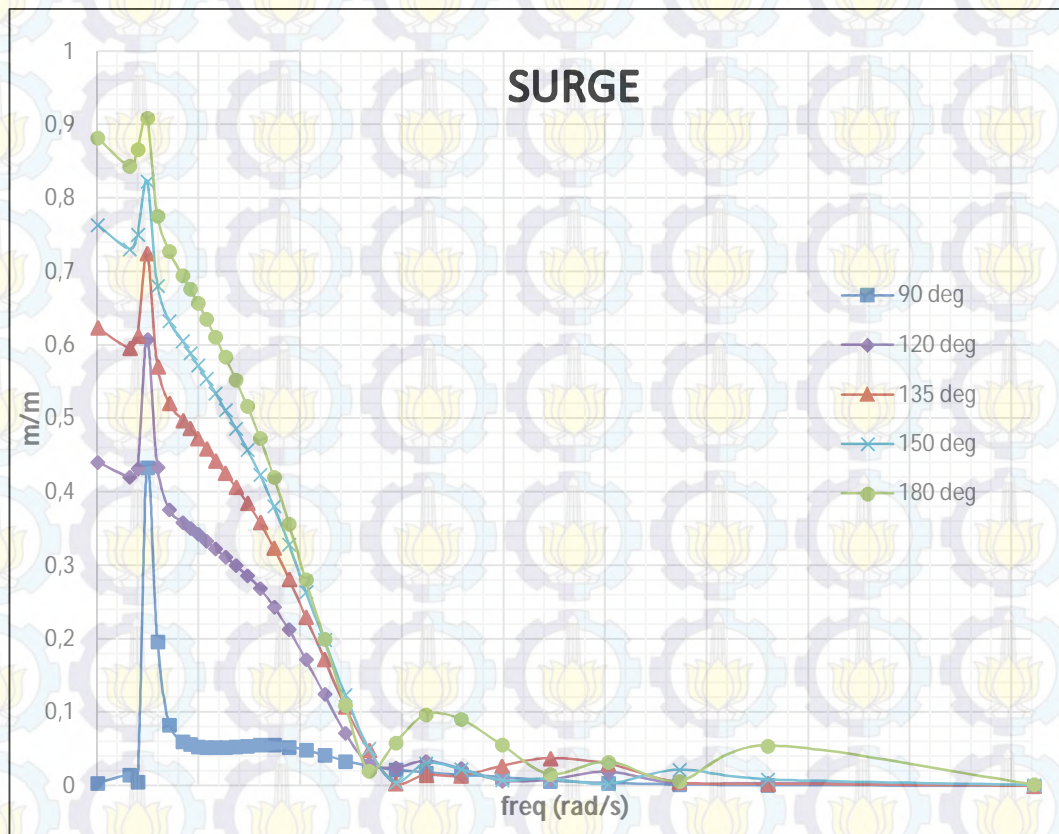
Pembahasan *ketiga* yaitu analisis dari hasil simulasi dan perhitungan distribusi tegangan dari model global *semisubmersible* untuk mengetahui kekuatan memanjang *semisubmersible*. Pembahasan *keempat* dilanjutkan dengan analisis dari hasil simulasi dan perhitungan distribusi tegangan dari model lokal *semisubmersible* untuk mengetahui kekuatan sambungan kolom-ponton *semisubmersible*.

4.1 ANALISIS RESPON GERAKAN SEMISUBMERSIBLE PADA GELOMBANG REGULER

Analisis respon gerakan struktur dilakukan dengan mengetahui besarnya RAO gerakan pada tiap-tiap gerakan dengan arah datangnya gelombang, sehingga akan didapatkan gerakan maksimum yang terjadi pada model untuk tiap-tiap gerakan. Langkah pertama, analisis respon gerakan dilakukan dengan melakukan pemodelan respon gerakan struktur pada MOSES sehingga didapatkan RAO gerakan model. Arah gelombang datang ditentukan dengan sudut 90°, 120°, 135°, 150° dan 180°.

Arah tersebut di anggap sudah mewakili arah datang gelombang superposisinya karena model memiliki konfigurasi yang simetris untuk ke dua sisinya, dimana dalam grafik RAO dapat dilihat bahwa sumbu x merupakan fungsi frekuensi (ω_e) dan sumbu y merupakan fungsi RAO.

4.1.1 Respon Gerakan Translational

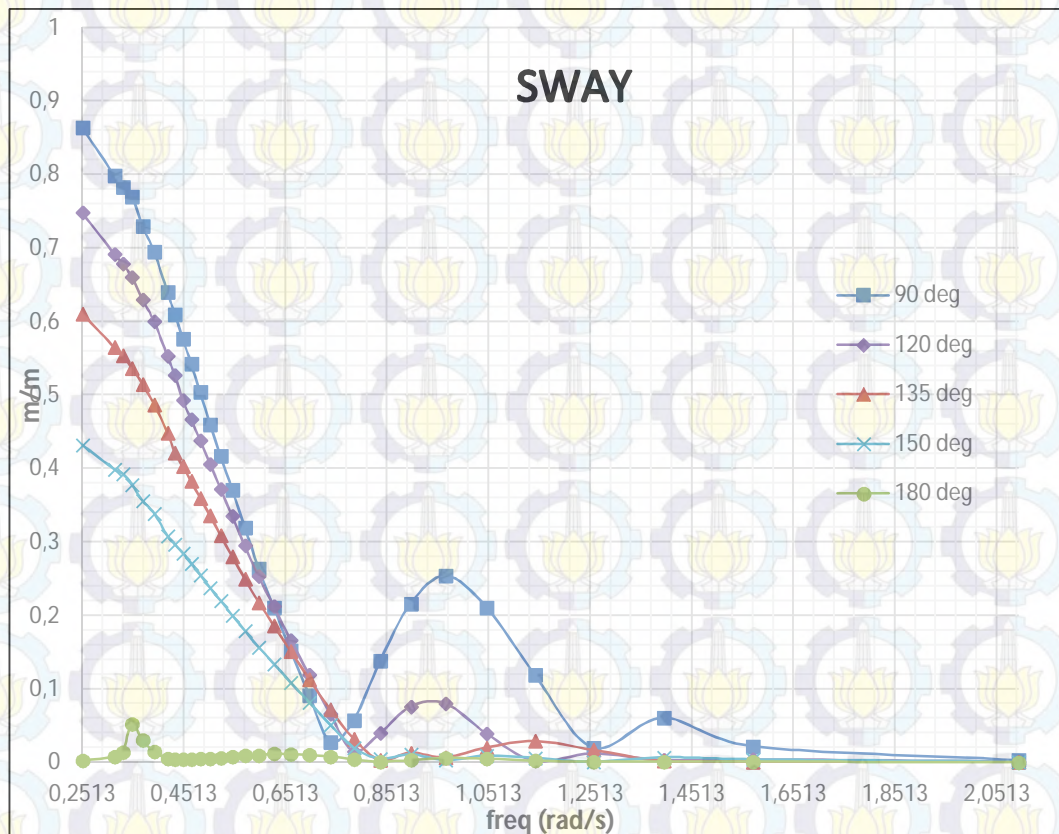


Gambar 4.1 RAO semisubmersible gerakan surge (sb. x)

Pada kurva RAO untuk gerakan *surge* (Gambar 4.1), amplitudo terbesar dihasilkan oleh arah sudut 180° adalah sebesar 0.909 m/m , pada saat frekuensi sebesar 0.3491 rad/sec . Kemudian pada frekuensi 0.3491 rad/sec semua sudut arah pembebanan mengalami resonansi dengan nilai amplitudo maksimum sebesar 0.909 m/m . Nilai amplitudo *surge* sangat kecil ketika frekuensi 2.0944 rad/sec yaitu berkisar antara $0.001\text{-}0.006 \text{ m/m}$ untuk semua sudut.

Pada grafik RAO di atas terlihat bahwa semua bentuk kurva yang memiliki pola yang sama. Pada kurva dari arah 90° memiliki pola yang paling rendah dengan nilai amplitudo terbesar sebesar 0.434 m/m , sedangkan Pada kurva dari arah 180°

memiliki pola yang paling tinggi dengan nilai amplitudo terbesar sebesar 0.909 m/m . Hal tersebut wajar terjadi karena untuk gerakan *surge* amplitudo besar pada sudut arah pembebanan yang mendominasi yaitu untuk arah 180^0 atau memanjang terhadap struktur *semisubmersible*, sebaliknya yaitu untuk arah 90^0 atau melintang terhadap struktur *semisubmersible*.

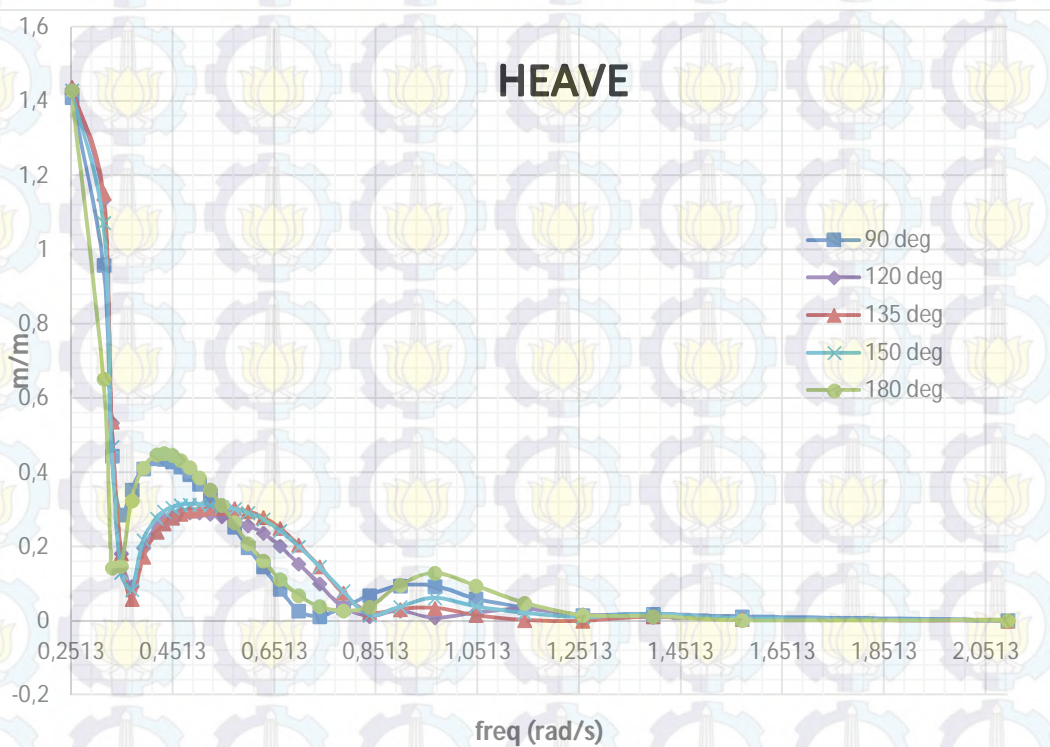


Gambar 4.2 RAO *semisubmersible* gerakan sway (sb. y)

Pada kurva RAO untuk gerakan *sway* (**Gambar 4.2**), amplitudo terbesar dihasilkan oleh arah sudut 90^0 adalah sebesar 0.864 m/m dan 0.93 m/m , pada saat frekuensi sebesar 0.2513 rad/sec . Nilai amplitudo *sway* sangat kecil ketika frekuensi 2.0944 rad/sec yaitu berkisar antara 0.001-0.007 m/m untuk semua arah sudut. Berbeda dengan gerakan *surge*, pada frekuensi 0.9666 rad/sec terjadi resonansi hampir di semua arah pembebanan dengan kenaikan nilai amplitude sebesar 0.254 m/m pada arah pembebanan 90^0 .

Pada grafik RAO di atas terlihat bahwa semua bentuk kurva yang memiliki pola yang sama. Pada kurva dari arah 180^0 memiliki pola yang paling rendah dengan

nilai amplitudo terbesar sebesar 0.052 m/m , sedangkan Pada kurva dari arah 90° memiliki pola yang paling tinggi dengan nilai amplitudo terbesar sebesar 0.864 m/m . Hal tersebut wajar terjadi karena untuk gerakan *sway* amplitudo besar sangat dipengaruhi pada sudut arah pembebanan yang mendominasi yaitu untuk arah 90° atau melintang terhadap struktur *semisubmersible*, sebaliknya untuk pembebanan dari arah 180° atau memanjang terhadap struktur *semisubmersible*.

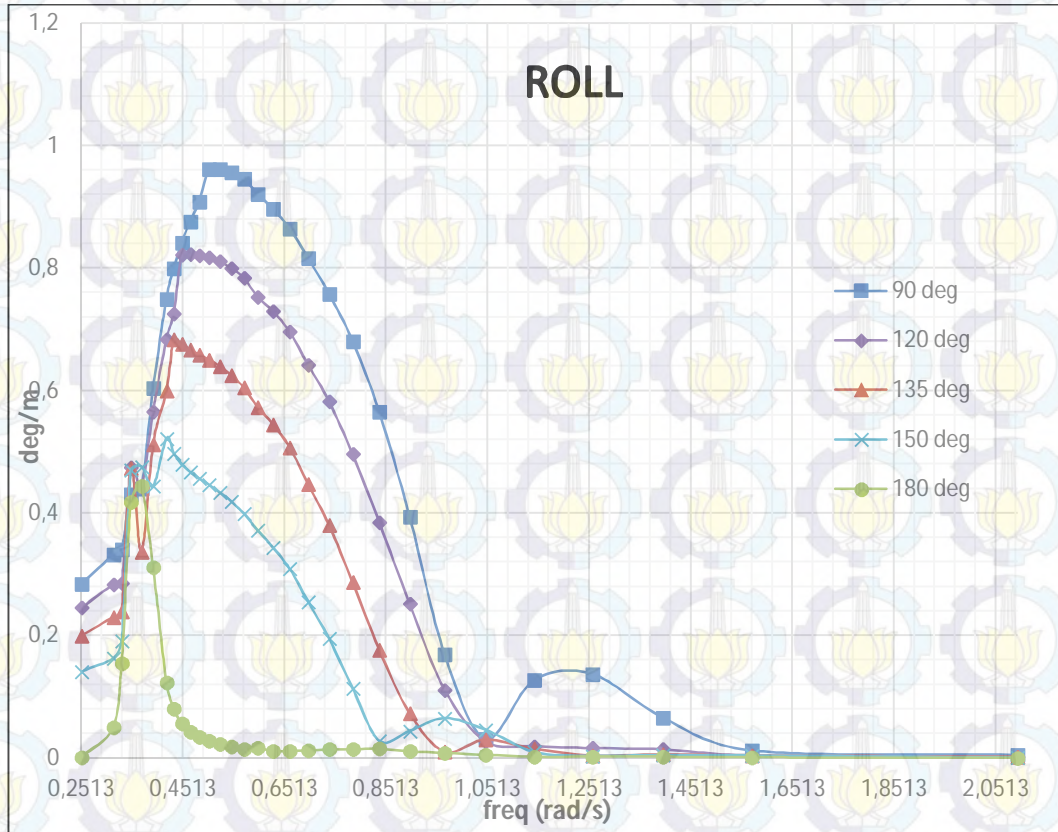


Gambar 4.3 RAO *semisubmersible* gerakan *heave* (sb. z)

Pada kurva RAO untuk gerakan *heave* (**Gambar 4.3**), amplitudo terbesar dihasilkan oleh semua arah sudut pembebanan dengan nilai antara 1.4203 m/m hingga 1.3954 m/m , pada saat frekuensi 0.2513 rad/sec . Terjadi resonansi yang sangat besar pada frekuensi 0.2513 rad/sec . Namun terjadi penurunan yang signifikan dengan amplitudo terendah 0.115 m/m pada frekuensi 0.3927 rad/sec pada semua arah pembebanan. Nilai amplitudo *heave* sangat kecil ketika frekuensi 2.0944 rad/sec yaitu berkisar antara $0.001\text{-}0.003 \text{ m/m}$ untuk semua sudut. Pada grafik RAO *heave* diatas tidak terlihat perbedaan pola bentuk dari keseluruhan

kurva, rata-rata nilai amplitudo untuk tiap-tiap frekuensinya hampir sama untuk semua arah pembebanan.

4.1.2 Respon Gerakan Rotasional

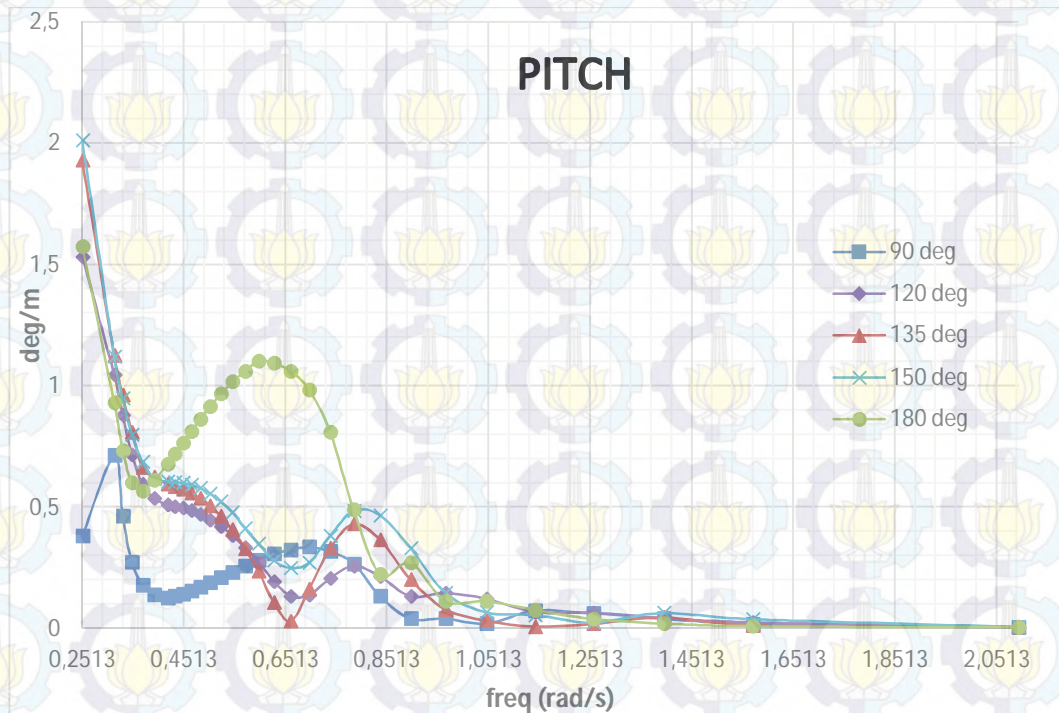


Gambar 4.4 RAO semisubmersible gerakan roll (sb. x)

Pada kurva RAO untuk gerakan roll (**Gambar 4.4**), amplitudo terbesar dihasilkan oleh arah sudut 90° adalah sebesar 0.962 deg/m , pada saat frekuensi sebesar 0.5027 rad/sec . Pada rentang frekuensi 0.3936 rad/sec dan 0.5027 rad/sec juga terjadi resonansi pada hampir semua arah pembebanan. Nilai amplitudo roll sangat kecil ketika frekuensi 2.0944 rad/sec yaitu berkisar antara $0-0.003 \text{ deg/m}$ untuk semua arah sudut.

Pada grafik RAO diatas terlihat bahwa terdapat dua bentuk kurva yang memiliki pola yang berbeda, yaitu kurva dari arah 90° dan 180° . Pada kurva dengan arah 180° memiliki pola yang rendah sekali dengan nilai amplitudo terbesar sebesar 0.444 deg/m , berbeda dengan arah 90° yang memiliki nilai amplitudo terbesar. Hal tersebut wajar terjadi karena untuk gerakan roll, amplitudo besar pada sudut arah

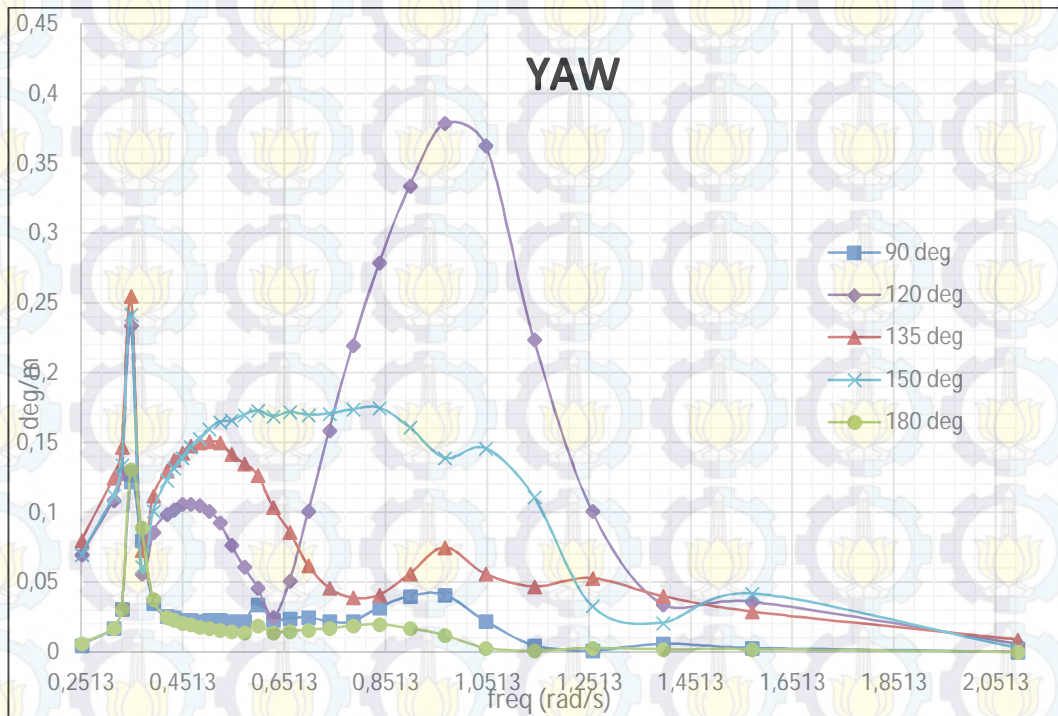
pembebanan yang mendominasi yaitu dari arah 90° atau melintang terhadap struktur *semisubmersible*, sebaliknya untuk pembebanan dari arah 180° atau memanjang terhadap struktur *semisubmersible*.



Gambar 4.5 RAO *semisubmersible* gerakan *pitch* (sb. y)

Pada kurva RAO untuk gerakan *pitch* (**Gambar 4.5**), serupa dengan gerakan *heave* amplitudo terbesar dihasilkan oleh arah sudut 180° adalah sebesar 2.036 deg/m , pada saat frekuensi sebesar 0.2513 rad/sec . Pada frekuensi tersebut juga terjadi resonansi pada hampir semua arah pembebanan. Nilai amplitudo *pitch* sangat kecil ketika frekuensi 2.0944 rad/sec yaitu berkisar antara $0-0.005 \text{ deg/m}$ untuk semua arah sudut.

Pada grafik RAO diatas terlihat bahwa terdapat dua bentuk kurva yang memiliki pola yang berbeda, yaitu kurva dari arah 90° dan 180° . Pada kurva dengan arah 90° memiliki pola yang paling rendah, berbeda jauh dengan arah 180° yang memiliki nilai amplitudo sebesar 2.036 deg/m . Hal tersebut wajar terjadi karena untuk gerakan *pitch*, amplitudo besar pada sudut arah pembebanan yang mendominasi yaitu dari arah 180° dan sebaliknya dari arah 90° .



Gambar 4.6 RAO semisubmersible gerakan yaw (sb. z)

Pada kurva RAO untuk gerakan yaw (**Gambar 4.6**), amplitudo terbesar dihasilkan oleh arah sudut 120° adalah sebesar 0.379 deg/m , pada saat frekuensi sebesar 0.9666 rad/sec . Pada setiap arah pembebanan terjadi resonansi dengan frekuensi yang bervariasi. Nilai amplitudo yaw sangat kecil ketika frekuensi 2.0944 rad/sec yaitu berkisar antara $0.001\text{-}0.005 \text{ deg/m}$ untuk semua arah pembebanan. Pada grafik RAO diatas terlihat bahwa terdapat bentuk kurva yang memiliki pola yang berbeda dari pola bentuk kurva lainnya, yaitu pada arah pembebanan 120° . Berdasarkan grafik RAO di atas amplitudo terbesar yang menyebabkan gerakan yaw pada struktur dengan sudut arah pembebanan 120° bahwa hal tersebut wajar terjadi karena untuk gerakan yaw amplitudo besar terjadi pada sudut arah pembebanan yang mengarah tidak pada arah tegak lurus maupun sejajar struktur.

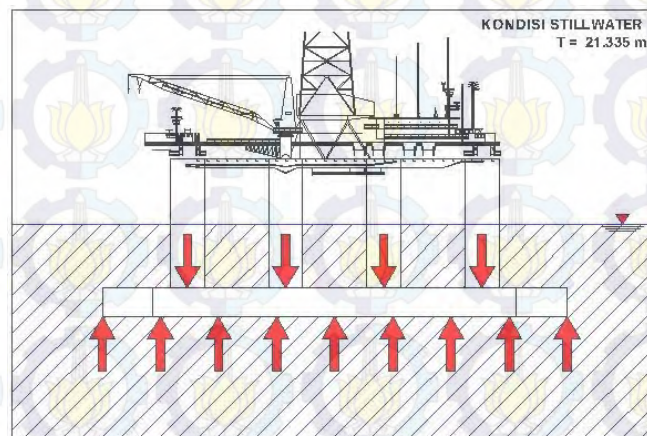
4.2 ANALISIS RESPON STRUKTUR (SHEAR FORCE DAN BENDING MOMENT) SEMISUBMERSIBLE PADA GELOMBANG REGULER

Analisis respon struktur pada penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui nilai *shear force* dan *bending moment* untuk model *semisubmersible* akibat kondisi statis (*still water*) dan gelombang reguler.

Perhitungan *shear force* dan *bending moment* dilakukan pada kondisi *still water* dan gelombang dengan sarat air operasi 21.335 m dan menggunakan variasi panjang gelombang sama dengan panjang struktur, yaitu 108.2 m dan panjang gelombang periode puncak 100-tahunan, serta tinggi gelombang signifikan 5.25 m.

Pembebanan gelombang divariasikan dengan menggunakan dua kondisi, yaitu satu puncak gelombang di tengah struktur (*hogging*) dan dua puncak gelombang yang diletakkan di kedua ujung struktur (*sagging*). Nilai *shear force* dan *bending moment* ditampilkan dalam bentuk tabel serta diagram *shear force* dan *bending moment* untuk kondisi satu puncak (*hogging*) dan dua puncak gelombang (*sagging*).

4.2.1 Perhitungan Shear Force dan Bending Moment Kondisi Still Water



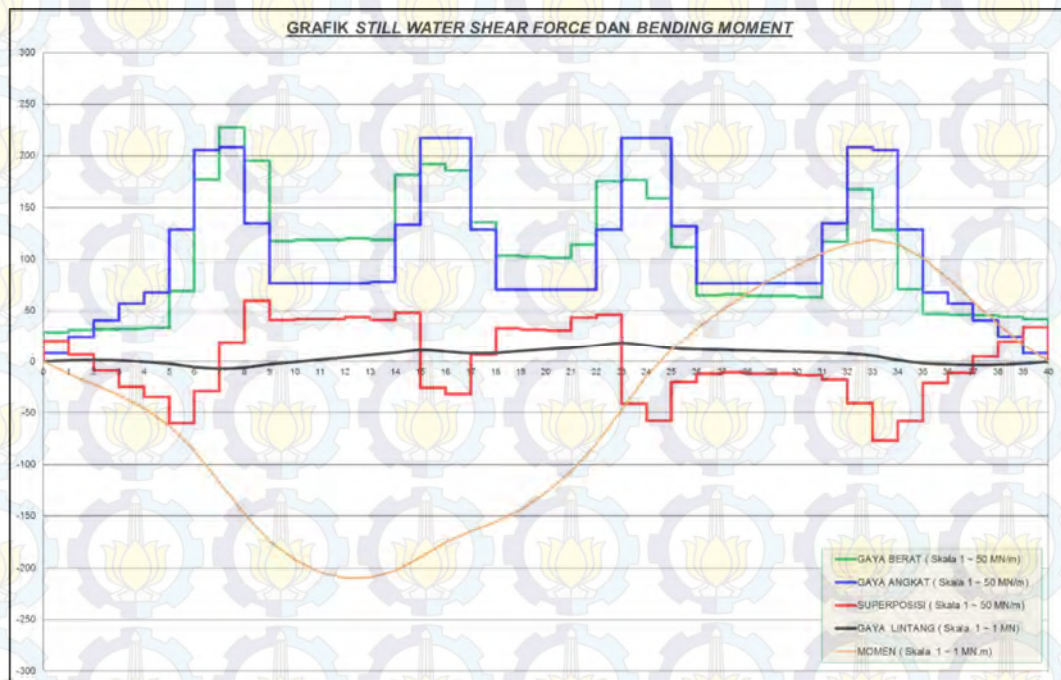
Gambar 4.7 Ilustrasi pembebanan kondisi *still water*

Perhitungan *shear force* dan *bending moment* dilakukan pada kondisi *still water* (**Gambar 4.7**) dengan sarat air operasi 21.335 m. Didapat hasil *shear force* dan *bending moment* sebagai berikut:

Tabel 4.1 Hasil perhitungan SF dan BM kondisi *Still Water*

Station	Still Water	
	<i>Shear Force</i>	<i>Bending Moment</i>
	MN	MN.m
AP	0.00	0.00
1	1.11	-12.20
2	1.47	-22.40
3	1.00	-32.76

Station	<i>Still Water</i>	
	<i>Shear Force</i>	<i>Bending Moment</i>
	MN	MN.m
4	-0.33	-45.57
5	-2.19	-62.68
6	-5.42	-86.68
7	-6.98	-117.16
8	-5.96	-148.37
9	-2.72	-173.82
10	-0.51	-191.89
11	1.77	-203.89
12	4.05	-209.73
13	6.41	-209.30
14	8.62	-202.67
15	11.22	-189.54
16	9.83	-174.77
17	8.11	-164.21
18	8.49	-155.47
19	10.26	-143.81
20	11.97	-127.44
21	13.63	-106.52
22	15.98	-80.19
23	18.49	-47.28
24	16.27	-13.97
25	13.15	12.11
26	12.05	32.49
27	11.41	50.52
28	10.83	66.89
29	10.18	81.61
30	9.53	94.56
31	8.80	105.65
32	7.85	114.47
33	5.66	119.03
34	1.50	115.01
35	-1.63	101.12
36	-2.76	81.48
37	-3.35	59.51
38	-3.07	37.13
39	-1.99	16.59
FP	-0.14	0.00

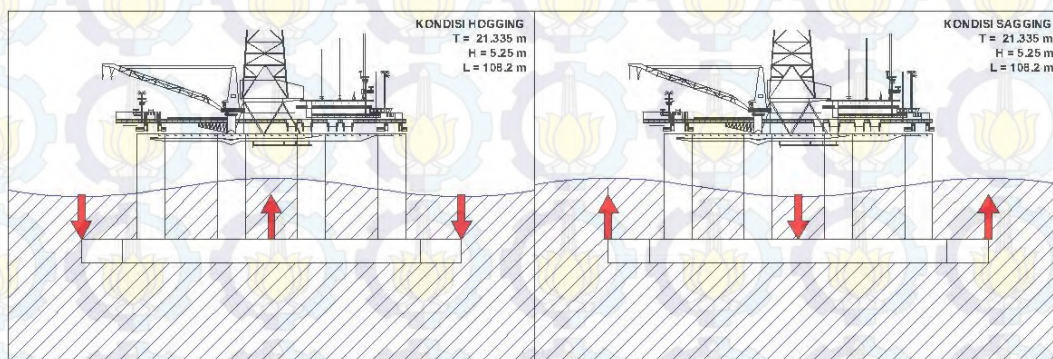


Gambar 4.8 Grafik *shear force* dan *bending moment* kondisi *Still Water*

Pada **Tabel 4.1** dan **Gambar 4.8** dapat dilihat bahwa pada kondisi *still water*, *shear force* maksimum terjadi pada station 23 sebesar 18.23 MN dan pada station 6 sebesar -6.98 MN. Sementara pada *bending moment* maksimum terjadi pada station 33 sebesar 119.03 MN.m dan pada station 11 sebesar -203.89 MN.m.

4.2.2 Perhitungan *Shear Force* dan *Bending Moment* Kondisi Gelombang

($\lambda=108.2\text{ m}$)



Gambar 4.9 Ilustrasi pembebanan kondisi panjang gelombang sama dengan panjang struktur

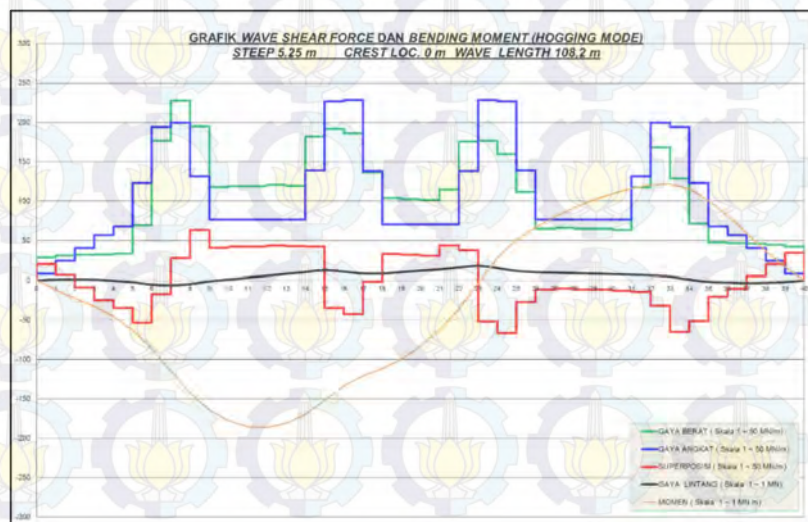
Perhitungan *shear force* dan *bending moment* dilakukan pada kondisi gelombang dengan sarat air operasi 21.335 m dan menggunakan variasi panjang gelombang

sama dengan panjang struktur, yaitu 108.2 m dan tinggi gelombang signifikan 5.25 m (**Gambar 4.9**). Didapat hasil *shear force* dan *bending moment* sebagai berikut:

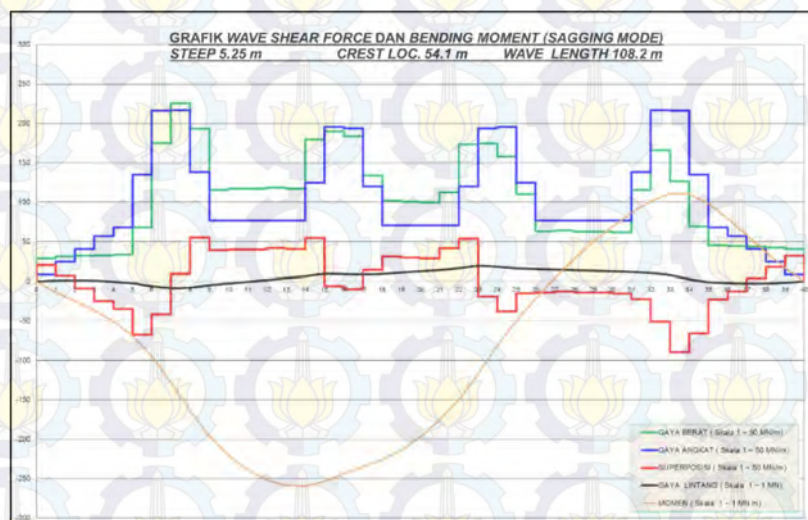
Tabel 4.2 Hasil perhitungan SF dan BM kondisi Gelombang ($\lambda=108.2$ m)

Station	HOGGING		SAGGING	
	Shear Force	Bending Moment	Shear Force	Bending Moment
	MN	MN.m	MN	MN.m
AP	0.00	0.00	0.00	0.00
1	1.11	-12.19	1.11	-13.39
2	1.47	-22.39	1.47	-24.78
3	1.00	-32.75	1.00	-36.33
4	-0.33	-45.54	-0.33	-50.32
5	-2.19	-62.65	-2.19	-68.63
6	-5.08	-86.18	-5.84	-94.39
7	-6.01	-114.87	-8.09	-128.12
8	-4.50	-142.79	-7.61	-164.26
9	-1.07	-164.03	-4.63	-195.71
10	1.16	-177.61	-2.52	-220.28
11	3.45	-185.08	-0.34	-239.04
12	5.75	-186.33	1.84	-251.91
13	8.13	-181.24	4.10	-258.76
14	10.45	-169.81	6.30	-259.58
15	12.76	-152.12	9.27	-253.42
16	10.89	-133.84	8.96	-243.66
17	8.60	-121.17	8.44	-235.03
18	8.50	-111.75	9.21	-226.05
19	10.29	-100.04	10.89	-213.76
20	12.02	-83.56	12.50	-197.02
21	13.69	-62.48	14.06	-176.00
22	16.07	-35.92	16.31	-149.83
23	18.10	-3.42	19.22	-116.67
24	15.30	28.06	18.19	-80.97
25	11.71	50.89	16.15	-49.41
26	10.24	66.88	15.35	-21.71
27	9.62	80.04	14.61	3.91
28	9.06	91.61	13.93	27.62
29	8.43	101.57	13.18	49.40
30	7.80	109.82	12.43	69.14
31	7.09	116.25	11.61	86.76
32	6.33	120.70	10.39	101.62

Station	HOGGING		SAGGING	
	Shear Force	Bending Moment	Shear Force	Bending Moment
	MN	MN.m	MN	MN.m
33	4.62	121.81	7.66	111.14
34	1.09	115.83	2.81	110.41
35	-1.70	101.31	-0.74	98.32
36	-2.81	81.53	-1.97	79.77
37	-3.37	59.47	-2.65	58.63
38	-3.08	37.05	-2.47	36.80
39	-1.97	16.52	-1.49	16.55
FP	-0.11	0.00	0.26	0.00



Gambar 4.10 Grafik shear force dan bending moment Hogging ($\lambda=108.2\text{ m}$)

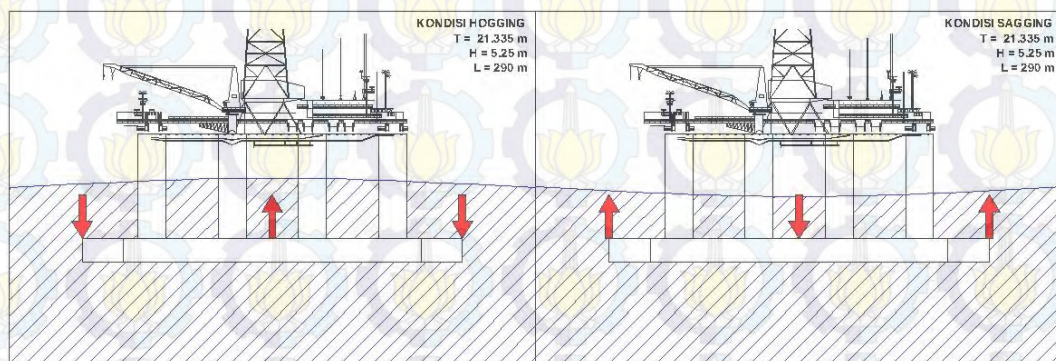


Gambar 4.11 Grafik shear force dan bending moment Sagging ($\lambda=108.2\text{ m}$)

Pada **Tabel 4.2** dan **Gambar 4.10** dapat dilihat bahwa pada kondisi panjang gelombang sama dengan panjang struktur mode *hogging*, *shear force* maksimum terjadi pada station 23 sebesar 18.1 MN dan pada station 7 sebesar -6.01 MN. Sementara pada *bending moment* maksimum terjadi pada station 33 sebesar 121.81 MN.m dan pada station 12 sebesar -186.33 MN.m.

Sementara pada kondisi panjang gelombang sama dengan panjang struktur mode *sagging* seperti pada **Tabel 4.2** dan **Gambar 4.11** dapat dilihat bahwa *shear force* maksimum terjadi pada station 23 sebesar -8.09 MN dan pada station 7 sebesar 19.22 MN. Sementara pada *bending moment* maksimum terjadi pada station 33 sebesar 111.14 MN.m dan pada station 14 sebesar -259.58 MN.m.

4.2.3 Perhitungan *Shear Force* dan *Bending Moment* Kondisi Gelombang 100-tahunan



Gambar 4.12 Ilustrasi pembebanan kondisi panjang gelombang periode 100-tahunan Laut Natuna

Perhitungan *shear force* dan *bending moment* dilakukan pada kondisi gelombang dengan sarat air operasi 21.335 m dan menggunakan variasi panjang gelombang 100-tahunan, dan tinggi gelombang signifikan 5.25 m (**Gambar 4.12**).

Untuk mencari *shear force* dan *bending moment* pada kondisi gelombang 100-tahunan terlebih dahulu dicari panjang gelombang dengan periode puncak gelombang 100-tahunan menggunakan persamaan panjang gelombang reguler (Djatkiko, 2013):

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{\lambda} \quad (4.1)$$

dengan:

λ : Panjang gelombang, *m*

T : Periode gelombang, *sec*

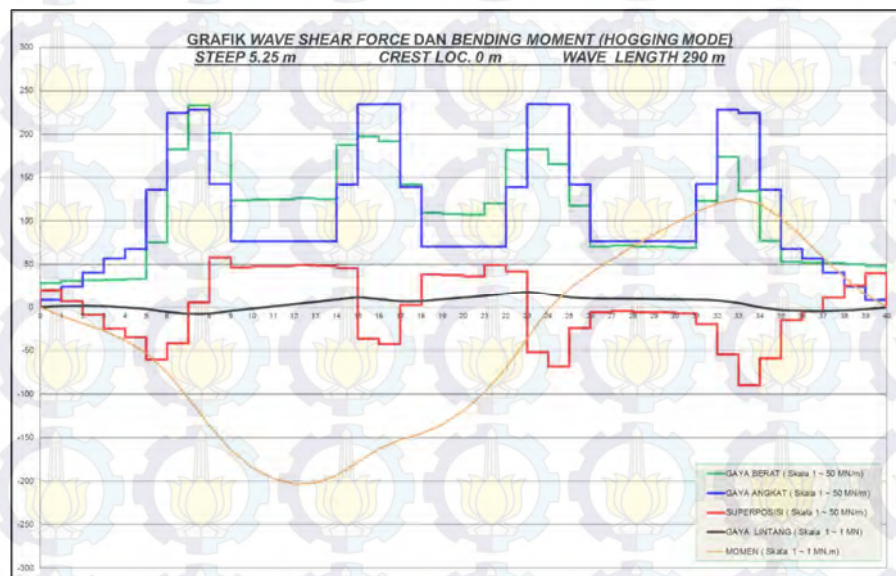
d : Kedalaman perairan, *m*

Berdasarkan data lingkungan sebagai berikut: periode puncak ($T_{p\ max}$) 13.9 sec, kedalaman perairan (*d*) 90 m didapat dari proses iterasi yaitu panjang gelombang reguler (λ) 289.66 m atau dapat disederhanakan menjadi 290 m. Didapat hasil *shear force* dan *bending moment* sebagai berikut:

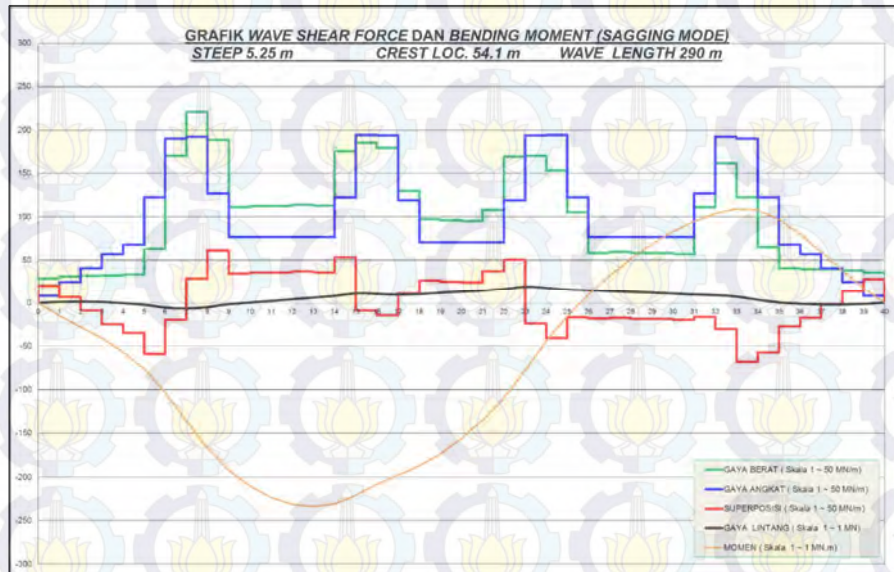
Tabel 4.3 Hasil perhitungan SF dan BM kondisi Gelombang ($\lambda=290\ m$)

<i>Station</i>	<i>HOGGING</i>		<i>SAGGING</i>	
	<i>Shear Force</i>	<i>Bending Moment</i>	<i>Shear Force</i>	<i>Bending Moment</i>
	MN	MN.m	MN	MN.m
AP	0.00	0.00	0.00	0.00
1	1.11	-10.21	1.11	-14.91
2	1.47	-18.44	1.47	-27.82
3	1.00	-26.82	1.00	-40.89
4	-0.33	-37.63	-0.33	-56.40
5	-2.19	-52.77	-2.19	-76.23
6	-5.47	-74.85	-5.39	-102.89
7	-7.73	-104.43	-6.46	-135.33
8	-7.45	-136.69	-4.89	-167.09
9	-4.31	-164.32	-1.57	-192.26
10	-1.77	-184.27	0.29	-210.40
11	0.83	-197.27	2.23	-223.41
12	3.43	-203.24	4.16	-231.18
13	6.12	-202.05	6.18	-233.60
14	8.73	-193.68	8.13	-230.66
15	11.20	-178.45	11.00	-221.19
16	9.23	-162.55	10.53	-208.47
17	6.92	-152.43	9.75	-197.45
18	7.06	-145.24	10.34	-186.69
19	9.16	-135.02	11.77	-173.20
20	11.20	-119.21	13.14	-155.92
21	13.17	-97.97	14.45	-135.03
22	15.85	-70.44	16.46	-109.64
23	18.13	-36.22	19.18	-77.86

Station	HOGGING		SAGGING	
	Shear Force MN	Bending Moment MN.m	Shear Force MN	Bending Moment MN.m
24	15.32	-2.71	17.90	-44.12
25	11.61	21.99	15.69	-15.11
26	10.31	39.92	14.79	9.71
27	9.99	55.64	13.81	31.98
28	9.73	70.59	12.89	51.66
29	9.40	84.75	11.89	68.76
30	9.08	98.02	10.89	83.16
31	8.68	110.31	9.83	94.77
32	7.63	120.63	8.95	103.76
33	4.69	125.57	7.30	109.33
34	-0.17	119.96	3.64	107.71
35	-3.35	103.48	0.54	96.94
36	-4.15	81.62	-0.93	79.99
37	-4.42	58.30	-1.86	59.79
38	-3.82	35.45	-1.93	38.24
39	-2.41	15.31	-1.19	17.61
FP	-0.24	0.00	0.31	0.00



Gambar 4.13 Grafik shear force dan bending moment Hogging ($\lambda=290$ m)

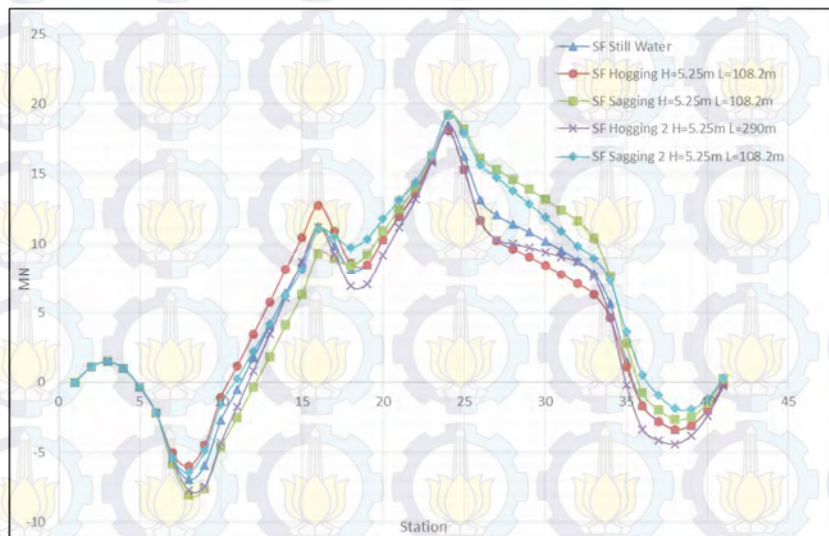


Gambar 4.14 Grafik *shear force* dan *bending moment* Sagging ($\lambda=290$ m)

Pada **Tabel 4.3** dan **Gambar 4.13** dapat dilihat bahwa pada kondisi panjang gelombang 100-tahunan mode *hogging*, *shear force* maksimum terjadi pada station 23 sebesar 18.1 MN dan pada station 7 sebesar -6.01 MN. Sementara pada *bending moment* maksimum terjadi pada station 33 sebesar 121.81 MN.m dan pada station 12 sebesar -186.33 MN.m.

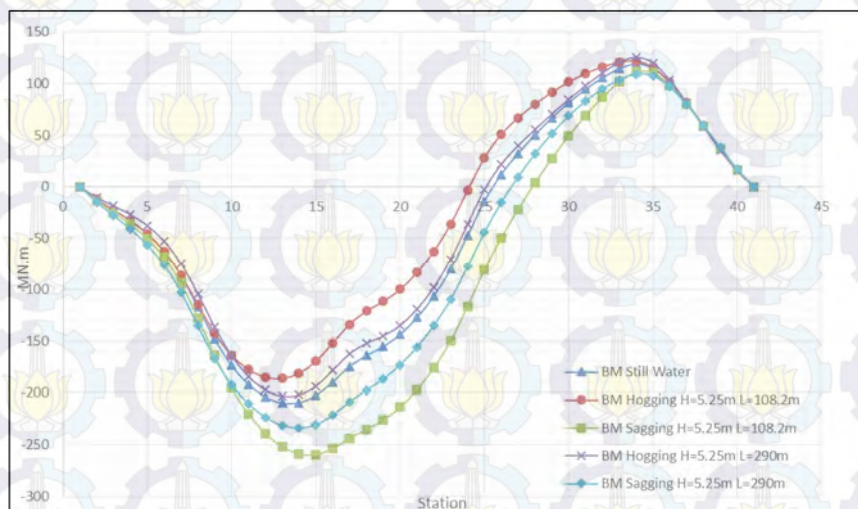
Sementara pada kondisi panjang gelombang 100-tahunan mode *sagging* seperti pada **Tabel 4.3** dan **Gambar 4.14** dapat dilihat bahwa *shear force* maksimum terjadi pada station 23 sebesar -8.09 MN dan pada station 7 sebesar 19.22 MN. Sementara pada *bending moment* maksimum terjadi pada station 33 sebesar 111.14 MN.m dan pada station 14 sebesar -259.58 MN.m.

4.2.4 Komparasi Hasil *Shear Force* dan *Bending Moment*



Gambar 4.15 Komparasi *shear force* dalam berbagai kondisi pembebanan

Dapat dilihat pada **Gambar 4.15**, *shear force* maksimum terjadi saat kondisi *sagging* pada panjang gelombang sama dengan panjang *semisubmersible* sebesar 19.18 MN. Hal ini disebabkan karena distribusi gaya apung maksimum terjadi pada kondisi *sagging* gelombang sama dengan panjang *semisubmersible*. Sedangkan *shear force* minimum terjadi saat kondisi *hogging* pada panjang gelombang sama dengan panjang *semisubmersible* sebesar 0.33 MN. Hal ini disebabkan karena distribusi gaya apung minimum terjadi saat kondisi *hogging* pada panjang gelombang sama dengan panjang *semisubmersible*.



Gambar 4.16 Komparasi *bending moment* dalam berbagai kondisi pembebanan

Serupa dengan *shear force*, dapat dilihat pada **Gambar 4.16** bahwa *bending moment* maksimum terjadi saat kondisi *sagging* pada panjang gelombang sama dengan panjang *semisubmersible* sebesar 259.58 MN.m. Sedangkan *bending moment* minimum terjadi saat kondisi *hogging* pada panjang gelombang sama dengan panjang *semisubmersible* sebesar 13.39 MN.m.

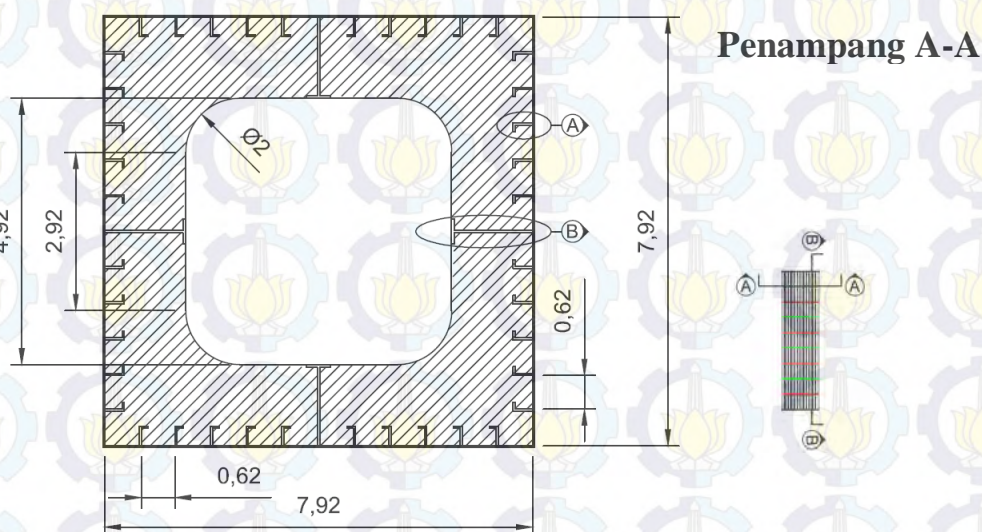
Secara umum bentuk *shear force* dan *bending moment* sangat dipengaruhi oleh distribusi beban dan gaya apung. Karena distribusi gaya apung pada semua kondisi memiliki perubahan yang tidak terjadi secara signifikan, akibatnya bentuk *shear force* dan *bending moment* memiliki pola yang serupa.

4.3 ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR

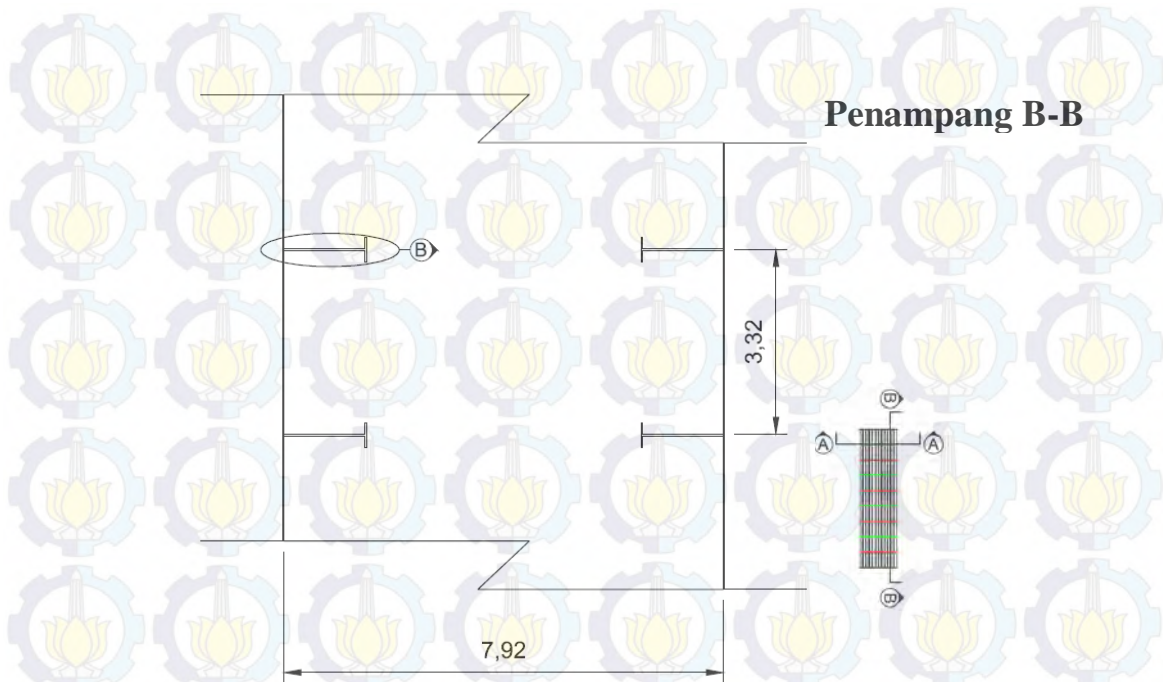
Analisis kekuatan struktur pada penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui distribusi tegangan pada struktur *semisubmersible* akibat *shear force* dan *bending moment*.

4.3.1 Perancangan *Scantling* Kolom dan Ponton

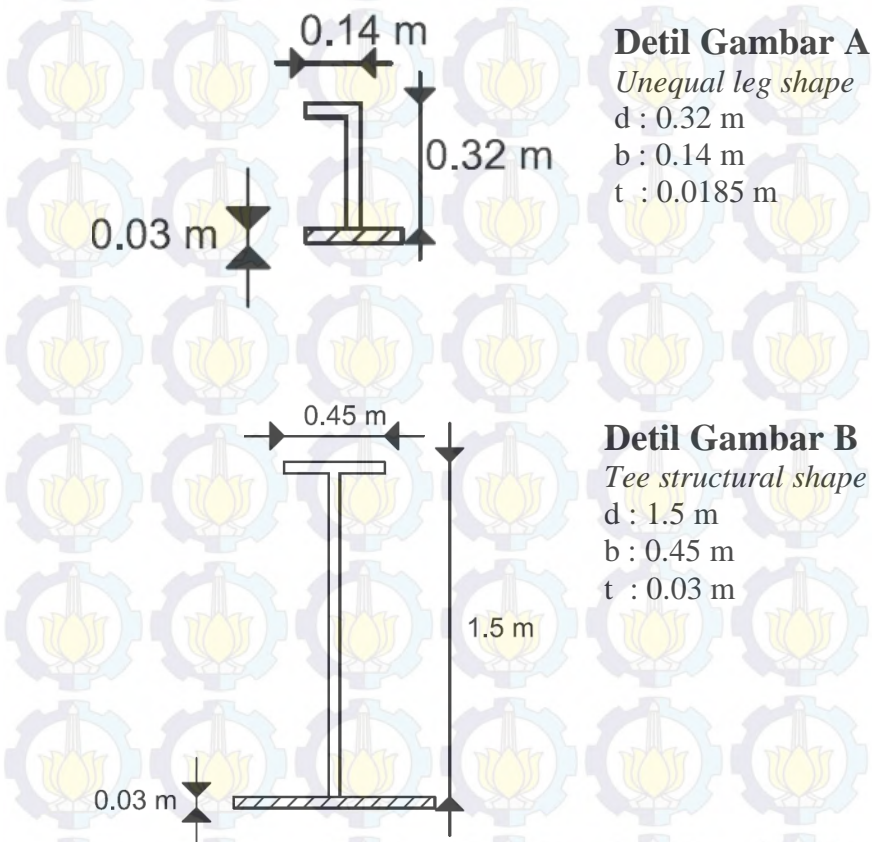
Perancangan *scantling* dilakukan untuk mengetahui keseluruhan komponen yang terdapat dalam struktur kolom dan ponton. Perancangan *scantling* mengacu pada desain *scantling semisubmersible* Essar Wildcat dan TLP *West Seno*. Desain struktur kolom dapat dilihat pada **Gambar 4.17** hingga **Gambar 4.19** dan struktur ponton pada **Gambar 4.20** hingga **Gambar 4.22**.



Gambar 4.17 Penampang melintang kolom

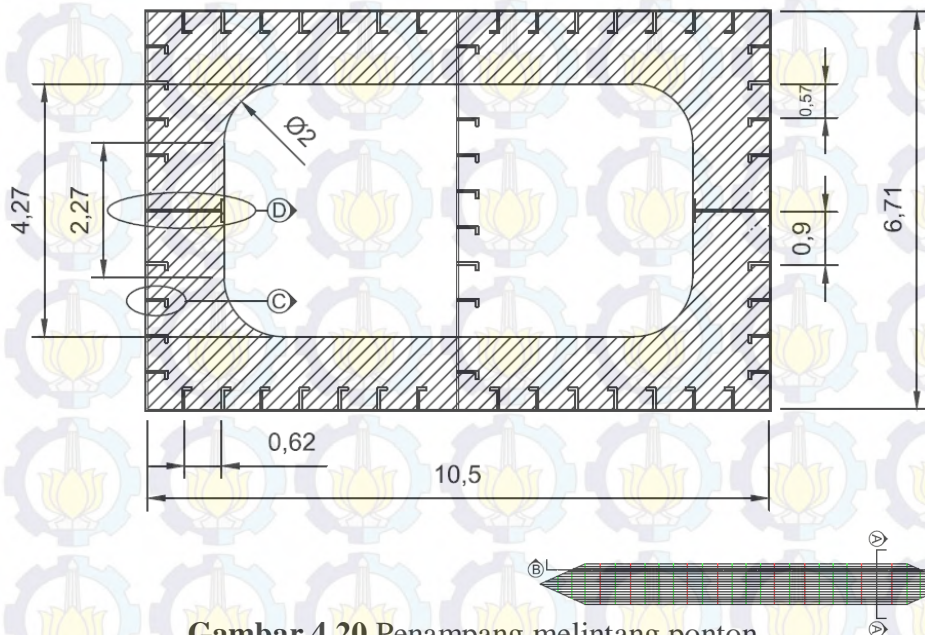


Gambar 4.18 Penampang membujur kolom



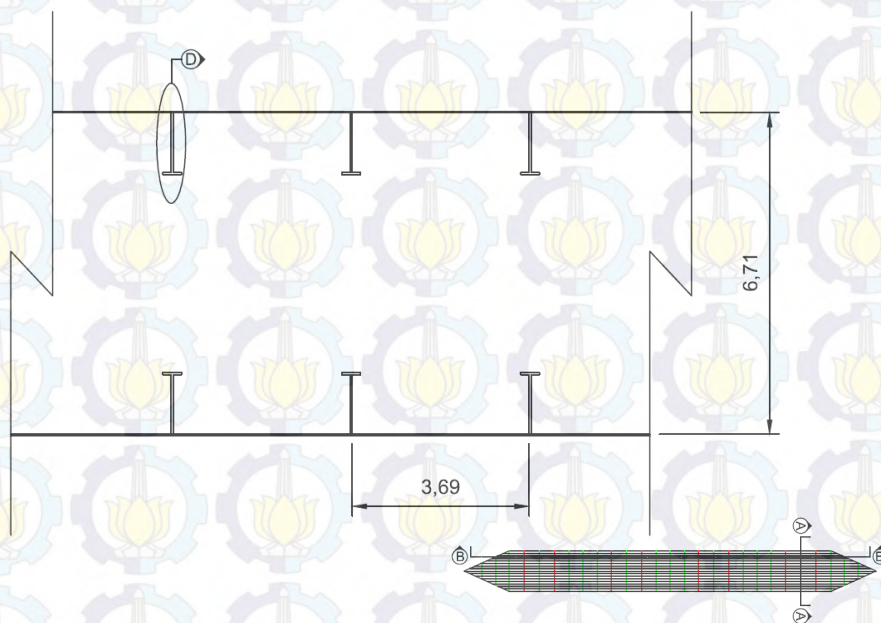
Gambar 4.19 Detil gambar profil *stiffener* (a) dan *beam* (b) pada kolom

Penampang A-A

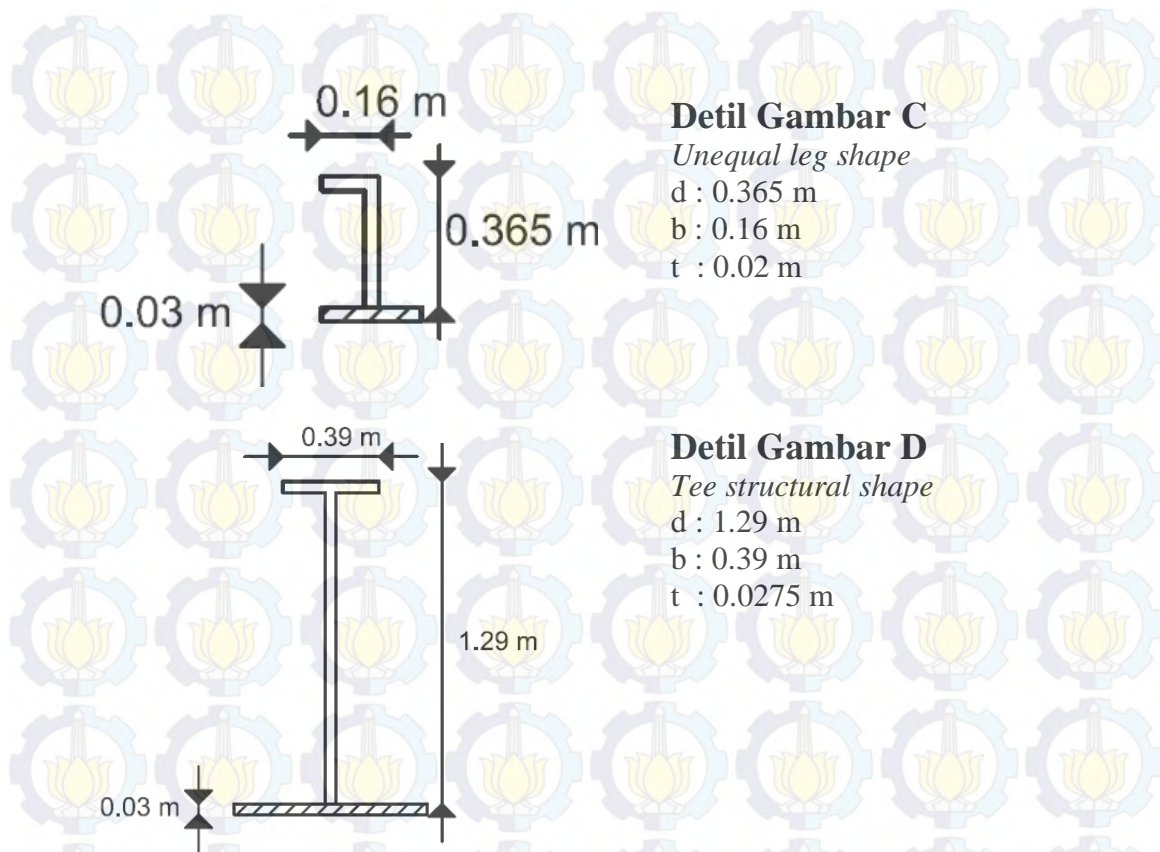


Gambar 4.20 Penampang melintang ponton

Penampang B-B



Gambar 4.21 Penampang membujur ponton



Gambar 4.22 Detil gambar profil *stiffener* (a) dan *beam* (b) pada ponton

4.3.2 Pemodelan dengan ANSYS

Langkah-langkah penyelesaian dengan menggunakan ANSYS yaitu:

1. Membuat model geometri struktur

Pada tahap ini model dibuat semirip mungkin dengan kondisi struktur di lapangan, pembuatan model dapat dilakukan dengan bantuan software AutoCAD 3D.

2. Meshing model

Meshing pada model dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan dengan menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*). Konfigurasi *meshing* pada struktur bergantung pada tingkat kerumitan model, semakin rumit model maka *meshing* semakin sulit dilakukan.

3. Input kondisi pembebanan pada model

Beban yang diberikan pada model adalah beban-beban yang semirip mungkin diterima oleh struktur di lapangan. Beberapa input beban yang diberikan pada

struktur yaitu gaya (*force*), momen (*moment*), serta kondisi batas (*boundary condition*) berupa *fix support*, *elastic support* maupun *frictionless support*.

4. Penyelesaian permasalahan pada model

Penyelesaian permasalahan dalam ANSYS Mechanical beberapa diantaranya yaitu tegangan (*stress*), regangan (*strain*), deformasi (*deformation*), dan kelelahan (*fatigue*).

4.3.3 Pemodelan Global

Untuk mendapatkan distribusi tegangan akibat *shear force* dan *bending moment*, dilakukan pemilihan respon struktur terbesar pada berbagai variasi pembebanan. Respon struktur terbesar didapatkan pada gerakan *sagging* adalah pada gelombang sama dengan panjang struktur dengan *shear force* sebesar 19.18 MN dan *bending moment* sebesar 259.58 MN.m dan pada gerakan *hogging* adalah pada gelombang dengan periode 100-tahunan dengan *shear force* sebesar 18.12 MN dan *bending moment* sebesar 203.23 MN.m. **Tabel 4.4** dan **Tabel 4.5** merupakan input beban *shear force* dan *bending moment* pada kondisi *sagging* dan *hogging*:

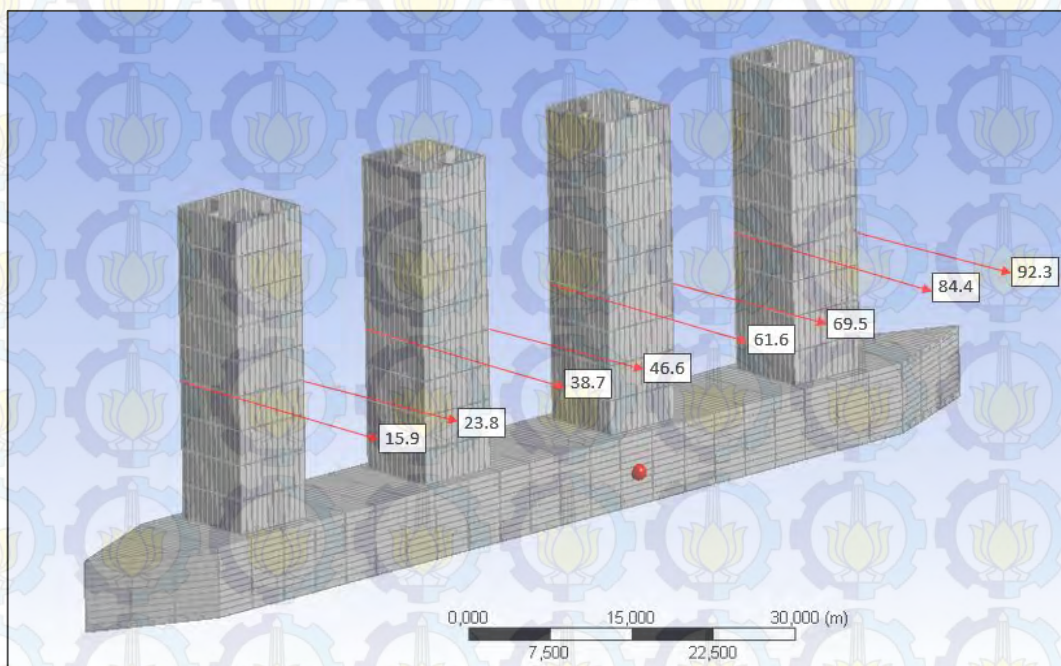
Tabel 4.4 Input SF dan BM pada kondisi *Sagging*

Column	Longitudinal Location	Shear Force	Bending Moment
	m	MN	MN.m
1	15.9	-2	-70
	23.8	-8	-165
2	38.7	4	-260
	46.6	9	-240
3	61.6	16.5	-150
	69.5	16.5	-50
4	84.4	12.5	70
	92.3	7.5	120

Tabel 4.5 Input SF dan BM pada kondisi *Hogging*

Column	Longitudinal Location	Shear Force	Bending Moment
	m	MN	MN.m
1	15.9	-2	-50
	23.8	-8	-135

Column	Longitudinal Location	Shear Force	Bending Moment
	m	MN	MN.m
2	38.7	6	-200
	46.6	9	-160
3	61.6	16	-70
	69.5	12	-50
4	84.4	9	20
	92.3	5	125



Gambar 4.23 Lokasi input *shear force* dan *bending moment* pada model

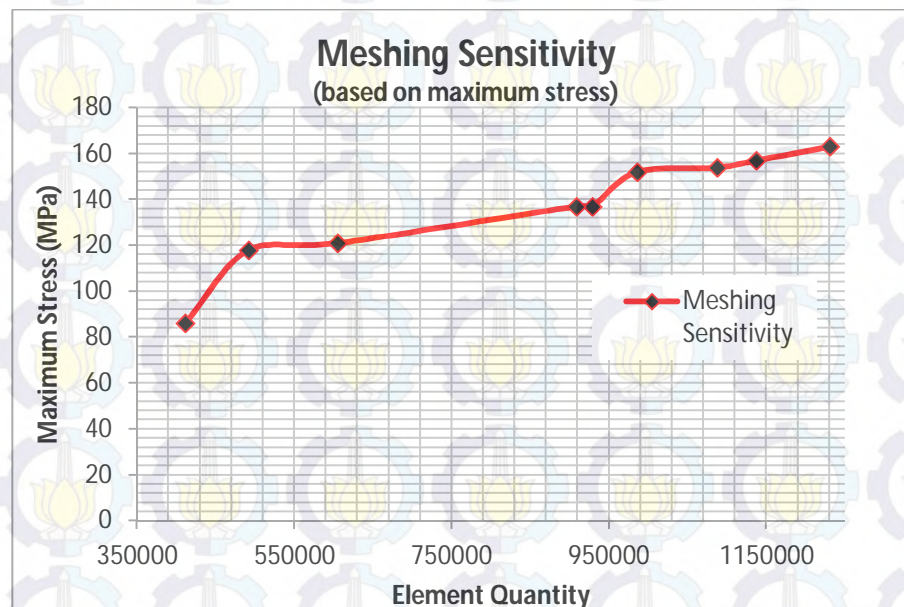
Pemodelan dilakukan dengan input beban seperti pada **Gambar 4.23** dan variasi model struktur, yaitu model dengan deck dan model tanpa deck. Penggunaan model tanpa deck dilakukan untuk mengetahui kekuatan kolom-ponton terhadap beban yang bekerja secara mandiri pada masing-masing kolom.

Sebelum melakukan *running* untuk mendapatkan *output* pemodelan, terlebih dahulu dilakukan *meshing sensitivity* untuk mendapatkan ukuran elemen *mesh* yang sesuai untuk digunakan pada seluruh model. Hal ini dilakukan karena ukuran elemen *mesh* yang berbeda cenderung menghasilkan *output* yang berbeda. *Meshing*

sensitivity dilakukan sampai *output* yang dihasilkan stabil, berikut merupakan hasil *meshing sensitivity* pada model (Tabel 4.6):

Tabel 4.6 *Meshing sensitivity* pada model global

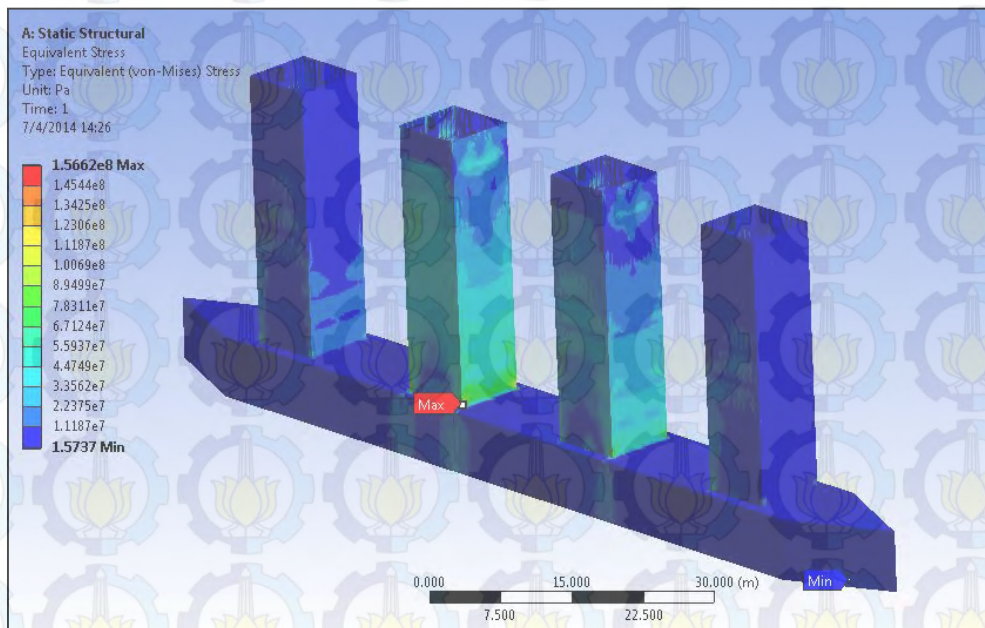
Element Size m	Statistics		Maximum	
	Node	Element	Stress MPa	Deformation m
0.38	2.311.257	1.230.991	163	0.0522
0.4	2.128.939	1.136.903	157	0.0521
0.42	2.035.721	1.087.492	154	0.0521
0.44	1.840.464	985.504	152	0.0503
0.48	1.729.363	929.036	137	0.0499
0.5	1.683.588	908.745	137	0.0498
0.8	1.059.776	604.760	121	0.0439
1	857.645	491.951	118	0.0429
1.5	695.599	411.081	86	0.0408



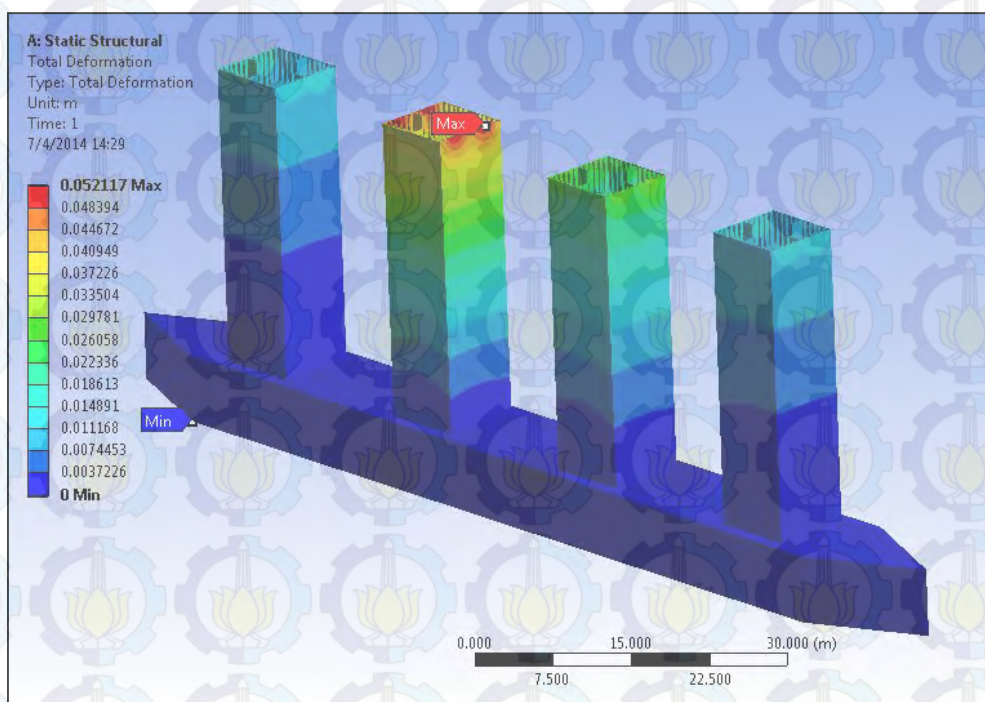
Gambar 4.24 Grafik *meshing sensitivity* berdasarkan tegangan maksimum

Dari **Gambar 4.24** dapat dilihat bahwa *output* tegangan maksimum mulai stabil pada ukuran *mesh* 0.44 m hingga 0.38 m. Sehingga dipilih ukuran elemen *mesh* 0.4 m dengan jumlah *node* sebanyak 2.128.939 buah dan jumlah elemen *mesh* sebanyak 1.136.903 buah. Ukuran elemen *mesh* tersebut akan digunakan pada seluruh model *semisubmersible*.

Berikut merupakan distribusi tegangan dan deformasi pada model tanpa deck:

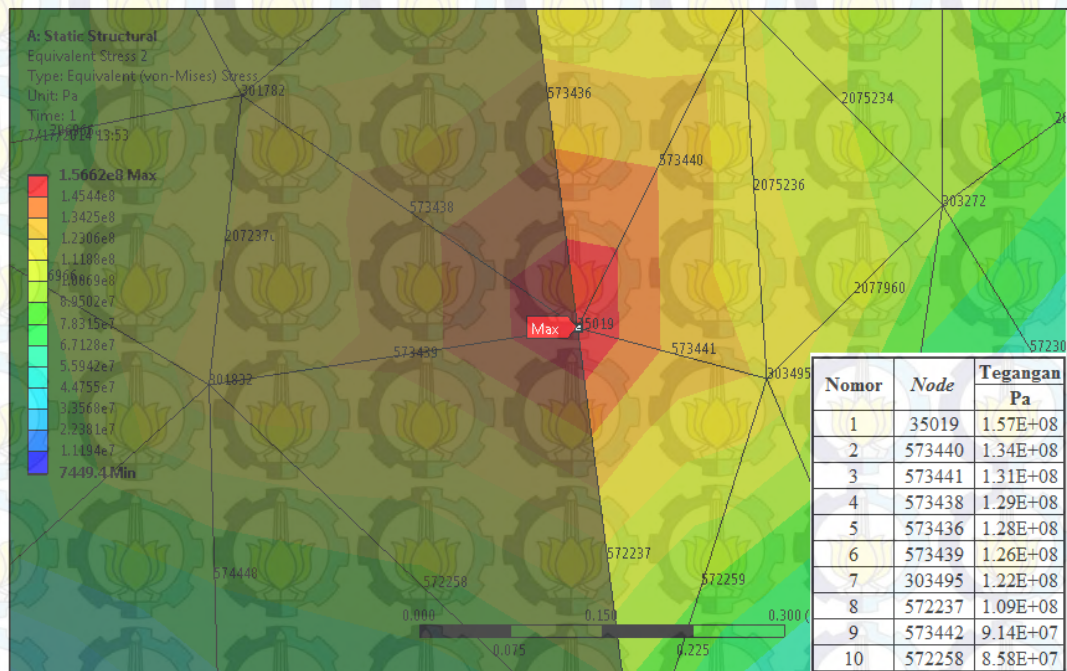


(a)



(b)

Gambar 4.25 Distribusi tegangan (a) dan deformasi (b) yang terjadi pada sambungan kolom dan ponton tanpa deck

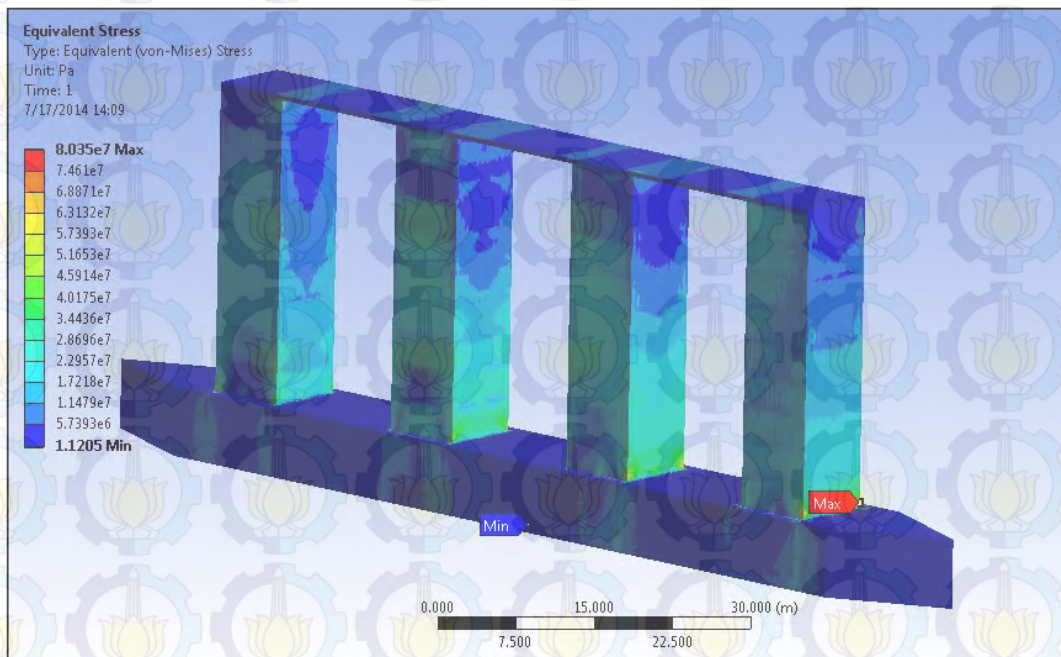


Gambar 4.26 Konsentrasi tegangan maksimum model tanpa deck

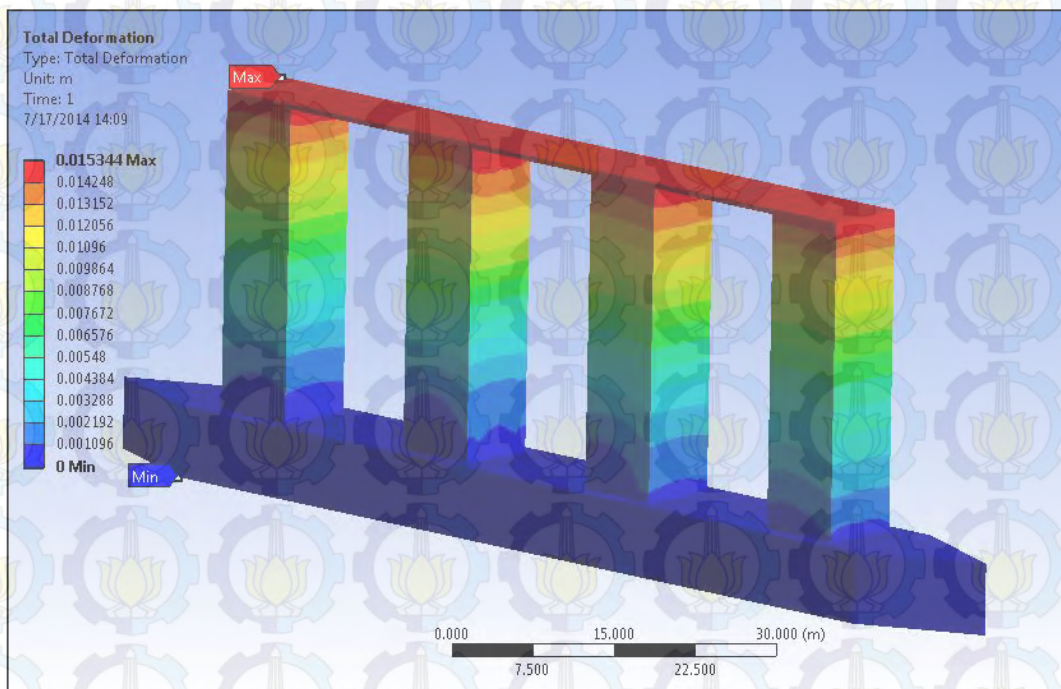
Dari *output* model tanpa deck didapatkan hasil tegangan maksimum 157 MPa dan deformasi maksimum sebesar 0.0521 m. Dapat dilihat pada **Gambar 4.25a** bahwa konsentrasi tegangan terjadi pada seluruh sambungan kolom-ponton. Konsentrasi tegangan terbesar terjadi pada kolom kedua (**Gambar 4.26**).

Sementara pada deformasi terjadi pada seluruh puncak kolom dan deformasi terbesar terjadi pada kolom kedua (**Gambar 4.25b**). Tegangan dan deformasi maksimum pada tiap kolom terjadi akibat pengaruh *bending moment* pada keseluruhan model global. Sementara pada kolom kedua terjadi tegangan dan deformasi maksimum karena *bending moment* terbesar terjadi pada kolom kedua sebesar 260 MN.m.

Berikut merupakan distribusi tegangan dan deformasi pada dengan deck *smeared*:

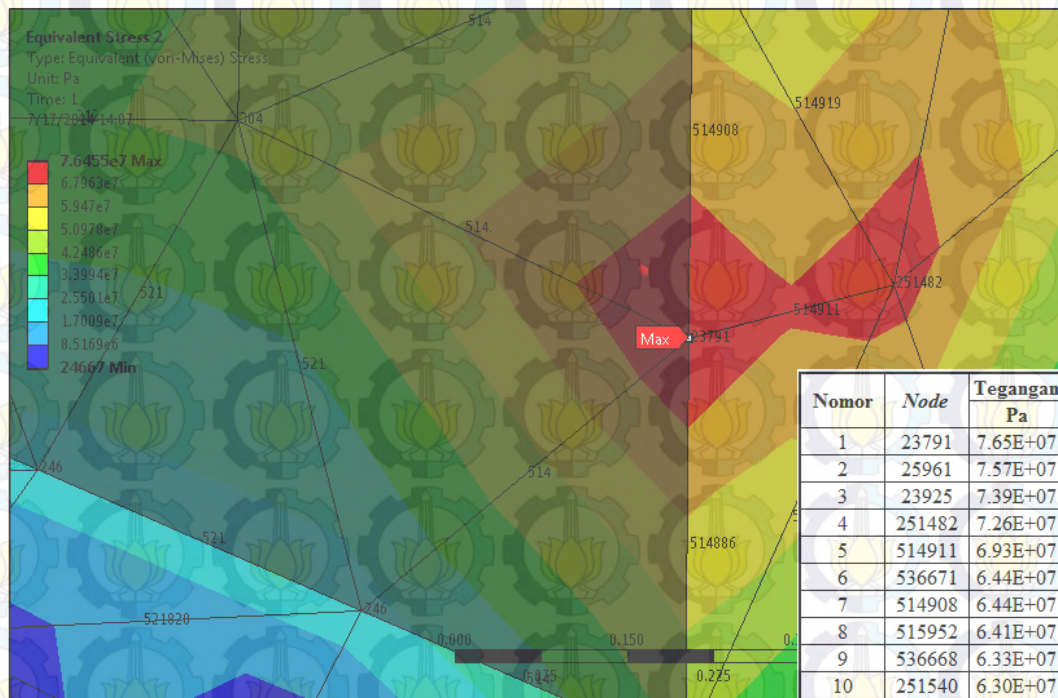


(a)



(b)

Gambar 4.27 Distribusi tegangan (a) dan deformasi (b) yang terjadi pada sambungan kolom dan ponton dengan deck *smeared*



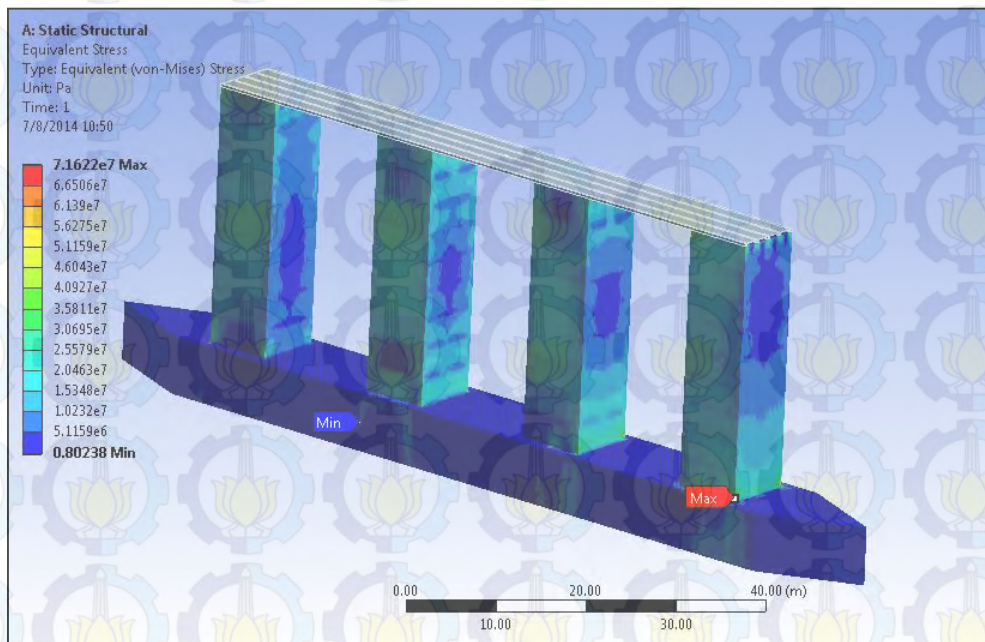
Gambar 4.28 Konsentrasi tegangan maksimum model tanpa deck

Dari *output* model dengan deck *smeared* ($t_{smeared} = 0.3$ m) didapatkan hasil tegangan maksimum 80 MPa dan deformasi maksimum sebesar 0.0157 m. Dapat dilihat pada

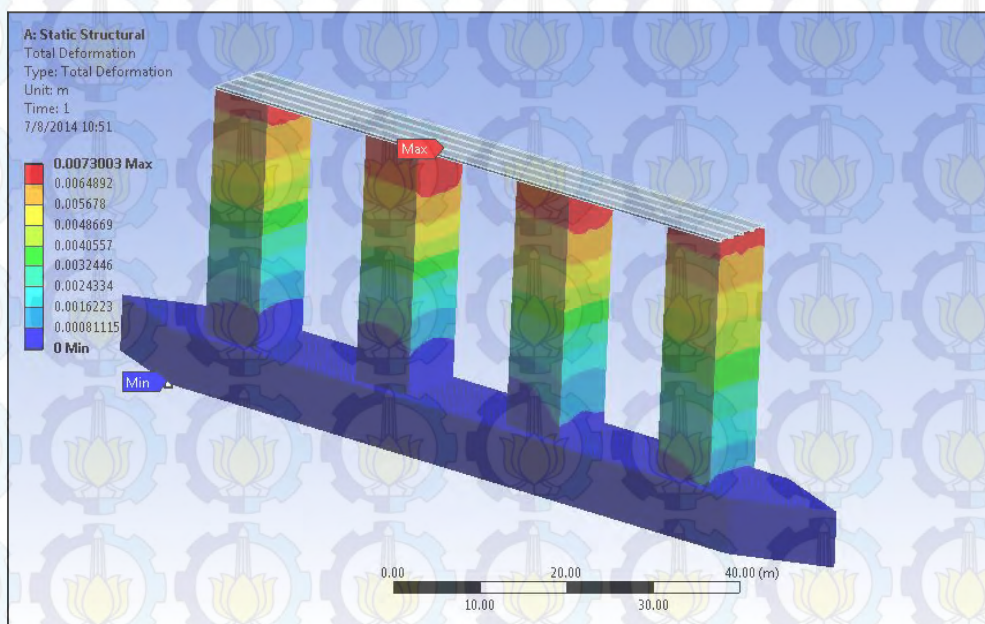
Gambar 4.27a bahwa konsentrasi tegangan terjadi pada seluruh sambungan kolom-ponton. Konsentrasi tegangan terbesar terjadi pada kolom kedua (**Gambar 4.28**).

Sementara pada deformasi terjadi pada puncak kolom dan deck (**Gambar 4.27b**). Deformasi terbesar terjadi pada ujung deck. Tegangan dan deformasi maksimum pada tiap kolom terjadi akibat pengaruh *bending moment* pada keseluruhan model global. Tegangan dan deformasi berkurang signifikan karena *bending moment* pada tiap kolom terdistribusi merata dengan perantara deck *smeared*.

Berikut merupakan distribusi tegangan dan deformasi model dengan deck *rigid*:

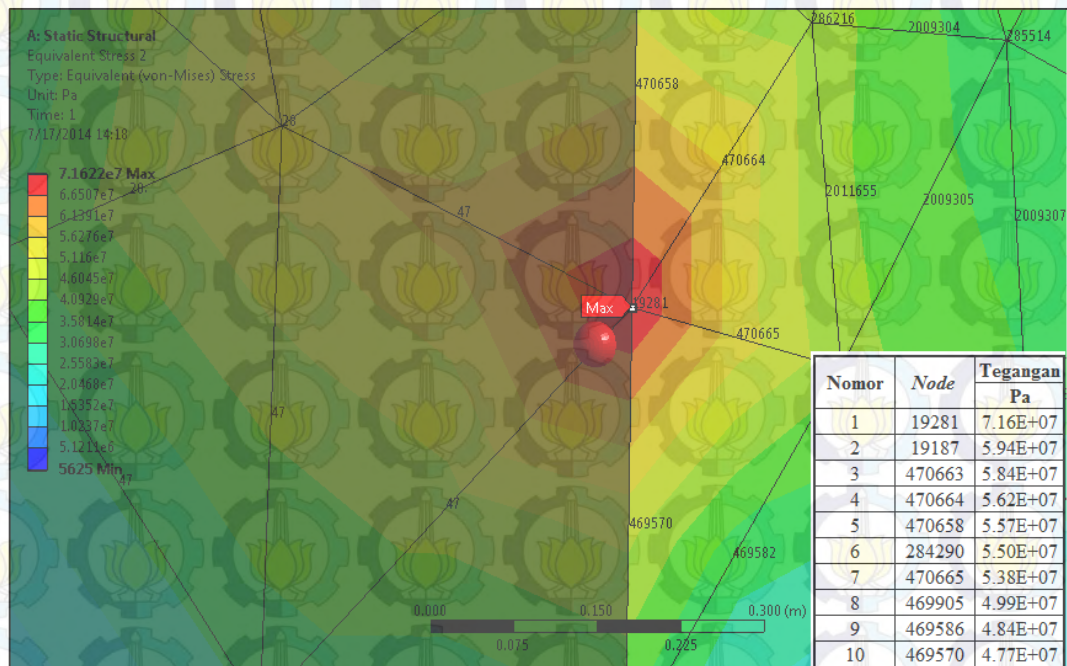


(a)



(b)

Gambar 4.29 Distribusi tegangan (a) dan deformasi (b) yang terjadi pada sambungan kolom dan ponton dengan deck *rigid*



Gambar 4.30 Konsentrasi tegangan maksimum model dengan deck *rigid*

Sementara dari *output* model dengan deck *rigid* didapatkan hasil tegangan maksimum 72 MPa dan deformasi maksimum sebesar 0.0072 m. Dapat dilihat pada **Gambar 4.29a** untuk konsentrasi tegangan sama seperti pemodelan tanpa deck, terjadi pada seluruh sambungan kolom-ponton dan konsentrasi tegangan terbesar terjadi pada kolom kedua (**Gambar 4.30**). Berbeda dengan pemodelan tanpa deck, tegangan dan deformasi terdistribusi merata di seluruh kolom yang dapat dilihat pada **Gambar 4.29a** dan **Gambar 4.29b**, hal ini disebabkan seluruh kolom dihubungkan oleh deck sehingga beban disalurkan merata ke seluruh kolom dengan perantara deck yang dimodelkan sebagai *rigid beam*.

Hasil dari ketiga pemodelan memberikan tegangan maksimum yang lebih rendah dari tegangan ijin material baja A36 yaitu 250 MPa. Dapat dilihat bahwa pemodelan dengan deck memberikan *output* tegangan dan deformasi maksimum yang lebih kecil.

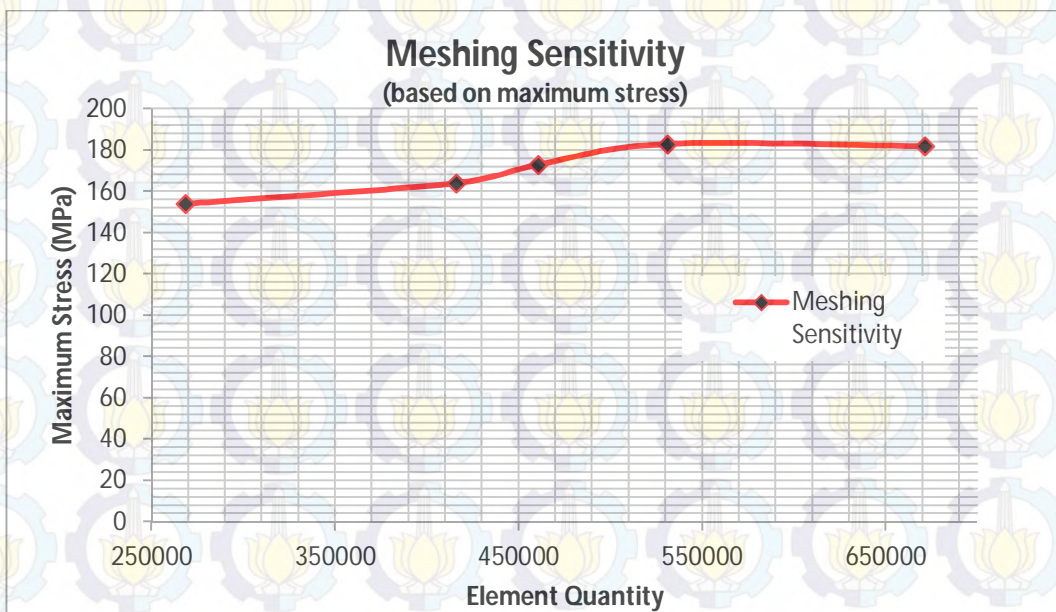
4.3.4 Pemodelan Lokal (Sambungan Kolom-Ponton)

Pada pemodelan lokal hanya dibatasi pada sambungan kolom-ponton yang mengalami tegangan paling kritis pada pemodelan global dan pada kondisi struktur mengalami *sagging*. Hal dilakukan karena tegangan maksimum yang terjadi pada

kondisi *sagging* masih lebih besar dari pada kondisi *hogging*. Penentuan ukuran elemen *mesh* dilakukan dengan metode *meshing sensitivity* untuk mendapatkan konsentrasi tegangan yang paling efektif pada model. Berikut merupakan hasil *meshing sensitivity* (Tabel 4.7):

Tabel 4.7 *Meshing sensitivity* pada model lokal

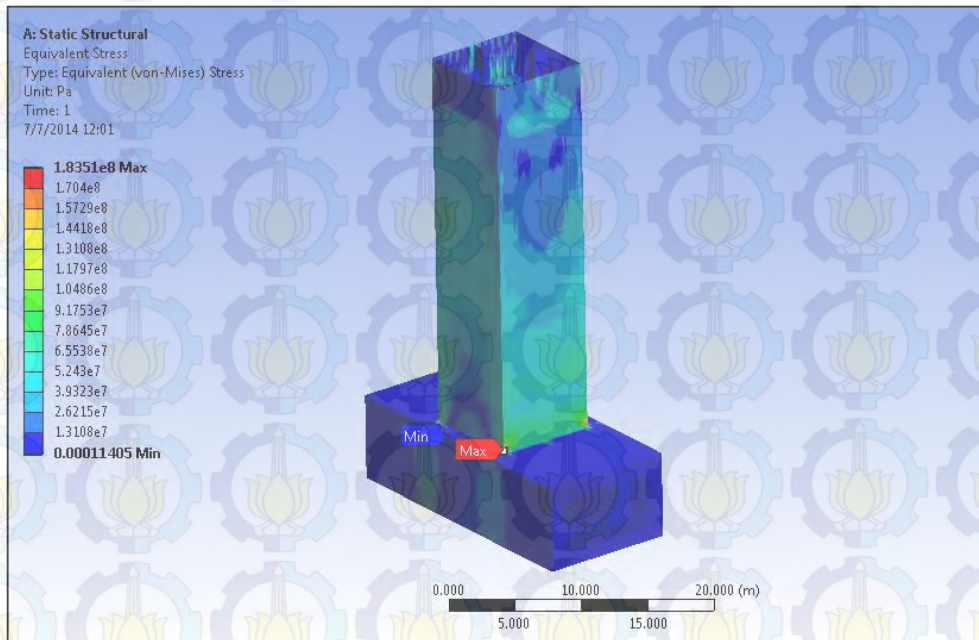
Element Size	Statistics		Maximum	
	Node	Element	Stress MPa	Deformation m
0.22	1.321.452	671.087	182	0.0551
0.25	1.036.653	530.755	183	0.0547
0.28	891.130	460.478	173	0.0543
0.3	799.663	415.652	164	0.0542
0.4	504.229	268.358	154	0.0522



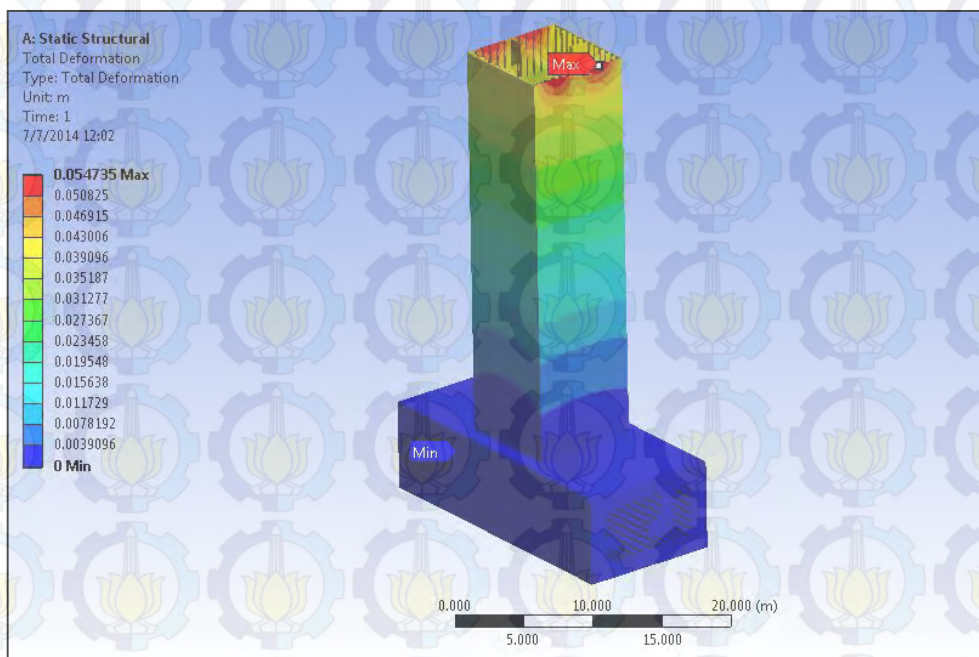
Gambar 4.31 Grafik *meshing sensitivity* berdasarkan tegangan maksimum

Dari **Gambar 4.31** dapat dilihat bahwa *output* tegangan maksimum mulai stabil pada ukuran *mesh* 0.25 m hingga 0.22 m. Sehingga dipilih ukuran elemen *mesh* 0.25 m dengan jumlah *node* sebanyak 1.036.653 buah dan jumlah elemen *mesh* sebanyak 530.755 buah. Ukuran elemen *mesh* tersebut akan digunakan pada seluruh model lokal *semisubmersible*.

Berikut merupakan hasil pemodelan lokal sambungan kolom-ponton:

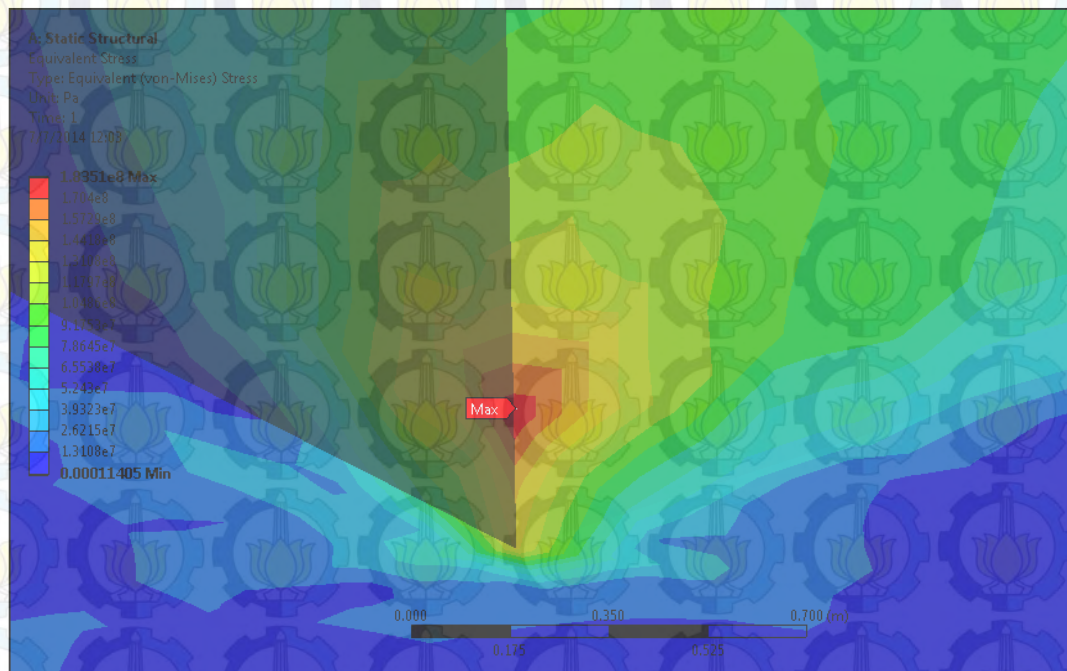


(a)



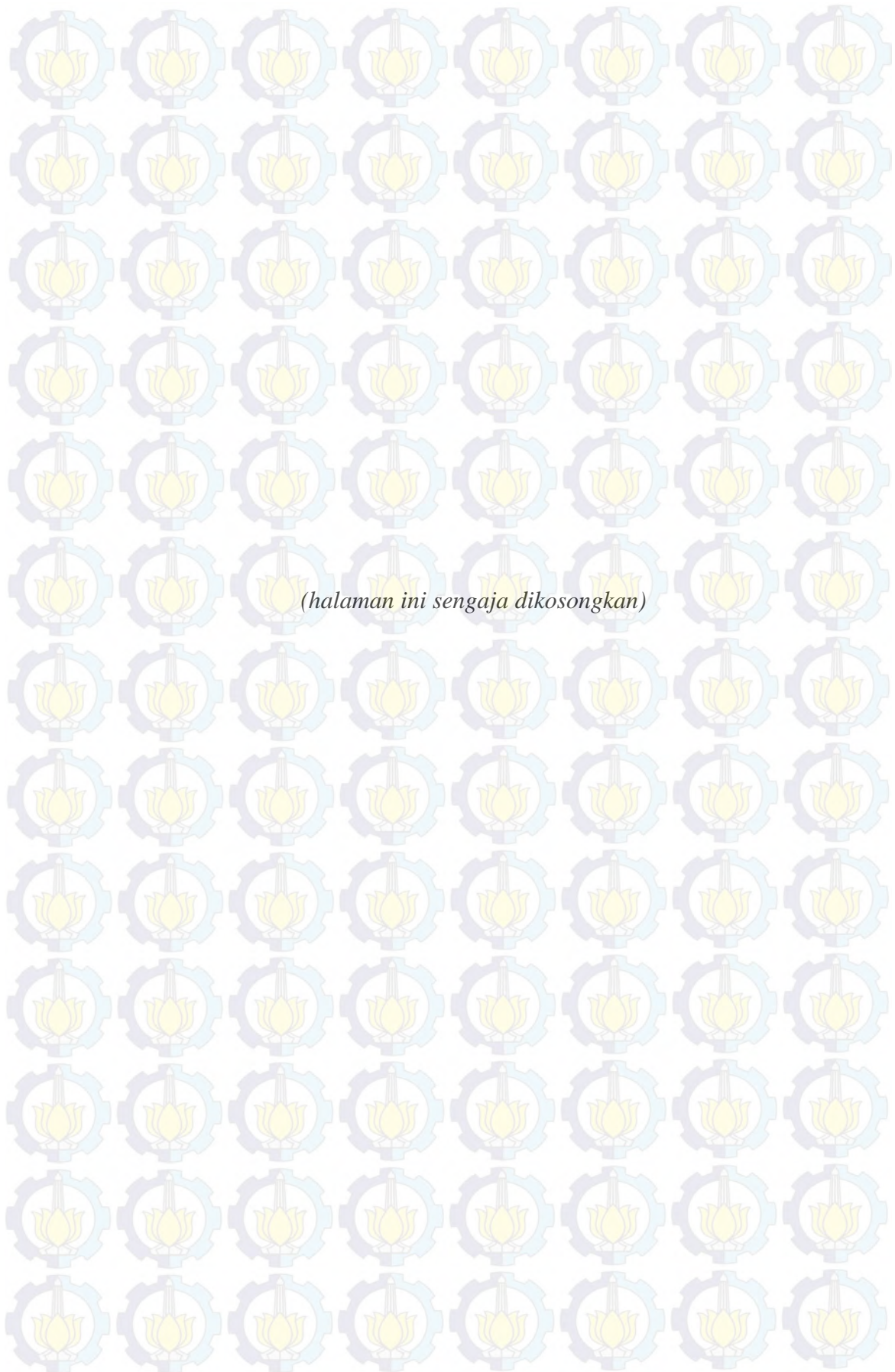
(b)

Gambar 4.32 Distribusi tegangan (a) dan deformasi (b) yang terjadi pada model lokal sambungan kolom dan ponton



Gambar 4.33 Konsentrasi tegangan maksimum pada model lokal

Dari **Gambar 4.32a** dan **Gambar 4.32b** dapat dilihat bahwa pemodelan lokal sambungan kolom-ponton memberikan *output* tegangan maksimum sebesar 183 MPa dan deformasi maksimum sebesar 0.0547 m pada puncak kolom. Konsentrasi tegangan terjadi pada sambungan kolom-ponton, hal ini serupa dengan hasil pemodelan global tanpa deck seperti pada **Gambar 4.33**. Hasil tersebut melampaui hasil pada model global tanpa deck, hal ini disebabkan karena ukuran elemen *mesh* yang lebih kecil dari model global. Pada pemodelan lokal, nilai tegangan maksimum masih dibawah batas tegangan luluh material baja A36 sebesar 250 MPa.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dari Tugas Akhir, hasil dari analisis, pembahasan yang dilakukan serta saran-saran yang perlu diberikan untuk penelitian lebih lanjut. Bab ini juga untuk menjawab permasalahan yang telah di rumuskan pada Bab I.

5.1.KESIMPULAN

Dari analisa yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai *shear force* maksimum terjadi pada lokasi 64.9 m dari buritan sebesar 18.128 MN untuk kondisi *hogging* pada lokasi yang sama sebesar 19.219 MN untuk kondisi *sagging*. Sedangkan nilai *bending moment* terbesar untuk kondisi *hogging* terletak di lokasi 35.2 m dari buritan sebesar -203.237 MN.m dan kondisi *sagging* terletak pada lokasi 40.6 m dari buritan sebesar -259.585 MN.m.
2. Tegangan maksimum pada model global didapat dengan hasil sebagai berikut:
 - Pada model global tanpa deck, tegangan maksimum terjadi pada sambungan ponton dan kolom pada kolom kedua (lokasi 46.6 m dari buritan) dengan nilai tegangan yang terjadi sebesar 157 MPa.
 - Pada model global dengan deck *smearred*, tegangan maksimum terjadi pada sambungan ponton dan kolom pada kolom keempat (lokasi 92.3 m dari buritan) dengan nilai tegangan yang terjadi sebesar 80 MPa.
 - Pada model global dengan deck *rigid*, tegangan maksimum terjadi pada sambungan ponton dan kolom pada kolom keempat (lokasi 92.3 m dari buritan) dengan nilai tegangan yang terjadi sebesar 71 MPa.
3. Tegangan maksimum pada model lokal terjadi pada sambungan ponton dan kolom pada kolom kedua (lokasi 46.6 m dari haluan) dengan nilai tegangan yang terjadi sebesar 182 MPa.

5.2.SARAN

Saran untuk penelitian lebih lanjut yakni:

1. Menggunakan model *scantling* yang lebih lengkap dan memodelkan struktur deck yang realistis untuk mendapatkan distribusi tegangan yang dapat mewakili kondisi sebenarnya dari struktur *semisubmersible*.
2. Melakukan analisa kekuatan melintang (*pry/squeeze force*) pada *semisubmersible* untuk mengetahui distribusi tegangan pada *brace* dan deck.
3. Melakukan analisa kekuatan *ultimate* dengan metode non-linear pada struktur global dan sambungan kolom-ponton *semisubmersible*.



DAFTAR PUSTAKA

ABS. 2012. *Guide For Building And Classing Mobile Offshore Unit*. American Bureau of Shipping, Amerika.

Bhattacharyya, R. 1978. *Dynamics of Marine Vehicles*. John Wiley and Sons, New York.

Chakrabarti, S.K. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structures*. Computational Mechanics Publications Southampton, Boston, USA.

Chakrabarti, S.K. 2005. *Handbook of Offshore Engineering*. Elsevier, Oxford.

Djarmiko, E.B. 1995. Identifikasi Respons Struktur Global Kapal SWATH dengan Model Fisik. *Laporan Penelitian, Lembaga Penelitian-ITS*, Surabaya.

Djarmiko, E.B. 2007. Analisa Beban Gelombang dalam Perancangan Struktur Global Kapal SWATH”, *Jurnal Teknologi Kelautan*, Vol. 11, No. 01.

Djarmiko, E.B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. ITS Press, Surabaya.

Indiyono, P. 2004. *Hidrodinamika Bangunan Lepas Pantai*. Penerbit SIC, Surabaya.

Krylov, A.N. 1896. A New Theory of the Pitching Motion of Ships on Waves and of the Stresses Produced by This Motion. *Transactions of INA*, Vol. 37, pp. 326.

Murdjito, 2003. *Pengantar Kuliah Perencanaan Bangunan Lepas Pantai III*. Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya.

Murtedjo, M. 1990. *Teori Gerak*. Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya.

Rawson, K. J. dan Tupper, E. C. 2001. *Basic Ship Theory vol. 1*. Butterworth-Heinemann, Oxford.

Rawson, K. J. dan Tupper, E. C. 2001. *Basic Ship Theory vol. 2*. Butterworth-Heinemann, Oxford.

Subraman, V.A. dan Beena, V.I. 2002. Numerical Design and Evaluation of SWATH Form. *International Shipbuilding Progress*, Vol. 49, No. 2.

BIODATA PENULIS



Yosia Prakoso, lahir di Surabaya, 18 Desember 1992. Pendidikan formal dari SD hingga SMA ditempuh di Surabaya. Setelah lulus dari SMA Negeri 8 Denpasar pada tahun 2010, Penulis melanjutkan studi S1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan- Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur PKM Mandiri. Selama menempuh masa kuliah penulis sempat aktif di beberapa organisasi kemahasiswaan intra kampus. Penulis juga aktif di berbagai kegiatan sebagai panitia maupun peserta. Berbagai pelatihan dan seminar pernah diikutinya dalam rangka untuk pengembangan dirinya. Penulis pernah menjabat sebagai Anggota Komisi Pemilihan Umum dalam kegiatan Pemilihan Umum Raya tingkat institut pada tahun 2012 dan Kadiv. Pelatihan Departemen PSDM HIMATEKLA tahun kepengurusan 2012/2013. Penulis memiliki minat di bidang hidrodinamika dan struktur lepas pantai sehingga tugas akhir yang diambil berhubungan dengan struktur terapung terutama pada bidang kekuatan struktur terapung.

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A GENERAL ARRANGEMENT

LAMPIRAN B DATA PERALATAN ESSAR WILDCAT

LAMPIRAN C PERHITUNGAN TITIK BERAT DAN RADIUS GIRASI

LAMPIRAN D PERHITUNGAN DISTRIBUSI BEBAN

LAMPIRAN E PERHITUNGAN KEKUATAN MEMANJANG

LAMPIRAN F LISTING INPUT MOSES

LAMPIRAN G LISTING OUTPUT MOSES

LAMPIRAN A
GENERAL ARRANGEMENT

LAMPIRAN B
DATA PERALATAN ESSAR WILDCAT



MARINE OPERATIONS

Operating Conditions
Draft 21.3335 m

ITEM	WEIGHT	LCG	TCG	VCG	ILONG	ITVAR
DECKLOAD						
Drilling col. & heave w	2	-2.29	3.50	60.96	0	0
Drillpipe	16	-2.29	3.50	60.96	0	0
BOP 18 3/4 "	147	9.11	0.00	39.62	0	0
Mud in act. t'ks	330	31.68	-0.92	37.80	0	0
Mud sack materials	60	3.00	18.00	39.10	0	0
Mud bulk materials	35	3.00	18.00	39.10	0	0
Cement b materials	5	-11.40	20.00	39.10	0	0
Cement liq. additives	11	-14.80	10.00	42.60	0	0
Misc. drilling tools opr.	30	-9.00	-11.50	38.10	0	0
Misc. drilling tools con.	50	-9.00	-11.50	38.10	0	0
Cutting disp. system	0	40.00	30.00	41.60	0	0
THIRD PARTY EQ.						
Cem. unit	39	-19.40	21.50	38.10	0	0
ROV	23	3.60	-15.00	37.60	0	0
El. logg unit, etc.	32	-34.20	-4.40	39.40	0	0
Mud logg unit	16	16.50	20.80	42.50	0	0
Well test eq.	29	-31.50	-15.00	37.60	0	0
Drilling col. & heavy w	98	-23.00	4.00	38.10	0	0
Drillpipe	104	-23.00	4.00	38.10	0	0
Riser 21"	62	-23.00	4.00	38.10	0	0
Casing	110	-23.00	4.00	38.10	0	0
Helifuel	6	9.10	26.50	40.10	0	0
Drilling tool store	25	-23.00	14.00	37.60	0	0
Various deckload	71	-23.00	-11.50	37.60	0	0
TENSION						
Riser	100	-2.29	0.00	43.60	0	0
POD & Guideline	11	-2.29	0.00	43.60	0	0
Cutting disp. system	4	40.00	30.00	41.60	0	0
SUBTOTAL DECKLOAD	1416	-1.55	1.68	39.51	0	0
Oilbased mud col. 2SB	165	11.41	28.00	18.50	0	0
Oilbased mud col. 3SB	430	-11.41	28.00	21.90	0	0
Barite	300	34.30	-26.80	21.95	0	0
Bentonite	50	34.30	26.80	21.95	0	0
Cement	200	-34.30	26.80	21.95	0	0
SUBTOTAL COLUMN LOAD	1145	1.85	13.38	21.43	0	0



MARINE OPERATIONS

Operating Conditions
Draft 21.335 m

ITEM	WEIGHT	LCG	TCG	VCG	ILONG	ITVAR
WATER BALLAST						
Tank 1 P (451T)	435	42.91	-28.19	3.35	0	0
Tank 1 S (451T)	0	42.91	28.19	3.35	0	0
Tank 2 P (340T)	314	34.27	-30.93	3.35	0	0
Tank 2 S (340T)	314	34.27	30.93	3.35	0	0
Tank 5 P (887T)	0	23.15	-23.69	3.35	0	0
Tank 5 S (887T)	0	23.15	23.69	3.35	0	0
Tank 6 P (340T)	314	11.42	-30.93	3.35	0	0
Tank 6 S (340T)	314	11.42	30.93	3.35	0	0
Tank 7 & 18 P (631T)	0	11.43	-25.45	6.46	0	0
Tank 7 & 18 S (631T)	0	11.43	25.45	6.46	0	0
Tank 9 P (866T)	823	0.00	-23.74	3.43	0	795
Tank 9 S (866T)	83	0.00	23.74	3.43	0	795
Tank 10 P (340T)	314	-11.42	-30.93	3.35	0	0
Tank 10 S (340T)	324	-11.42	30.93	3.35	0	0
Tank 12 P (509T)	493	-22.85	-30.93	3.35	0	0
Tank 12 S (509T)	493	-22.85	30.93	3.35	0	0
Tank 14 P (340T)	195	-34.27	-30.93	3.35	0	130
Tank 14 S (340T)	230	-34.27	30.93	3.35	0	130
Tank 15 P (718T)	686	-28.56	-23.28	3.45	0	0
Tank 15 S (718T)	686	-28.56	23.28	3.45	0	0
SUBTOTAL WATERBALLAST	6018	-5.80	-4.69	3.38		
FUEL OIL						
Tank 13 P (419T)	415	-22.85	-25.45	3.35	0	195
Tank 13 S (419T)	415	-22.85	25.45	3.35	0	195
SUBTOTAL FUEL OIL	830	-22.85	0.00	3.35		
DRILLWATER						
Tank 11 P (331T) **	331	-11.42	-25.45	3.35	0	130
Tank 19 P (285T) **	29	-11.43	-28.19	10.06	0	0
Tank 11 S (331T) **	331	-11.42	25.45	3.35	0	130
Tank 19 S 285T) **	0	-11.43	28.19	10.06	0	0
SUBTOTAL DRILLWATER	691	-11.42	-1.18	3.63		
TOTAL	7856	-8.09	-3.89	3.40	0	2500

** NOTE. TANKS ALWAYS CONNECTED

ESSAR WILDCAT

ISSUE: 01 REV: 1

EFFECTIVE DATE: 01.02.2007

PAGE: 3 OF 8

CHAPTER NO.: 11 - STABILITY CONDITIONS

LAMPIRAN C
PERHITUNGAN TITIK BERAT
DAN RADIUS GIRASI

DECK LOAD

No.	Nama Komponen	Berat (Ton)	Titik Berat Terhadap			M*X (ton.m)	M*Y (ton.m)	M*Z (Ton.m)
			Midship X (m)	Center Line Y (m)	keel (m)			
1	Drilling Col & heave w	2.00	-2.29	3.5	60.96	-4.58	7.00	121.92
2	Drillpipe	16.00	-2.29	3.5	60.96	-36.64	56.00	975.36
3	BOP 18 3/4"	147.00	9.11	0	39.62	1339.17	0.00	5824.14
4	Mud in act t'ks	330.00	31.68	-0.92	37.80	10454.40	-303.60	12474.00
5	Mud sack materials	60.00	3.00	18	39.10	180.00	1080.00	2346.00
6	Mud bulk materials	35.00	3.00	18	39.10	105.00	630.00	1368.50
7	Cement b materials	5.00	-11.40	20	39.10	-57.00	100.00	195.50
8	Cement liq. Additives	11.00	-14.80	10	42.60	-162.80	110.00	468.60
9	Misc. drilling tools opr.	30.00	-9.00	-11.5	38.10	-270.00	-345.00	1143.00
10	Misc drilling tools con.	50.00	-9.00	-11.5	38.10	-450.00	-575.00	1905.00
11	Cutting disp. System	0.00	40.00	30	41.60	0.00	0.00	0.00
12	Cem. Unit	39.00	-19.40	21.5	38.10	-756.60	838.50	1485.90
13	ROV	23.00	3.60	-15	37.60	82.80	-345.00	864.80
14	El. Logg unit, etc.	32.00	-34.20	-4.4	39.40	-1094.40	-140.80	1260.80
15	Mud logg unit	16.00	16.50	20.8	42.50	264.00	332.80	680.00
16	Well test eq.	29.00	-31.50	-15	37.60	-913.50	-435.00	1090.40
17	Drilling col. Heavy w.	98.00	-23.00	4	38.10	-2254.00	392.00	3733.80
18	Drillpipe	104.00	-23.00	4	38.10	-2392.00	416.00	3962.40
19	Riser 21"	62.00	-23.00	4	38.10	-1426.00	248.00	2362.20
20	Casing	110.00	-23.00	4	38.10	-2530.00	440.00	4191.00
21	Helifuel	6.00	9.10	26.5	40.10	54.60	159.00	240.60
22	Drilling tool store	25.00	-23.00	14	37.60	-575.00	350.00	940.00
23	Various deck load	71.00	-23.00	-11.5	37.60	-1633.00	-816.50	2669.60
24	Riser	100.00	100.00	0	43.60	10000.00	0.00	4360.00
25	POD & Guideline	11.00	11.00	0	43.60	121.00	0.00	479.60
26	Cutting disp. system	4.00	4.00	30	41.60	16.00	120.00	166.40
	Subtotal deckload	1416.00				8061.45	2318.40	55309.52
						-1.55	1.68	39.51

PONTOON STRUCTURE LOAD

No.	Nama Komponen	Berat (Ton)	Titik Berat Terhadap			M*X (ton.m)	M*Y (ton.m)	M*Z (Ton.m)
			Midship X (m)	Center Line Y (m)	keel (m)			
1	Pontoon 1 Plate	679.561	0	-28.19	3.305	0	19156.819	2245.948
2	Pontoon 1 Girder	443.43	0	-28.19	3.305	0	12500.190	1465.524
3	Pontoon 2 Plate	679.561	0	28.19	3.305	0	-19156.819	2245.948
4	Pontoon 2 Girder	443.43	0	28.19	3.305	0	-12500.190	1465.524
	Subtotal Pontoon Structure Load	2245.97				0	0	7422.945305
						0	0	3.305

BRACE STRUCTURE LOAD

No.	Nama Komponen	Berat (Ton)	Titik Berat Terhadap			M*X (ton.m)	M*Y (ton.m)	M*Z (Ton.m)
			Midship X (m)	Center Line Y (m)	keel (m)			
1	Vertical Diagonal Brace 1 P	42.0094	24.1398	-13.4718	9.51	1014.10	-565.94	399.51
2	Vertical Diagonal Brace 1 S	42.0094	24.1398	13.4718	9.51	1014.10	565.94	399.51
3	Vertical Diagonal Brace 2 P	42.0094	-24.1398	-13.4718	9.51	-1014.10	-565.94	399.51
4	Vertical Diagonal Brace 2 S	42.0094	-24.1398	13.4718	9.51	-1014.10	565.94	399.51
5	Horizontal Diagonal Brace 1 P	47.1014	34.275	13.1528	25.122	1614.40	619.51	1183.26
6	Horizontal Diagonal Brace 1 S	47.1014	34.275	-13.1528	25.122	1614.40	-619.51	1183.26
7	Horizontal Diagonal Brace 2 P	47.1014	11.425	13.1528	25.122	538.13	619.51	1183.26
8	Horizontal Diagonal Brace 2 S	47.1014	11.425	-13.1528	25.122	538.13	-619.51	1183.26
9	Horizontal Diagonal Brace 3 P	47.1014	-11.425	13.1528	25.122	-538.13	619.51	1183.26
10	Horizontal Diagonal Brace 3 S	47.1014	-11.425	-13.1528	25.122	-538.13	-619.51	1183.26
11	Horizontal Diagonal Brace 4 P	47.1014	-34.275	13.1528	25.122	-1614.40	619.51	1183.26
12	Horizontal Diagonal Brace 4 S	47.1014	-34.275	-13.1528	25.122	-1614.40	-619.51	1183.26
13	Vertical Brace 1	83.8035	34.275	0	9.51	2872.36	0.00	796.97
14	Vertical Brace 2	83.8035	11.425	0	9.51	957.45	0.00	796.97
15	Vertical Brace 3	83.8035	-11.425	0	9.51	-957.45	0.00	796.97
16	Vertical Brace 4	83.8035	-34.275	0	9.51	-2872.36	0.00	796.97
	Subtotal Brace Structure Load	880.062				0.000	0.000	14251.977
						0.000	0.000	16.194

COLUMN STRUCTURE LOAD

No.	Nama Komponen	Berat (Ton)	Titik Berat Terhadap			M*X (ton.m)	M*Y (ton.m)	M*Z (Ton.m)
			Midship X (m)	Center Line Y (m)	keel (m)			
1	Column 1 Plate	207.649	34.275	28.19	23.165	7117.154	5853.612	4810.178
2	Column 1 Girder	481.183	34.275	28.19	23.165	16492.534	13564.538	11146.595
3	Column 2 Plate	207.649	11.425	28.19	23.165	2372	5853.612	4810.178
4	Column 2 Girder	481.183	11.425	28.19	23.165	5498	13564.538	11146.595
5	Column 3 Plate	207.649	-11.425	28.19	23.165	-2372.385	5853.612	4810.178
6	Column 3 Girder	481.183	-11.425	28.19	23.165	-5497.511	13564.538	11146.595
7	Column 4 Plate	207.649	-34.275	28.19	23.165	-7117.154	5853.612	4810.178
8	Column 4 Girder	481.183	-34.275	28.19	23.165	-16492.534	13564.538	11146.595
9	Column 5 Plate	207.649	34.275	-28.19	23.165	7117	-5853.612	4810.178
10	Column 5 Girder	481.183	34.275	-28.19	23.165	16493	-13564.538	11146.595
11	Column 6 Plate	207.649	11.425	-28.19	23.165	2372.385	-5853.612	4810.178
12	Column 6 Girder	481.183	11.425	-28.19	23.165	5497.511	-13564.538	11146.595
9	Column 7 Plate	207.649	-11.425	-28.19	23.165	-2372	-5853.612	4810.178
10	Column 7 Girder	481.183	-11.425	-28.19	23.165	-5498	-13564.538	11146.595
11	Column 8 Plate	207.649	-34.275	-28.19	23.165	-7117.154	-5853.612	4810.178
12	Column 8 Girder	481.183	-34.275	-28.19	23.165	-16492.534	-13564.538	11146.595
	Subtotal Column Structure Load	5510.65				0.000	0.000	127654.191
						0.000	0.000	23.165

PONTOON AND COLUMN DWT LOAD

No.	Nama Komponen	Berat (Ton)	Titik Berat Terhadap			M*X (ton.m)	M*Y (ton.m)	M*Z (Ton.m)
			Midship X (m)	Center Line Y (m)	keel (m)			
1	Column 1 Load	0	34.275	-28.19	23.165	0	0	0
2	Column 2 Load	200	11.425	-28.19	23.165	2285	-5638	4633
3	Column 3 Load	350	-11.425	-28.19	23.165	-3998.75	-9866.5	8107.75
4	Column 4 Load	0	-34.275	-28.19	23.165	0	0	0
5	Column 5 Load	0	34.275	28.19	23.165	0	0	0
6	Column 6 Load	165	11.425	28.19	23.165	1885.125	4651.35	3822.225
7	Column 7 Load	430	-11.425	28.19	23.165	-4912.75	12121.7	9960.95
8	Column 8 Load	0	-34.275	28.19	23.165	0	0	0
9	Tank 1 P (451T)	435	46.1675	-28.19	3.355	20082.8625	-12262.65	1459.425
10	Tank 1 S (451T)	0	46.1675	28.19	3.355	0	0	0
11	Tank 2 P (340T)	314	34.275	-30.815	3.355	10762.35	-9675.91	1053.47
12	Tank 2 S (340T)	314	34.275	30.815	3.355	10762.35	9675.91	1053.47
13	Tank 3 P	0	34.275	-25.565	3.355	0	0	0
14	Tank 3 S	0	34.275	25.565	3.355	0	0	0
15	Tank 4 P	0	22.85	-30.815	3.355	0	0	0
16	Tank 4 S	509	22.85	30.815	3.355	11630.65	15684.835	1707.695
17	Tank 5 P (887T)	0	22.85	-25.565	3.355	0	0	0
18	Tank 5 S (887T)	0	22.85	25.565	3.355	0	0	0
19	Tank 6 P (340T)	314	11.425	-30.815	3.355	3587.45	-9675.91	1053.47
20	Tank 6 S (340T)	314	11.425	30.815	3.355	3587.45	9675.91	1053.47
21	Tank 7 P (631T)	0	11.425	-25.565	3.355	0	0	0
22	Tank 7 S (631T)	0	11.425	25.565	3.355	0	0	0
23	Tank 8 P	249	0	-30.815	3.355	0	-7672.935	835.395
24	Tank 8 P	248	0	30.815	3.355	0	7642.12	832.04
25	Tank 9 P (866T)	823	0	-25.565	3.355	0	-21039.995	2761.165
26	Tank 9 S (866T)	83	0	25.565	3.355	0	2121.895	278.465
27	Tank 10 P (340T)	314	-11.425	-30.815	3.355	-3587.45	-9675.91	1053.47
28	Tank 10 S (340T)	324	-11.425	30.815	3.355	-3701.7	9984.06	1087.02
29	Tank 11 P (331T)	331	-11.425	-25.565	3.355	-3781.675	-8462.015	1110.505
30	Tank 11 S (331T)	331	-11.425	25.565	3.355	-3781.675	8462.015	1110.505
31	Tank 12 P (509T)	493	-22.85	-30.815	3.355	-11265.05	-15191.795	1654.015
32	Tank 12 S (509T)	493	-22.85	30.815	3.355	-11265.05	15191.795	1654.015
33	Tank 13 P (419T)	415	-22.85	-25.565	3.355	-9482.75	-10609.475	1392.325
34	Tank 13 S (419T)	415	-22.85	25.565	3.355	-9482.75	10609.475	1392.325
35	Tank 14 P (340T)	195	-34.275	-30.815	3.355	-6683.625	-6008.925	654.225
36	Tank 14 S (340T)	230	-34.275	30.815	3.355	-7883.25	7087.45	771.65
37	Tank 15 P (718T)	686	-34.275	-25.565	3.355	-23512.65	-17537.59	2301.53
38	Tank 15 S (718T)	686	-34.275	25.565	3.355	-23512.65	17537.59	2301.53
	Subtotal Water Ballast, DII Load	9661				-62268.538	-12871.505	55095.105
						-6.45	-1.33	5.70

DECK STRUCTURE LOAD

No.	Nama Komponen	Berat (Ton)	Titik Berat Terhadap			M*X (ton.m)	M*Y (ton.m)	M*Z (Ton.m)
			Midship X (m)	Center Line Y (m)	keel (m)			
1	Main Deck Plate	907.428	0	0	36.83	0.000	0.000	33420.578
2	Main Deck All Girder	223.33	0	0	37.205	0.000	0.000	8308.908
3	Upper Deck Plate	907.428	0	0	37.58	0	0.000	34101.149
4	Upper Deck All Girder	223.33	0	0	37.955	0	0.000	8476.404
	Subtotal Deck Structure Load	2261.51				0.000	0.000	84307.038
						0.000	0.000	37.279

TOTAL LOAD

No.	Nama Komponen	Berat (Ton)	Titik Berat Terhadap			M*X (ton.m)	M*Y (ton.m)	M*Z (Ton.m)
			Midship X (m)	Center Line Y (m)	keel (m)			
1	Subtotal deck Load	1416.00	-1.55	1.68	39.51	-2194.8	2378.88	55946.16
2	Subtotal Brace Structure Load	880.06	0	0	16.194	0	0	14251.97673
3	Subtotal Pontoon Structure Load	2245.97	0	0	3.305	0	0	7422.945305
4	Subtotal Column Structure Load	5510.65	0	0	23.165	0	0	127654.1906
5	Subtotal Deck Structure Load	2261.51	0	0	37.279	0	0	84307.03822
6	Subtotal Water Ballast,Dll Load	9661	-6.45	-1.33	5.70	-62268.538	-12871.505	55095.105
	TOTAL LOAD	24139				-64463.338	-10492.625	344677.4158

LCG = -2.67

TCG = -0.43

VCG = 14.28

Kxx = 14.28

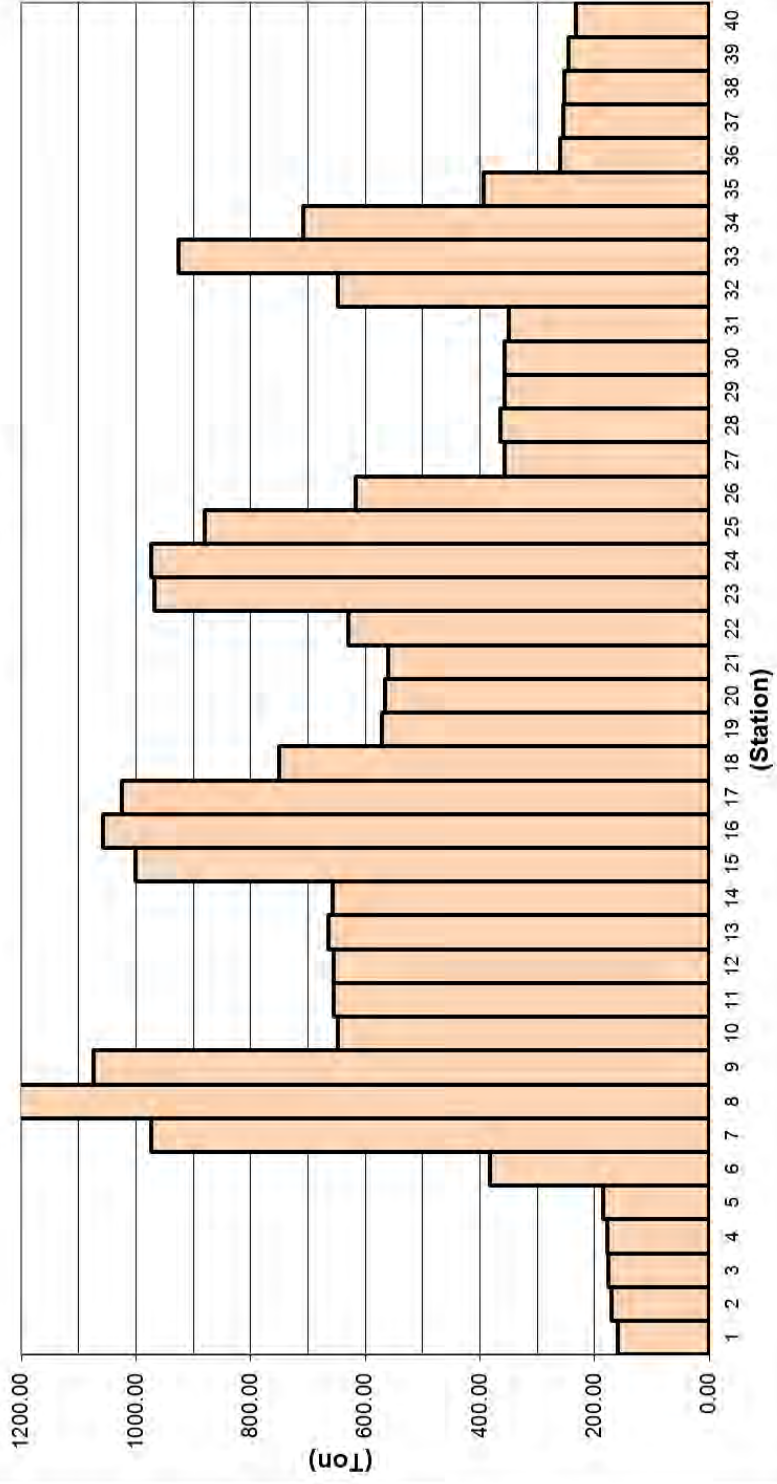
Kyy = 14.52

Kzz = 2.70

LAMPIRAN D
PERHITUNGAN DISTRIBUSI BEBAN

No.	Station	Plate	Scantling	Structure	Deck Eq	DWT Ponton	DWT Column	Mass
		ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton
1	AP-1	18.44	140.16	158.60	0.00	0.00	0.00	158.60
2	1-2	23.98	147.26	171.24	0.00	0.00	0.00	171.24
3	2-3	29.53	147.26	176.79	0.00	0.00	0.00	176.79
4	3-4	38.49	140.16	178.65	0.00	0.00	0.00	178.65
5	4-5	38.49	147.26	185.75	0.00	0.00	0.00	185.75
6	5-6	140.54	159.36	299.89	0.00	82.82	0.00	382.71
7	6-7	148.25	181.25	329.49	30.50	613.75	0.00	973.74
8	7-8	357.92	188.35	546.27	93.34	613.75	0.00	1253.36
9	8-9	271.36	186.39	457.76	62.06	554.80	0.00	1074.62
10	9-10	116.87	140.16	257.03	62.06	329.02	0.00	648.12
11	10-11	116.87	147.26	264.13	62.06	329.02	0.00	655.21
12	11-12	116.87	147.26	264.13	62.06	329.02	0.00	655.21
13	12-13	116.87	147.26	264.13	70.69	329.02	0.00	663.84
14	13-14	116.87	140.16	257.03	70.69	329.02	0.00	656.74
15	14-15	258.16	182.06	440.22	66.91	408.08	85.72	1000.93
16	15-16	294.10	188.35	482.44	5.63	444.00	124.66	1056.73
17	16-17	233.98	181.25	415.22	40.00	444.00	124.66	1023.89
18	17-18	216.45	163.68	380.13	40.00	299.94	29.96	750.03
19	18-19	105.74	147.26	253.00	64.50	254.38	0.00	571.88
20	19-20	105.74	140.16	245.90	64.50	254.38	0.00	564.78
21	20-21	105.74	140.16	245.90	59.00	254.38	0.00	559.28
22	21-22	105.74	147.26	253.00	59.00	254.38	64.02	630.39
23	22-23	216.45	163.68	380.13	76.50	244.79	266.40	967.83
24	23-24	233.98	181.25	415.22	76.50	214.49	266.40	972.61
25	24-25	294.10	188.35	482.44	0.00	214.49	183.18	880.11
26	25-26	258.16	182.06	440.22	0.00	176.29	0.00	616.52
27	26-27	116.87	140.16	257.03	8.00	92.22	0.00	357.25
28	27-28	116.87	147.26	264.13	8.00	92.22	0.00	364.35
29	28-29	116.87	147.26	264.13	0.00	92.22	0.00	356.35
30	29-30	116.87	147.26	264.13	0.00	92.22	0.00	356.35
31	30-31	116.87	140.16	257.03	0.00	92.22	0.00	349.25
32	31-32	271.36	186.39	457.76	0.00	189.18	0.00	646.93
33	32-33	357.92	188.35	546.27	165.00	214.49	0.00	925.76
34	33-34	148.25	181.25	329.49	165.00	214.49	0.00	708.98
35	34-35	140.54	159.36	299.89	0.00	93.10	0.00	392.99
36	35-36	38.49	147.26	185.75	0.00	74.17	0.00	259.92
37	36-37	38.49	140.16	178.65	2.00	74.17	0.00	254.82
38	37-38	29.53	147.26	176.79	2.00	74.17	0.00	252.96
39	38-39	23.98	147.26	171.24	0.00	74.17	0.00	245.41
40	39-FP	18.44	140.16	158.60	0.00	74.17	0.00	232.77
Total		5731.03	6324.61	12055.64	1416.00	8517.00	1145.00	24139.34

Grafik Distribusi Beban Total (LWT+DWT)



LAMPIRAN E
PERHITUNGAN KEKUATAN MEMANJANG
(*SHEAR FORCE* DAN *BENDING MOMENT*)

SHEAR FORCE DAN BENDING MOMENT KONDISI STILL WATER

PENYEBARAN STILL WATER SHEAR FORCE DAN BENDING MOMENT

Station	q(x) [MN]	a(x) [MN]	f(x) [MN] [2] + [3]	Σf(x)	ΣΣf(x)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
AP-1	0.575	0.16	0.412	0.412	0.412
1-2	0.621	0.49	0.132	0.544	1.368
2-3	0.641	0.82	-0.174	0.370	2.283
3-4	0.648	1.14	-0.493	-0.123	2.530
4-5	0.674	1.36	-0.687	-0.810	1.597
5-6	1.388	2.58	-1.194	-2.003	-1.216
6-7	3.531	4.11	-0.578	-2.581	-5.801
7-8	4.545	4.17	0.378	-2.204	-10.586
8-9	3.897	2.70	1.199	-1.005	-13.795
9-10	2.350	1.53	0.817	-0.189	-14.989
10-11	2.376	1.53	0.842	0.654	-14.524
11-12	2.376	1.53	0.842	1.496	-12.374
12-13	2.407	1.53	0.874	2.370	-8.508
13-14	2.382	1.56	0.818	3.188	-2.950
14-15	3.630	2.67	0.960	4.148	4.386
15-16	3.832	4.35	-0.515	3.633	12.167
16-17	3.713	4.35	-0.634	2.999	18.799
17-18	2.720	2.58	0.138	3.138	24.936
18-19	2.074	1.42	0.657	3.795	31.868
19-20	2.048	1.42	0.631	4.426	40.089
20-21	2.028	1.42	0.611	5.038	49.553
21-22	2.286	1.42	0.869	5.907	60.497
22-23	3.510	2.58	0.928	6.835	73.239
23-24	3.527	4.35	-0.820	6.015	86.090
24-25	3.192	4.35	-1.155	4.860	96.965
25-26	2.236	2.64	-0.404	4.456	106.281
26-27	1.296	1.53	-0.238	4.218	114.954
27-28	1.321	1.53	-0.212	4.005	123.176
28-29	1.292	1.53	-0.241	3.764	130.945
29-30	1.292	1.53	-0.241	3.522	138.231
30-31	1.267	1.53	-0.267	3.255	145.008
31-32	2.346	2.70	-0.352	2.902	151.165
32-33	3.357	4.17	-0.810	2.092	156.159
33-34	2.571	4.11	-1.538	0.554	158.805
34-35	1.425	2.58	-1.156	-0.603	158.756
35-36	0.943	1.36	-0.418	-1.020	157.133
36-37	0.924	1.14	-0.217	-1.237	154.875
37-38	0.917	0.82	0.102	-1.135	152.503
38-39	0.890	0.49	0.401	-0.734	150.633
39-FP	0.844	0.16	0.681	-0.053	149.846
	-83.897	83.950	-0.053		

δSF 2.705 x f(x)	SF Σ(δSF)	mid SF	δBM	BM Σ(δBM)	correction	BM
1.115	0	0.557	1.51	0		0
0.357	1.115	1.293	3.50	1.51	-13.705	-12.197
-0.470	1.472	1.237	3.35	5.01	-27.411	-22.404
-1.334	1.001	0.334	0.90	8.35	-41.116	-32.764
-1.858	-0.333	-1.262	-3.41	9.26	-54.821	-45.565
-3.229	-2.191	-3.805	-10.29	5.84	-68.527	-62.683
-1.563	-5.419	-6.201	-16.77	-4.45	-82.232	-86.681
1.021	-6.983	-6.472	-17.51	-21.22	-95.937	-117.161
3.242	-5.961	-4.340	-11.74	-38.73	-109.643	-148.373
2.209	-2.719	-1.615	-4.37	-50.47	-123.348	-173.819
2.279	-0.510	0.629	1.70	-54.84	-137.054	-191.892
2.279	1.769	2.908	7.87	-53.14	-150.759	-203.895
2.363	4.047	5.229	14.14	-45.27	-164.464	-209.734
2.213	6.410	7.517	20.33	-31.13	-178.170	-209.296
2.597	8.623	9.922	26.84	-10.79	-191.875	-202.668
-1.393	11.220	10.524	28.47	16.04	-205.580	-189.536
-1.715	9.828	8.970	24.26	44.51	-219.286	-174.774
0.375	8.113	8.300	22.45	68.78	-232.991	-164.215
1.777	8.487	9.376	25.36	91.23	-246.696	-155.468
1.708	10.265	11.119	30.08	116.59	-260.402	-143.811
1.654	11.973	12.800	34.62	146.67	-274.107	-127.440
2.351	13.627	14.802	40.04	181.29	-287.812	-106.523
2.511	15.978	17.234	46.62	221.33	-301.518	-80.188
-2.218	18.489	17.380	47.01	267.95	-315.223	-47.277
-3.125	16.271	14.709	39.79	314.96	-328.929	-13.968
-1.093	13.146	12.599	34.08	354.75	-342.634	12.114
-0.644	12.053	11.731	31.73	388.83	-356.339	32.490
-0.575	11.408	11.121	30.08	420.56	-370.045	50.516
-0.653	10.834	10.507	28.42	450.64	-383.750	66.893
-0.653	10.180	9.854	26.65	479.06	-397.455	81.609
-0.723	9.527	9.166	24.79	505.72	-411.161	94.558
-0.953	8.804	8.328	22.53	530.51	-424.866	105.646
-2.192	7.851	6.755	18.27	553.04	-438.571	114.467
-4.161	5.659	3.578	9.68	571.31	-452.277	119.033
-3.128	1.498	-0.066	-0.18	580.99	-465.982	115.007
-1.130	-1.630	-2.195	-5.94	580.81	-479.687	101.124
-0.587	-2.760	-3.054	-8.26	574.87	-493.393	81.480
0.277	-3.347	-3.209	-8.68	566.61	-507.098	59.515
1.085	-3.070	-2.528	-6.84	557.93	-520.804	37.129
1.843	-1.986	-1.065	-2.88	551.09	-534.509	16.585
	-0.143			548.21	-548.214	0.000

SHEAR FORCE DAN BENDING MOMENT KONDISI HOGGING ($\lambda=108.2 m$)

PENYEBARAN WAVE SHEAR FORCE DAN BENDING MOMENT

Station	q(x) [MN]	a(x) [MN]	f(x) [MN] [2] + [3]	$\Sigma f(x)$	$\Sigma\Sigma f(x)$
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
AP-1	0.575	0.16	0.412	0.412	0.412
1-2	0.621	0.49	0.132	0.544	1.368
2-3	0.641	0.82	-0.174	0.370	2.283
3-4	0.648	1.14	-0.493	-0.123	2.530
4-5	0.674	1.36	-0.687	-0.810	1.597
5-6	1.395	2.46	-1.068	-1.878	-1.090
6-7	3.539	3.88	-0.343	-2.220	-5.188
7-8	4.553	4.00	0.556	-1.664	-9.073
8-9	3.904	2.64	1.268	-0.397	-11.134
9-10	2.358	1.53	0.824	0.427	-11.104
10-11	2.383	1.53	0.850	1.277	-9.400
11-12	2.383	1.53	0.850	2.126	-5.996
12-13	2.415	1.53	0.881	3.007	-0.863
13-14	2.389	1.53	0.855	3.863	6.007
14-15	3.637	2.78	0.853	4.716	14.586
15-16	3.840	4.53	-0.689	4.027	23.329
16-17	3.721	4.57	-0.848	3.179	30.534
17-18	2.727	2.77	-0.038	3.141	36.854
18-19	2.081	1.42	0.664	3.805	43.801
19-20	2.055	1.42	0.639	4.444	52.050
20-21	2.036	1.42	0.619	5.063	61.556
21-22	2.293	1.42	0.877	5.939	72.558
22-23	3.517	2.77	0.752	6.691	85.188
23-24	3.535	4.57	-1.034	5.657	97.536
24-25	3.199	4.53	-1.330	4.327	107.521
25-26	2.243	2.78	-0.541	3.787	115.635
26-27	1.303	1.53	-0.231	3.556	122.977
27-28	1.329	1.53	-0.205	3.351	129.884
28-29	1.300	1.53	-0.234	3.116	136.351
29-30	1.300	1.53	-0.234	2.882	142.349
30-31	1.274	1.53	-0.260	2.622	147.853
31-32	2.353	2.64	-0.283	2.339	152.814
32-33	3.365	4.00	-0.632	1.707	156.860
33-34	2.578	3.88	-1.303	0.404	158.970
34-35	1.432	2.46	-1.030	-0.627	158.747
35-36	0.950	1.36	-0.411	-1.037	157.083
36-37	0.931	1.14	-0.210	-1.247	154.799
37-38	0.925	0.82	0.110	-1.138	152.414
38-39	0.897	0.49	0.408	-0.729	150.547
39-FP	0.851	0.16	0.688	-0.041	149.777
	-84.151	84.192	-0.041		

δSF 2.705 x f(x)	SF $\Sigma(\delta SF)$	mid SF	δBM	BM $\Sigma(\delta BM)$	correction	BM
1.115	0	0.557	1.51	0		0
0.357	1.115	1.293	3.50	1.51	-13.699	-12.191
-0.470	1.472	1.237	3.35	5.01	-27.398	-22.391
-1.334	1.001	0.334	0.90	8.35	-41.097	-32.745
-1.858	-0.333	-1.262	-3.41	9.26	-54.796	-45.540
-2.888	-2.191	-3.635	-9.83	5.84	-68.495	-62.652
-0.927	-5.079	-5.543	-14.99	-3.99	-82.194	-86.183
1.504	-6.006	-5.254	-14.21	-18.98	-95.893	-114.875
3.429	-4.502	-2.788	-7.54	-33.19	-109.592	-142.786
2.229	-1.073	0.041	0.11	-40.73	-123.291	-164.026
2.298	1.156	2.305	6.23	-40.62	-136.990	-177.613
2.298	3.454	4.603	12.45	-34.39	-150.689	-185.078
2.383	5.752	6.943	18.78	-21.94	-164.388	-186.326
2.313	8.135	9.291	25.13	-3.16	-178.087	-181.243
2.309	10.448	11.602	31.38	21.98	-191.786	-169.809
-1.864	12.757	11.825	31.99	53.36	-205.485	-152.123
-2.294	10.893	9.746	26.36	85.35	-219.184	-133.836
-0.102	8.599	8.548	23.12	111.71	-232.883	-121.173
1.797	8.496	9.395	25.41	134.83	-246.582	-111.751
1.727	10.293	11.157	30.18	160.24	-260.281	-100.037
1.673	12.021	12.857	34.78	190.42	-273.981	-83.556
2.371	13.694	14.880	40.25	225.20	-287.680	-62.475
2.034	16.065	17.082	46.21	265.45	-301.379	-35.925
-2.797	18.099	16.701	45.18	311.66	-315.078	-3.416
-3.596	15.302	13.504	36.53	356.84	-328.777	28.061
-1.462	11.706	10.974	29.69	393.37	-342.476	50.890
-0.625	10.243	9.931	26.86	423.05	-356.175	66.877
-0.555	9.619	9.341	25.27	449.91	-369.874	80.041
-0.634	9.063	8.747	23.66	475.18	-383.573	91.609
-0.634	8.430	8.113	21.95	498.84	-397.272	101.569
-0.703	7.796	7.444	20.14	520.79	-410.971	109.816
-0.766	7.093	6.710	18.15	540.92	-424.670	116.254
-1.710	6.327	5.472	14.80	559.07	-438.369	120.705
-3.525	4.617	2.854	7.72	573.87	-452.068	121.806
-2.787	1.092	-0.302	-0.82	581.60	-465.767	115.828
-1.111	-1.695	-2.251	-6.09	580.78	-479.466	101.313
-0.567	-2.806	-3.090	-8.36	574.69	-493.165	81.526
0.296	-3.373	-3.225	-8.72	566.33	-506.864	59.469
1.104	-3.077	-2.525	-6.83	557.61	-520.563	37.046
1.862	-1.973	-1.042	-2.82	550.78	-534.262	16.517
	-0.111			547.96	-547.961	0.000

SHEAR FORCE DAN BENDING MOMENT KONDISI SAGGING ($\lambda=108.2 m$)

Station	q(x) [MN] [2]	a(x) [MN] [3]	f(x) [MN] [2] + [3] [4]	$\Sigma f(x)$ [5]	$\Sigma\Sigma f(x)$ [6]
AP-1	0.575	0.16	0.412	0.412	0.412
1-2	0.621	0.49	0.132	0.544	1.368
2-3	0.641	0.82	-0.174	0.370	2.283
3-4	0.648	1.14	-0.493	-0.123	2.530
4-5	0.674	1.36	-0.687	-0.810	1.597
5-6	1.352	2.70	-1.349	-2.158	-1.371
6-7	3.495	4.33	-0.833	-2.992	-6.521
7-8	4.509	4.33	0.179	-2.813	-12.326
8-9	3.861	2.76	1.101	-1.712	-16.851
9-10	2.314	1.53	0.780	-0.932	-19.496
10-11	2.340	1.53	0.806	-0.126	-20.554
11-12	2.340	1.53	0.806	0.680	-20.000
12-13	2.371	1.53	0.837	1.518	-17.802
13-14	2.345	1.53	0.812	2.329	-13.955
14-15	3.594	2.50	1.097	3.427	-8.199
15-16	3.796	3.91	-0.114	3.312	-1.460
16-17	3.677	3.87	-0.193	3.119	4.971
17-18	2.684	2.40	0.286	3.405	11.496
18-19	2.038	1.42	0.621	4.026	18.927
19-20	2.012	1.42	0.595	4.621	27.573
20-21	1.992	1.42	0.575	5.196	37.390
21-22	2.250	1.42	0.833	6.029	48.616
22-23	3.474	2.40	1.076	7.105	61.750
23-24	3.491	3.87	-0.379	6.726	75.580
24-25	3.156	3.91	-0.755	5.971	88.277
25-26	2.200	2.50	-0.297	5.674	99.922
26-27	1.259	1.53	-0.274	5.400	110.996
27-28	1.285	1.53	-0.249	5.151	121.546
28-29	1.256	1.53	-0.278	4.873	131.571
29-30	1.256	1.53	-0.278	4.595	141.039
30-31	1.230	1.53	-0.304	4.292	149.927
31-32	2.310	2.76	-0.450	3.841	158.060
32-33	3.321	4.33	-1.009	2.832	164.734
33-34	2.535	4.33	-1.794	1.039	168.605
34-35	1.389	2.70	-1.311	-0.273	169.371
35-36	0.906	1.36	-0.454	-0.727	168.371
36-37	0.888	1.14	-0.253	-0.980	166.664
37-38	0.881	0.82	0.066	-0.914	164.770
38-39	0.854	0.49	0.365	-0.549	163.307
39-FP	0.808	0.16	0.645	0.096	162.853
	-82.628	82.532	0.096		

δSF 2.705 x f(x)	SF Σ(δSF)	mid SF	δBM	BM Σ(δBM)	correction	BM
1.115	0	0.557	1.51	0		0
0.357	1.115	1.293	3.50	1.51	-14.895	-13.387
-0.470	1.472	1.237	3.35	5.01	-29.790	-24.783
-1.334	1.001	0.334	0.90	8.35	-44.685	-36.333
-1.858	-0.333	-1.262	-3.41	9.26	-59.580	-50.324
-3.648	-2.191	-4.015	-10.86	5.84	-74.475	-68.631
-2.255	-5.838	-6.966	-18.84	-5.02	-89.370	-94.386
0.484	-8.093	-7.851	-21.24	-23.86	-104.265	-128.123
2.977	-7.609	-6.121	-16.56	-45.10	-119.160	-164.255
2.111	-4.632	-3.577	-9.67	-61.65	-134.055	-195.706
2.180	-2.521	-1.431	-3.87	-71.33	-148.950	-220.276
2.180	-0.341	0.750	2.03	-75.20	-163.845	-239.042
2.265	1.840	2.972	8.04	-73.17	-178.740	-251.909
2.195	4.105	5.203	14.07	-65.13	-193.635	-258.763
2.968	6.300	7.785	21.06	-51.05	-208.530	-259.585
-0.309	9.269	9.115	24.65	-30.00	-223.425	-253.423
-0.523	8.960	8.699	23.53	-5.34	-238.320	-243.663
0.773	8.437	8.824	23.87	18.19	-253.215	-235.028
1.679	9.211	10.050	27.19	42.06	-268.110	-226.054
1.610	10.890	11.695	31.63	69.24	-283.005	-213.762
1.556	12.500	13.278	35.92	100.88	-297.900	-197.023
2.253	14.055	15.182	41.07	136.79	-312.795	-176.002
2.910	16.309	17.764	48.05	177.86	-327.690	-149.830
-1.026	19.219	18.706	50.60	225.91	-342.585	-116.674
-2.041	18.193	17.172	46.45	276.51	-357.480	-80.970
-0.803	16.152	15.750	42.60	322.96	-372.375	-49.414
-0.743	15.349	14.977	40.51	365.57	-387.271	-21.705
-0.673	14.606	14.270	38.60	406.08	-402.166	3.914
-0.751	13.933	13.558	36.67	444.68	-417.061	27.619
-0.751	13.182	12.806	34.64	481.35	-431.956	49.397
-0.821	12.431	12.020	32.51	515.99	-446.851	69.143
-1.219	11.610	11.000	29.76	548.51	-461.746	86.763
-2.730	10.391	9.026	24.42	578.26	-476.641	101.624
-4.852	7.661	5.235	14.16	602.68	-491.536	111.145
-3.547	2.809	1.036	2.80	616.84	-506.431	110.412
-1.228	-0.737	-1.352	-3.66	619.64	-521.326	98.319
-0.685	-1.966	-2.308	-6.24	615.99	-536.221	79.767
0.179	-2.651	-2.562	-6.93	609.74	-551.116	58.628
0.986	-2.472	-1.979	-5.35	602.81	-566.011	36.803
1.744	-1.486	-0.614	-1.66	597.46	-580.906	16.555
	0.259			595.80	-595.801	0.000