



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

40756/H/10



RSKe
621.873
Pra
K-1
2010

TUGAS AKHIR - MO 091336

KEANDALAN CRANE PEDESTAL'S SCANTLING FPSO BELANAK TERHADAP BEBAN KELELAHAN

DHANI TRIE PRASETYO

NRP. 4305 100 054

Dosen Pembimbing

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

Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

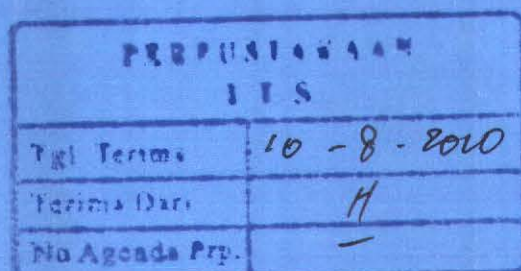
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2010





ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - MO 091336

***RELIABILITY OF CRANE PEDESTAL'S
SCANTLING ON FPSO BELANAK DUE TO
FATIGUE LOADS***

DHANI TRIE PRASETYO

REG. 4305 100 054

Supervisors

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

Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2010

**KEANDALAN CRANE PEDESTAL'S SCANTLING FPSO
BELANAK TERHADAP BEBAN KELELAHAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Progran Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

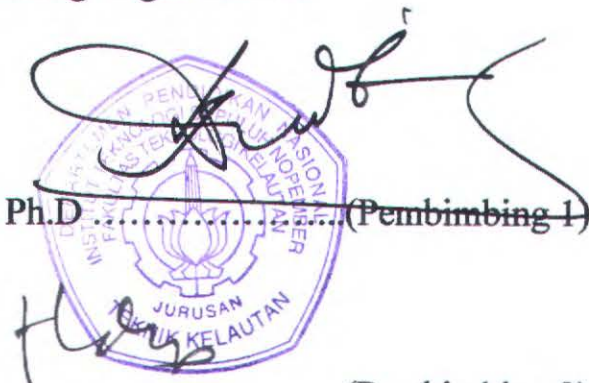
DHANI TRIE PRASETYO

NRP. 4305 100 054

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

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

2. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.(Pembimbing 2)



SURABAYA, AGUSTUS 2010

KEANDALAN *CRANE PEDESTAL'S SCANTLING* FPSO BELANAK TERHADAP BEBAN KELELAHAN

Nama Mahasiswa : Dhani Trie Prasetyo
NRP : 4305 100 054
Jurusan : Teknik Kelautan FTK – ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.
Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

FPSO (*Floating Production Storage and Offloading*) dalam operasinya mendapatkan pengaruh signifikan dari beban lingkungan dan operasionalnya. Hal demikian juga akan mempengaruhi komponen-komponen struktur yang ada di atasnya, termasuk struktur *crane* dan *pedestal*nya yang berfungsi sebagai fasilitas transfer logistik. Konstruksi *crane pedestal* beserta *scantling*nya yang tersambung menerus ke lambung FPSO haruslah kuat menahan beban-beban yang terjadi, yang pada dasarnya bersifat siklis. Sehubungan dengan ini perancang harus dapat menentukan kekuatannya menahan beban siklis yang akan menimbulkan kelelahan pada *scantling crane pedestal*. Dalam penelitian ini kelelahan *scantling crane pedestal* telah dikaji dengan metode deterministik-spektral dan metode probabilistik atau keandalan. Pada pengkajian dengan metode deterministik-spektral penyelesaian dilakukan dengan mengaplikasikan persamaan kegagalan kumulatif, sedangkan pengkajian keandalan menggunakan simulasi *Monte Carlo*. Analisis dimulai dengan penentuan beban dinamis lingkungan menggunakan perangkat lunak MOSES, serta penentuan tegangan lokal pada semua tingkat beban siklis menggunakan perangkat lunak ANSYS. Penelitian dilakukan pada *scantling crane pedestal* pada FPSO Belanak yang berukuran diameter 5.0 m pada bagian bawah dan 3.0 m pada bagian atas, dengan tinggi keseluruhan 42.8 m, mempunyai massa 251 ton. Beban siklus dari gelombang, angin dan operasional diakumulasi dari beban terendah sampai dengan tertinggi. Hasil analisis menunjukkan kontribusi beban terhadap umur kelelahan *crane pedestal scantling* FPSO Belanak berturut-turut dari yang terbesar adalah disebabkan oleh beban gelombang yakni sebesar 97.84%, beban operasional atau beban angkat crane sebesar 2.16%, dan beban angin sebesar 0.000000269%. Umur kelelahan dari *crane pedestal scantling* FPSO Belanak adalah 109.309 tahun atau 3.64 kali umur operasinya. Keandalan terhadap beban kelelahan dari *crane pedestal scantling* FPSO Belanak berdasarkan perhitungan menggunakan simulasi *Monte Carlo* adalah 1.0, yakni baik terjadi pada struktur global maupun area kritis pada daerah sambungan antara *crane pedestal* dengan *bracket*. Nilai-nilai tersebut memperlihatkan bahwa *crane pedestal scantling* mempunyai keandalan yang tinggi dan akan aman dioperasikan sesuai dengan umur rancangannya.

Kata kunci: *crane pedestal scantling, kelelahan, FPSO, keandalan*

RELIABILITY OF CRANE PEDESTAL'S SCANTLING ON FPSO BELANAK DUE TO FATIGUE LOADS

Name : Dhani Trie Prasetyo
NRP : 4305 100 054
Department : Ocean Engineering FTK – ITS
Supervisors : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.
Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

FPSO (Floating Production Storage and Offloading) in its operation is significantly affected by the environmental as well as operational loads. Similarly this would also affect the structural components onboard of the FPSO, including the crane and its pedestal structures which are preserved as the logistic transfer equipments. The crane pedestal structure together with the scantlings that extend to the FPSO hulls should be sufficiently strong to endure the loads, which are fundamentally cyclic in nature. In this regards a designer should be able to design the structure against cyclic loads which in turn would result in a fatigue failure on the crane pedestal scantling. In this investigation the fatigue performance of crane pedestal scantling has been evaluated through the implementation of spectral-deterministic and probabilistic or reliability methods. In the spectral-deterministic method analysis is tackled by using the cumulative damage fatigue equation, whereas the reliability evaluation is accomplished by means of Monte Carlo simulation. Analysis was commenced by the determination of dynamic loads employing the MOSES software, followed by the determination of local stresses at any level of cyclic load utilizing software ANSYS. Investigation has been carried out on the crane pedestal scantling attached to the Belanak FPSO sized 5.0 m diameter at the lower part and 3.0 m diameter on its upper part, having a total height of 42.8 m, with a total mass of 251 tons. The cyclic loads due to wave, wind and operational are accumulated all together from the lowest up to the highest level. Result of the analysis shows the contribution of the loads on the fatigue life are, respectively, from the largest are due to wave in the range of 97.84%, due to operational or lifting load of 2.16% and due to wind is as low as 0.000000269%. The fatigue life of the crane pedestal scantling is finally found to be 109.309years or 3.64 times its designed lifetime. The Belanak FPSO crane pedestal scantling reliability against fatigue failure eventually is achieved as high as 1.0, both at the global as well as at the local critical structures. This fact suggests the crane pedestal scantling preserves a high reliability and would be immensely safe to be operated in accordance with its designed lifetime.

Keywords: crane pedestal scantling, fatigue, FPSO, reliability

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Allah SWT, *Yaa Rahmaan, Yaa Rohiim, Yaa Majiidu, Yaa Jabbaar*. Tuhan Semesta Alam, Penguasa Langit, Bumi dan segala isinya, karena berkat Rahmat, Hidayah dan Inayah-Nya lah, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar. Tugas Akhir ini berjudul **“Keandalan Crane Pedestal's Scantling FPSO Belanak terhadap Beban Kelelahan”**.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Tugas Akhir ini membahas keandalan pada *crane pedestal's scantling* FPSO Belanak yang disebabkan oleh beban operasi *crane* serta beban siklis berupa beban gelombang dan beban angin.

Kami menyadari dalam penulisan laporan ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik sangat penulis harapkan sebagai bahan penyempurnaan untuk penelitian selanjutnya. Penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan, bagi pembaca umumnya dan penulis pada khususnya. Dengan Bismillah kami awali pekerjaan ini, maka sekiranya kami dapat mengakhirinya dengan Alhamdulillah.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, Agustus 2010

Dhani Trie Prasetyo

UCAPAN TERIMA KASIH

Penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dorongan dari pihak-pihak yang secara langsung maupun tidak langsung baik secara moral maupun fisik. Untuk itu penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua, **Ibu Juli Wahyuni** dan **Bapak Supoyo Harjo Sumarmo**, atas kasih sayang yang tulus ikhlas dan tidak dapat tergantikan serta apa yang sudah diberikan untuk anakmu ini. Ibu dan Bapak adalah yang terbaik sedunia.
2. Kakak-kakakku, **Andri Wahyuning Astuti** dan **Erna Dwi Astuti**, kakak iparku, **Iwan Prihantoro** serta *my nephew*, **Loveinna Amira Hayatunnajah**, terima kasih atas kasih sayang dan dorongan semangat untuk terus berjuang.
3. **Bapak Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.**, selaku Dosen Pembimbing I atas kebaikan dan totalitas dalam membimbing di tengah kesibukan Bapak sebagai Pembantu Rektor IV ITS.
4. **Bapak Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.** selaku Dosen Pembimbing II atas kesabaran dan keramahan Bapak dalam membimbing tugas akhir ini.
5. **Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, ST., MT.**, selaku koordinator tugas akhir Jurusan Teknik Kelautan, yang telah mengizinkan penulis untuk mengikuti sidang P3.
6. **Bapak Murdjito M.Sc. Eng.** dan **Bapak Dr.Drs. M. Mustain, M.Sc.** selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS Surabaya.
7. **Bapak Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.** , selaku Dosen Wali dan Pembimbing spiritual selama penulis melakukan studi di Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS Surabaya.
8. Para **Dosen** dan **Karyawan** Jurusan Teknik Kelautan, FTK- ITS Surabaya.
9. **Keluarga besar Shark Army 2005** (Iqbal, Ari, Zul, Septian M.Y, Bhakti, Ryan, Budhi, Adi, Yayak, Komar, Zaldi, Anggi, Riki Jambronk, Ahoe, Aril, Prast, Sandi, Anton, Arif serta teman-teman yang lain yang namanya belum disebutkan), terimakasih atas kebersamaan dan bantuannya selama ini, semoga kita semua meraih kesuksesan.

10. **Asa Wahyudi, Martha Fiskisetya, Andri Kurniawan, Fahmi Ardiansyah, Susi Minarti dan Augene Mahdarezza** atas bantuan, referensi, serta diskusi tentang masalah tugas akhir ini.
11. Psikolog Pribadiku, **Arlita Lusiana Wardani**, atas motivasi dan doa yang diberikan terutama ketika detik-detik akhir menjelang *deadline* pengumpulan tugas akhir, *you're my only one*.
12. **Semua Warga Teknik Kelautan ITS**, baik kakak kelas maupun adik kelas yang membuat penulis bangga menjadi mahasiswa Teknik Kelautan ITS.
13. **Penghuni Kos Gang Makam B-17** (Gepeng, Budi, Puter, Butet, Kartolo, Ateng, Kodar, Iwan, Paijo, Ecek, Samid, Alip, Abud, Sage, Budi, Heru, Erwin, Evan Bro, Bondan, Fredy), atas pelajaran tentang kehidupan, kebersamaan dan persahabatan yang terjalin selama ini.
14. **Teman-teman Minoritas SMA 1 Cilacap** (Gati, Hendrat, Banu, Oke, Ucup, Riri, Handhi, Ghani, Haris dkk.), aku rindu kumpul bersama kalian.
15. **Semua pihak** yang telah membantu, yang tidak dapat disebutkan satu persatu, butuh ruang yang lebih luas untuk mengucapkan semuanya, terima kasih untuk semuanya.

Surabaya, Agustus 2010

Dhani Trie Prasetyo

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	I
LEMBAR PENGESAHAN	V
ABSTRAK	VII
KATA PENGANTAR.....	XI
UCAPAN TERIMA KASIH.....	XIII
DAFTAR ISI.....	XV
DAFTAR TABEL.....	XIX
DAFTAR GAMBAR.....	XXI
DAFTAR NOTASI.....	XXIII
DAFTAR SIMBOL	XXV
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah	5
I.3 Tujuan	6
I.4 Manfaat	6
I.5 Batasan Masalah.....	6
I.6 Sistematika Penulisan.....	7
BAB II DASAR TEORI.....	9
2.1 Tinjauan Pustaka	9
2.2 Dasar Teori	11
2.2.1 FPSO.....	11
2.2.2 <i>Crane</i>	11
2.2.3 Crane Pedestal's Scantling	13
2.2.4 Pembebanan.....	14

2.2.5 Beban Gelombang.....	15
2.2.5.1 Teori Spektrum Gelombang JONSWAP	19
2.2.5.2 Response Amplitude Operators (RAO).....	20
2.2.5.3 Respon Spektrum.....	21
2.2.6 Beban Angin	22
2.2.7 Beban Angkat Crane	26
2.2.8 Kelelahan (Fatigue).....	28
2.2.8.1 Persamaan Kelelahan Terangkai.....	29
2.2.9 Keandalan Struktur	35
2.2.9.1 Moda Kegagalan.....	36
2.2.9.2 Simulasi Montecarlo.....	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	39
BAB IV PEMODELAN DAN PEMBAHASAN HASIL	43
4.1. Data	43
4.1.1. Data Struktur	43
4.1.1.1. Struktur FPSO.....	43
4.1.1.2 Struktur Crane.....	44
4.1.1.3 Crane Pedestal.....	44
4.1.1.4 Crane Pedestal's Scantling.....	45
4.1.1.5 Crane Boom.....	46
4.1.2 Data Lingkungan.....	46
4.1.3 Data Beban Angkat <i>Crane</i>	47
4.1.4 Data Gerakan FPSO	48
4.1.5 Data Material.....	48
4.2 Pemodelan.....	49
4.2.1 Pemodelan Menggunakan AUTOCAD	49

4.2.2	Pemodelan Menggunakan <i>Maxsurf</i>	49
4.2.3	Pemodelan Menggunakan Moses	50
4.2.4	Pemodelan Menggunakan Ansys	51
4.3	Perhitungan	54
4.3.1	Validasi Motion FPSO	54
4.3.2	Perhitungan Motion FPSO	54
4.3.3	Perhitungan Beban Gelombang	59
4.3.4	Perhitungan Beban Angin	63
4.3.4.1	Kecepatan Angin	63
4.3.4.2	Gaya Angin pada struktur tertinggi	66
4.3.4.3	Momen Angin	68
4.3.5	Perhitungan Beban Angkat Crane	69
4.3.5.1	Perhitungan Beban Angkat Crane	69
4.3.6	Analisis Fatigue	74
4.3.6.1	Analisis Kelelahan akibat Beban Gelombang	75
4.3.6.2	Analisis Kelelahan akibat Beban Angin	77
4.3.6.3	Analisis Kelelahan akibat Beban Angkat Crane	81
4.3.7	Analisis Keandalan	83
4.3.7.1	Keandalan Struktur Secara Global	83
4.3.7.2	Keandalan Struktur pada Daerah Kritis	86
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		89
5.1	Kesimpulan	89
5.2	Saran	89
DAFTAR PUSTAKA		91
LAMPIRAN		
BIODATA PENULIS		

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Data Spesifikasi FPSO Belanak	11
Tabel 2. 2 Spesifikasi <i>Crane</i>	12
Tabel 2. 3 Amplitudo dan Tinggi Gelombang	20
Tabel 2. 4 <i>Effective shape coefficient</i> C_e untuk single frame	23
Tabel 2. 5 Tipe Sambungan	32
Tabel 4. 1 Data spesifikasi FPSO Belanak.....	43
Tabel 4. 2 Intensitas kejadian angin pada daerah Natuna tahun 2006 dan 2007 ..	46
Tabel 4. 3 Data Gelombang <i>Metoccean</i>	47
Tabel 4. 4 Spektrum Angkat <i>Crane</i>	47
Tabel 4. 5 Data Percepatan Gerakan FPSO pada Kondisi Badai	48
Tabel 4. 6 Data Material dan Properti Desain Baja	48
Tabel 4. 7 <i>Mesh Sensivity Analysis</i>	52
Tabel 4. 8 Validasi <i>Motion</i> Conoco Phillips dengan Hasil Pemodelan	54
Tabel 4. 9 <i>Maximum Single Amplitude Acceleration</i>	55
Tabel 4. 10 Jari-jari girasi	62
Tabel 4. 11 Gaya inersia dan momen gaya secara global	63
Tabel 4. 12. Data intensitas kejadian angin satu tahun	64
Tabel 4. 13 Konversi kecepatan angin pada elevasi 10m	65
Tabel 4. 14 Kecepatan angin pada elevasi	65
Tabel 4. 15 Diameter silinder tiap ketinggian	66
Tabel 4. 16 <i>Reynold Number</i> tiap-tiap ketinggian	67
Tabel 4. 17 Gaya angin pada tiap-tiap ketinggian.....	68
Tabel 4. 18 Momen angin ketiga ketinggian.....	69
Tabel 4. 19 Beban Angkat <i>Crane</i>	71

Tabel 4. 20 <i>Axial Load Crane</i>	71
Tabel 4. 21 Momen Akibat Beban Operasional <i>Crane</i>	72
Tabel 4. 22 Spektrum Angkat <i>Crane</i>	74
Tabel 4. 23 Intensitas Penggunaan <i>Crane</i>	74
Tabel 4. 24 Perhitungan Kelelahan akibat beban gelombang.....	76
Tabel 4. 25 Frekuensi <i>vortex shedding</i> untuk tiap detik.....	77
Tabel 4. 26 Jumlah Kejadian Angin selama 2 tahun	78
Tabel 4. 27 Probabilitas Kejadian Angin.....	78
Tabel 4. 28 Frekuensi <i>vortex shedding</i> untuk 30 tahun	79
Tabel 4. 29 Perhitungan rasio rasio kumulatif kerusakan akibat beban angin	80
Tabel 4. 30 Perhitungan rasio kumulatif kerusakan akibat beban angkat crane....	81
Tabel 4. 31 Kontribusi ketiga beban terhadap kelelahan.....	82
Tabel 4. 32 Variabel taktentu Beban Gelombang.....	84
Tabel 4. 33 Variabel taktentu Beban Angin	84
Tabel 4. 34 Variabel taktentu Beban Operasional	84
Tabel 4. 35 Perhitungan keandalan system <i>scantling</i> (global)	85
Tabel 4. 36 Variabel taktentu daerah kritis akibat beban gelombang.....	87
Tabel 4. 37 Perhitungan keandalan <i>scantling</i> daerah kritis	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Tingkat Pertumbuhan Sistem Produksi Terapung.....	1
Gambar 1. 2 FPSO Belanak	2
Gambar 1. 3 Lokasi Pengoperasian FPSO Belanak di Perairan Belanak, Natuna .	2
Gambar 1. 4 Struktur <i>crane</i> pada FPSO Belanak	3
Gambar 1. 5 Susunan <i>Crane Pedestal's Scantling</i>	4
Gambar 2. 1 <i>Crane</i> pada FPSO Belanak	12
Gambar 2. 2 Penampang Sambungan <i>Crane Pedestal, Hull</i> dan <i>Scantling</i>	13
Gambar 2. 3 <i>Scatter diagram</i> perairan Mediteranian.....	15
Gambar 2. 4 <i>Six Degree of Freedom</i> Bangunan Apung.....	16
Gambar 2. 5 <i>Velocity and coordinate system</i>	18
Gambar 2. 6 <i>Vortex shedding frequency</i>	25
Gambar 2. 7 <i>Free body diagram crane</i>	27
Gambar 2. 8 Kurva S-N	33
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	40
Gambar 4. 1 <i>Crane</i> FPSO Belanak	44
Gambar 4. 2 <i>Crane Pedestal</i> FPSO Belanak	45
Gambar 4. 3 <i>Technical drawing Crane Pedestal's Scantling</i> FPSO Belanak	45
Gambar 4. 4 <i>Crane Boom</i> FPSO Belanak	46
Gambar 4. 5 Pemodelan <i>Lines Plan</i> FPSO Belanak dengan AutoCAD	49
Gambar 4. 6 Model FPSO Belanak.....	49
Gambar 4. 7 Pemodelan FPSO Belanak dengan Maxsurf	50
Gambar 4. 8 <i>Isometric</i> dan <i>Top of View</i> FPSO Belanak	50
Gambar 4. 9 Model <i>Crane Pedestal's Scantling</i> FPSO Belanak	51
Gambar 4. 10 Input karakteristik struktur pada ANSYS	51

Gambar 4. 11 Penentuan Syarat Batas model ANSYS.....	52
Gambar 4. 12 Karakteristik MSA	53
Gambar 4. 13 Grafik RAO <i>motion surge</i> FPSO Belanak	56
Gambar 4. 14 Grafik RAO <i>motion sway</i> FPSO Belanak.....	56
Gambar 4. 15 Grafik RAO <i>motion heave</i> FPSO Belanak.....	57
Gambar 4. 16 Grafik RAO <i>motion roll</i> FPSO Belanak	57
Gambar 4. 17 Grafik RAO <i>motion pitch</i> FPSO Belanak	58
Gambar 4. 18 Grafik RAO <i>motion yaw</i> FPSO Belanak	59
Gambar 4. 19 Susunan <i>crane pedestal</i> berdasarkan diameternya	59
Gambar 4. 20 Detail <i>Crane Boom</i>	60
Gambar 4. 21 <i>Crane Pedestal</i> berdasarkan pada ketinggian silinder	66
Gambar 4. 22 Bentuk visualisasi <i>crane pedestal</i> FPSO Belanak yang beroperasi	70
Gambar 4. 23 <i>Free body crane pedestal</i> FPSO Belanak yang beroperasi.....	70
Gambar 4. 24 Ukuran utama <i>Crane Pedestal</i> dan <i>Boom</i>	72
Gambar 4. 25 Letak tegangan terbesar	76
Gambar 4. 26 Histogram Kontribusi Beban Kelelahan	83
Gambar 4. 27 Grafik keandalan untuk tiap simulasi sistem <i>scantling</i> global.....	86
Gambar 4. 28 Kontur Tegangan pada Daerah Kritis	86
Gambar 4. 29 Grafik keandalan untuk tiap simulasi <i>scantling</i> Daerah Kritis	88

DAFTAR NOTASI

a	massa kapal dan <i>added mass</i>
\ddot{z}	percepatan vertikal.
b	konstanta damping
\dot{z}	kecepatan
c	konstanta spring
z	displacement <i>center of gravity</i> kapal
F_0	<i>amplitude of the encountering force</i>
t	waktu.
M	massa kapal
r	jari-jari girasi
I	momen inersia
T_p	periode puncak spectra
H_s	tinggi gelombang signifikan
S_R	<i>response spectrum</i>
$S(\omega)$	spectra gelombang
RAO	<i>response amplitude operator</i>
T	lama kejadian badai
V	kecepatan angin pada elevasi y
V_{10}	kecepatan angin pada elevasi 10 m
y	elevasi yang akan dihitung kecepatan anginnya
F	gaya angin
C	koefisien bentuk dalam perhitungan gaya angin
q	tekanan angin
S	luasan yang terkena gaya angin
q	tekanan angin
$U_{T,z}$	kecepatan angin
F_{sol}	gaya angin dengan <i>solidity effect</i>
C_e	koefisien efektif
R_n	<i>Reynold number</i>
D	diameter struktur



ν	<i>kinematic viscosity</i>
f	frekuensi <i>vortex shedding</i>
D	diameter struktur
S_N	<i>Strouhal number</i>
f_n	frekuensi natural struktur
C	konstanta (untuk tumpuan sederhana bernilai 1.57)
L	panjang struktur
E	modulus elastisitas
I	momen inersia batang struktur
V_r	<i>reduced velocity</i>
u	kecepatan angin yang mengenai struktur
C_f	<i>fluctuating force coefficient</i>
W	beban <i>crane</i>
G	percepatan gravitasi
l	lengan momen
n_i	jumlah <i>cycle</i> kolom interval rentang tegangan i dengan harga S_i
N_i	jumlah <i>cycle</i> rentang tegangan dengan harga S_i yang menyebabkan kegagalan.
m	total dari interval-interval rentang tegangan.
D	rasio kerusakan kumulatif.
A	intersepsi sumbu log
m	kemiringan kurva S-N
SCF	<i>stress concentration factor</i>
N_L	siklus rentang tegangan total yang terjadi
S_e	tegangan terbesar.
M	ambang keselamatan
R	faktor ketahanan
L	faktor beban
Pf	peluang kegagalan
n	jumlah kejadian yang gagal
N	jumlah sampel
K	keandalan

DAFTAR SIMBOL

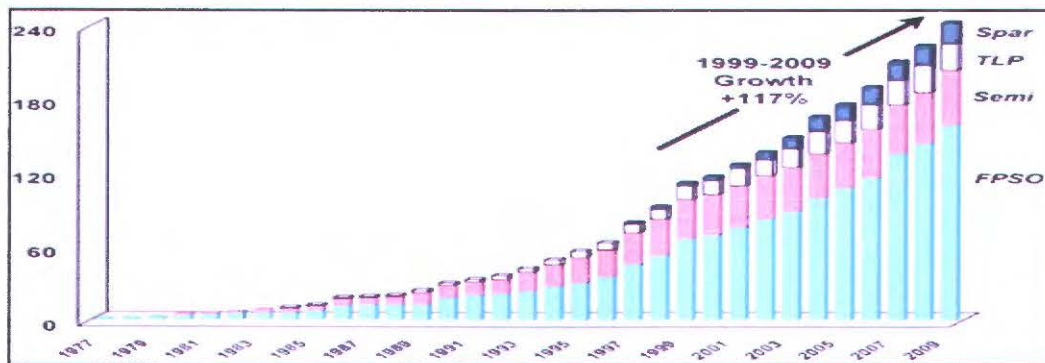
ω_e	<i>circular amplitude of the encountering force</i>
α	percepatan putar
τ	parameter bentuk
γ	parameter puncak
η	amplitude gelombang
ω	frekuensi angular
α	kemungkinan kejadian tidak terjadi pada saat perancangan (1% - 5%)
ρ	massa jenis udara
\emptyset	perbandingan antara area solid yang terkena beban angin dengan luasan frame
Δ	<i>damage limit</i>
σ_{local}	tegangan maksimum lokal
$\sigma_{nominal}$	tegangan nominal

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Berkembangnya teknologi pengeboran migas lepas pantai menyebabkan kecenderungan untuk melakukan eksplorasi dan eksploitasi di laut dalam dengan menggunakan struktur terapung (*floating structure*). FPSO adalah sebuah fasilitas terapung yang dioperasikan di suatu ladang minyak dan gas bumi lepas pantai yang berfungsi untuk menerima, memproses, menyimpan dan menyalurkan hidrokarbon. Bangunan FPSO terdiri dari sebuah struktur pengapung berbentuk sebuah kapal (bangunan baru atau dari modifikasi kapal tanker yang dialihfungsikan) yang secara permanen ditambatkan di tempatnya beroperasi. Ruang muat dari bangunan apung ini digunakan sebagai penyimpan minyak yang diproduksi. Di atas geladak bangunan FPSO ini dilengkapi dengan fasilitas-fasilitas pemroses (*topside facilities*) hidrokarbon dan akomodasi. Oleh sebab itu, bangunan FPSO mulai banyak digunakan dalam teknologi eksplorasi dan eksploitasi migas di laut dalam.



Gambar 1. 1 Tingkat Pertumbuhan Sistem Produksi Terapung (Woodgroup Bulletin, 2009)

Penggunaan FPSO telah tumbuh dengan pesat sejak awal tahun 1990an. Menurut ODS-Petrodata, hanya ada 10 FPSO yang beroperasi pada tahun 1990. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.1, dari tahun 1999 sampai dengan tahun 2009 terjadi peningkatan jumlah FPSO sebesar 117% dan jumlah tersebut akan terus

mengalami peningkatan mencapai 200 % pada tahun 2012. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan terhadap FPSO akan semakin meningkat.



Gambar 1. 2 FPSO Belanak (PT. McDermott, 2010)

Dalam penelitian ini, FPSO yang dijadikan objek adalah FPSO Belanak seperti yang ditinjau pada Gambar 1.2. FPSO Belanak merupakan salah satu FPSO yang dioperasikan di Indonesia. FPSO yang dibangun di Dalian, China untuk Conoco Phillips ini memiliki berat 255000 ton dan panjang 285 meter, dengan kapasitas penyimpanan 1 juta barel yang telah dioperasikan di perairan Belanak, Natuna.



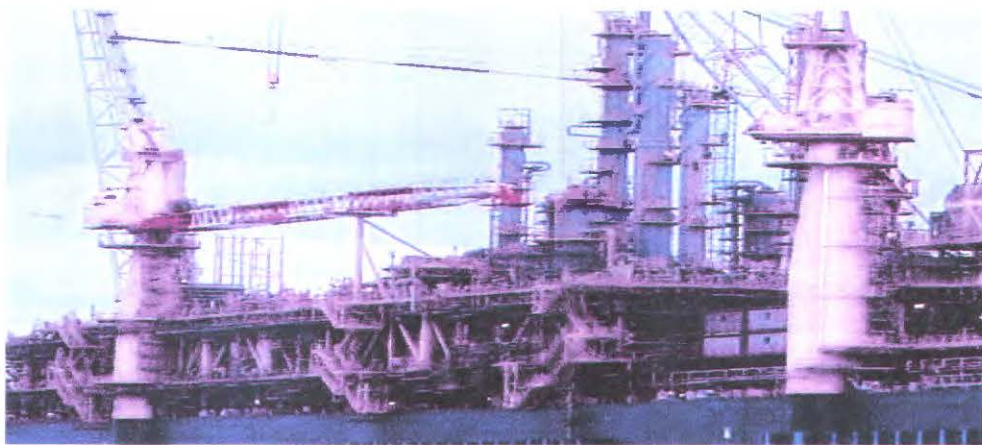
Gambar 1. 3 Lokasi Pengoperasian FPSO Belanak di Perairan Belanak, Natuna

(sumber: <http://www.conocophillips.com>, 20 Maret 2010)

Badan FPSO Belanak akan digabungkan dengan modul akhir di Pulau Batam oleh PT. McDermott Indonesia sebelum dioperasikan di perairan Belanak, Natuna seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.3, pada tahun 2004. Pola pembangunan badan FPSO ini dilakukan dengan metode blok. Bagian belakang mewakili 40%

badan FPSO, dibangun pada *slipway* dan kemudian diluncurkan ke laut dengan menarik *drydock* dengan ukuran 375 m x 80 m, dimana blok bagian depan dirakit dan badan FPSO di sambung.

Salah satu peralatan dalam FPSO Belanak adalah *crane*. *Crane* didefinisikan sebagai mesin pengangkat yang dapat digunakan untuk mengangkat dan menurunkan benda, selain itu juga untuk memindahkan benda secara horizontal. *Crane* pada umumnya dioperasikan untuk kegiatan operasional, seperti proses *loading* dan *unloading* muatan baik muatan logistik yang berbobot ringan maupun peralatan berat. Struktur *crane* yang digunakan dalam FPSO Belanak dapat dilihat pada Gambar 1.4 sebagai berikut:

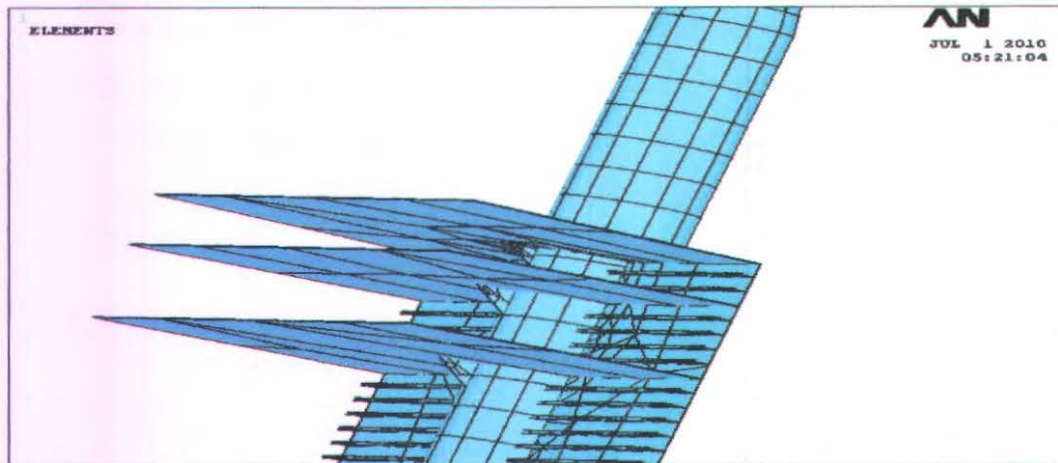


Gambar 1. 4 Struktur *crane* pada FPSO Belanak (PT. McDermott, 2010)

Sebuah struktur *crane* terdiri dari *crane boom*, *boom point sheave assembly*, *boom tip extension*, *bridle*, *revolving upperstructure*, *swing circle assembly*, *boom foot pin*, *sheave pin*, *connectors*, *fastening*, *pedestal*, dan *center post* (API Specification 2C 5th Edition, 1995). FPSO Belanak memiliki 2 buah *crane* yang terletak pada aft crane F15 dan aft crane F22. Kedua *crane* tersebut terletak pada sisi FPSO. Ukuran *crane* FPSO Belanak, untuk *crane boom* mempunyai panjang 68.2 meter dan tinggi dari *crane pedestal* adalah 42.8 meter.

Salah struktur penting pada sebuah *crane* adalah *crane pedestal*. *Crane pedestal* adalah sebuah sub-struktur pendukung yang di atasnya terdapat bagian struktur

crane yang dapat berputar dan menjulang tinggi, dan berfungsi sebagai dasar konstruksi untuk menyangga struktur yang ada di atasnya. Untuk menunjang kinerja *crane pedestal*, maka perlu ditambahkan berupa penguat pada *crane pedestal* atau biasa disebut dengan *crane pedestal's scantling*. *Crane pedestal's scantling* terdiri atas *girders*, *plates*, *stiffener* dan *bracket* yang dipasang pada daerah di sekitar *crane pedestal* seperti yang yang ditunjukkan pada Gambar 1.5.



Gambar 1.5 Susunan Crane Pedestal's Scantling (dimodelkan dengan ANSYS, 2010)

Crane pedestal's scantling merupakan salah satu struktur yang ada pada FPSO yang harus diperhitungkan keandalannya terhadap pengaruh beban. Akibat dari beban yang mengenai *crane* seperti berat dari *crane* itu sendiri, beban operasional dan beban lingkungan yang cukup signifikan, maka secara langsung akan berpengaruh pada *crane pedestal's scantling* terutama ditinjau dari umur kelelahannya (*fatigue*).

Permasalahan yang selalu ada pada struktur lepas pantai adalah kerusakan yang dapat menyebabkan struktur tersebut gagal. Kerusakan bangunan laut terutama terjadi akibat kelelahan (*fatigue*), baik pada komponen struktur utama maupun struktur sekunder dan tersier (Djarmiko, 2003a). Menurut Wirsching (1987), bangunan lepas pantai cenderung mengalami kelelahan karena beban lingkungan yang bekerja didominasi oleh gelombang yang bersifat siklis, sehingga kelelahan adalah penyebab utama kerusakan pada bangunan lepas pantai, dimana struktur merespon secara dinamis gelombang acak serta beban angin. Di samping itu faktor-faktor operasi lain pada tingkat tertentu juga dapat menambah beban siklis

ini, sehingga keadaan struktur bertambah kritis. Oleh sebab itu analisis kelelahan pada struktur lepas pantai sangat perlu untuk dilakukan.

Metode Palmgren-Miner merupakan metode konvensional yang digunakan pada analisis kelelahan. Dimana perhitungan kelelahan pada sambungan struktur didasarkan pada hukum kegagalan kumulatif Palmgren-Miner. Seperti contoh kasus *crane pedestal's scantling* pada FPSO Belanak, beban yang bekerja pada *crane pedestal* terdiri dari beban gelombang, beban angin, dan beban operasional yaitu beban angkat *crane*. Oleh sebab itu, kegagalan kumulatif pada *crane pedestal's scantling* terdiri dari kegagalan kumulatif akibat ketiga beban tersebut. Sesuai hukum Palmgren-Miner, kegagalan sambungan akan terjadi jika indeks kerusakan D mencapai harga 1.0.

Wahyudi (2009) telah melakukan penelitian tentang analisis kelelahan *crane pedestal* pada FPSO Belanak dan menghasilkan kesimpulan bahwa beban yang berpengaruh pada analisis *fatigue crane pedestal* adalah beban gelombang, beban angin, dan beban operasi *crane*. Dari kajian tersebut diperoleh bahwa beban gelombang memiliki pengaruh yang paling besar terhadap umur kelelahan struktur *crane pedestal*. Umur kelelahan dari struktur *crane pedestal* FPSO Belanak dengan panjang model 10.8 m adalah 57.8 tahun. Namun penelitian ini tidak dilakukan analisa *fatigue* dan analisa keandalan pada *crane pedestal's scantling* FPSO Belanak. Karena mempunyai peranan yang cukup penting untuk menopang kinerja *crane pedestal* pada FPSO Belanak, maka analisa terhadap *crane pedestal's scantling* juga perlu dilakukan.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka pada tugas akhir ini akan melakukan analisis keandalan pada *crane pedestal's scantling* akibat beban kelelahan (*fatigue*) pada *Floating Production Storage and Offloading (FPSO)* Belanak milik Conoco Philips yang ditempatkan di Blok Natuna.

I.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan diselesaikan dalam tugas akhir ini adalah :

1. Beban apa saja yang mempengaruhi FPSO dan struktur *crane* sehingga mengakibatkan kelelahan (*fatigue*) pada *crane pedestal's scantling*?

2. Berapakah fatigue life dari *crane pedestal's scantling*?
3. Berapakah keandalan dari *crane pedestal's scantling* akibat beban kelelahan (*fatigue*) berdasarkan umur kelelahannya ?

I.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui dan memperhitungkan beban-beban yang menyebabkan kelelahan (*fatigue*) pada *crane pedestal's scantling*.
2. Mengetahui fatigue life dari *crane pedestal's scantling*.
3. Mengetahui keandalan dari *crane pedestal's scantling* akibat beban kelelahan (*fatigue*) berdasarkan umur kelelahannya.

I.4 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Identifikasi terhadap beban-beban yang mempengaruhi umur kelelahan (*fatigue life*) dari *crane pedestal's scantling* pada FPSO.
2. Dapat mengetahui besarnya pengaruh beban siklis dan beban operasional *crane* terhadap umur kelelahan (*fatigue life*) dari *crane pedestal's scantling*.
3. Prosedur dan hasil perhitungan dapat dijadikan dasar dalam merancang *crane pedestal's scantling* dengan pertimbangan beban-beban yang berpengaruh.
4. Sebagai bahan pembelajaran dan pertimbangan bagi penelitian selanjutnya.

I.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Crane pedestal's scantling* yang ditinjau dalam tugas akhir ini adalah *crane pedestal's scantling* pada FPSO Belanak yang merupakan tumpuan struktur *crane pedestal* dan terhubung dengan *hull* FPSO.
2. Beban-beban yang ditinjau adalah beban gelombang, beban angin, dan beban operasi *crane*.
3. Nilai defleksi dari *crane boom* dan *pedestal* diabaikan.

4. Gerakan ayunan yang terjadi dari *crane* dan *boom* pada saat operasi diabaikan dan hanya ditinjau beban yang diangkat oleh *crane* saja.
5. Pada pemodelan FEM (*Finite Element Method*), cara pengelasan pada sambungan *scantling* dengan *crane pedestal* diabaikan dan diasumsikan tanpa ada cacat.
6. Analisis global untuk memperoleh beban gelombang pada FPSO menggunakan MOSES. Pada analisis global ini, beban lingkungan yang dimasukkan hanya berupa karakteristik gelombang untuk mendapatkan respon dan akselerasi maksimal akibat beban gelombang. Hal ini dilakukan karena pada setiap beban lingkungan dan beban operasi mempunyai siklus yang berbeda-beda dan tidak dapat disuperposisikan untuk menghitung *fatigue*. Sedangkan untuk perhitungan beban angin dan beban angkat *crane* dilakukan dengan perhitungan manual.
7. Analisis lokal pada *crane pedestal's scantling* untuk mendapatkan respons struktur menggunakan ANSYS.
8. Analisis *fatigue* dilakukan pada bagian sambungan *crane pedestal* dengan *crane pedestal's scantling* dengan metode deterministik dengan hukum *Palmgren-Miner*.
9. Analisa keandalan struktur dilakukan dengan menggunakan *Monte Carlo Simulation*.

I.6 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini disusun menggunakan sistematika penulisan sebagai berikut :

Bab I. Pendahuluan

Meliputi latar belakang penyusunan tugas akhir ini, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

Bab II. Tinjauan Pustaka

Berisikan tentang beberapa hasil paparan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang mendukung serta teori yang melandasi. Adapun teori yang mendukung dalam tugas akhir ini adalah *crane pedestal's scantling*, perilaku gerak bangunan terapung, analisa gelombang, beban angin dan beban angkat *crane*, teori dan persamaan mengenai kelelahan struktur, aplikasi teori keandalan

pada struktur lepas pantai, serta ketentuan-ketentuan mengenai struktur yang direkomendasikan oleh code.

Bab III. Metodologi

Berisi tentang alur pengerjaan meliputi algoritma, analisis, permodelan dan perhitungan yang diterapkan dalam tugas akhir ini dengan tujuan untuk memecahkan masalah yang diangkat dalam bentuk diagram alir atau *flow chart* yang disusun secara sistematis.

Bab IV. Analisa dan Pembahasan

Pada bab ini berisi penjelasan tentang data yang digunakan dalam tugas akhir, perhitungan dan permodelan yang dilakukan, analisis, pengolahan dan pembahasan data hasil dari output permodelan yang dilakukan.

Bab V. Kesimpulan dan Saran

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan tugas akhir, hasil dari analisis, serta saran-saran sebagai tindak lanjut yang dapat dilakukan dari penelitian ini.

BAB II

DASAR TEORI



2.1 Tinjauan Pustaka

Offshore Floating Production System telah dikembangkan selama beberapa tahun tanpa jaringan pipa transportasi. Sistem tersebut menjadi lebih penting akibat dorongan industri lepas pantai yang mengarah pada laut dalam. FPSO (*Floating Production Storage and Offloading*) menjadi salah satu konsep yang lebih tepat untuk kondisi laut dalam. Sistem FPSO mulai diperkenalkan pada tahun 1974 yang dioperasikan pada kedalaman 43 meter dan sekarang FPSO dapat dioperasikan hingga kedalaman laut 1400 meter (Shimamura, 2002).

Floating Production Storage and Offloading (FPSO) pada dasarnya adalah kapal dengan lambung tunggal yang difungsikan sebagai wahana untuk mengakomodasi fasilitas di atas geladak guna memproses produk migas dan sekaligus menyimpannya di dalam tanki-tanki pada lambungnya sebelum produk tersebut ditransfer ke kapal-kapal tanki pengangkut untuk didistribusikan ke pasaran. Konsep FPSO pada dasarnya diperkenalkan untuk menggantikan sistem kombinasi anjungan produksi dengan fasilitas penyimpanan terapung atau *Floating Storage Offloading* (FSO). Integrasi dua fungsi yang dapat diakomodasikan dalam satu wahana tentu akan memberikan efisiensi segi teknis dan ekonomis dari beberapa aspek, baik pada tahap pembangunan maupun operasinya.

Floating Production Storage and Offloading (FPSO) sebagai salah satu bangunan apung yang memiliki ukuran besar, mendapatkan pengaruh yang sangat signifikan dari beban gelombang dan angin. Bangunan lepas pantai sering mengalami beban yang sifatnya berulang (siklis), yang menyebabkan berkurangnya kekuatan struktur. Seperti penelitian dari (Barltrop dan Okan, 2000), yang menggunakan FPSO Schiehallion sebagai obyek, pada bagian haluan FPSO rentan terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh gelombang yang curam. Struktur FPSO sangat

rentan terhadap beban siklis, karena berpengaruh pula pada struktur lain yang berada di dalam FPSO, seperti: *crane, flare boom, separator*, dan lain-lain.

Fenomena kerusakan ataupun berkurangnya kekuatan struktur akibat beban-beban, terutama beban siklis seperti disebutkan di atas, dikenal dengan kelelahan struktur (*fatigue*), dan secara esensial ditandai dengan proses keretakan awal (*initial crack*) dan pada proses selanjutnya terjadi penjaralan (*propagation*) serta kepecahan (*failure*) (Soedjono, 1989).

Disamping itu, faktor-faktor operasi lain pada tingkatan tertentu juga dapat menambah beban siklis ini, sehingga keadaan struktur menjadi bertambah kritis (Djarmiko, 2003a). Karena kelelahan (*fatigue*) adalah penyebab utama kerusakan pada bangunan lepas pantai, dimana struktur merespon secara dinamis gelombang acak serta beban angin (Wirsching, 1987). Biasanya, kelelahan (*fatigue*) akan terjadi apabila akumulasi dari kerusakan telah melampaui tingkatan kritis (*critical level*) (Boonstra et al, 2002). Untuk itu, analisis kelelahan penting dilakukan untuk memprediksi besar nilai *fatigue life*.

Wahyudi (2009) telah melakukan penelitian tentang analisis kelelahan crane pedestal pada FPSO Belanak dan menghasilkan kesimpulan bahwa beban yang berpengaruh pada analisis *fatigue crane pedestal* adalah beban gelombang, beban angin, dan beban operasi *crane* dengan beban gelombang memiliki pengaruh yang paling besar terhadap umur kelelahan struktur *crane pedestal*. *Fatigue life* dari struktur *crane pedestal* FPSO Belanak dengan panjang model 10.8 m adalah 57.8 tahun. Pada penelitian itu belum dilakukan analisis tentang keandalan struktur *scantling crane pedestal FPSO Belanak*. Untuk menunjang kinerja *crane pedestal*, maka perlu ditambahkan berupa penguat pada *crane pedestal* atau biasa disebut dengan *crane pedestal's scantling*. *Crane pedestal's scantling* terdiri atas *stiffener* dan *bracket* yang dipasang pada daerah di sekitar *crane pedestal*. Saat ini, *scantling* berkembang dengan berbagai macam variasi bahan. *Scantling* ini mempunyai peranan penting untuk menjaga dan memperkuat struktur *crane pedestal*. Dalam operasinya, *crane pedestal's scantling* akan menerima gaya-gaya yang akan menyebabkan *scantling* mengalami kelelahan. Oleh karena itu

diperlukan perhitungan keandalan *crane pedestal's scantling* terhadap beban kelelahan.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 FPSO

Dalam tugas akhir ini, obyek yang digunakan adalah Crane Pedestal Scantling Floating Production Storage and Offloading (FPSO) milik Conoco Philips yang bernama Belanak. FPSO Belanak dibangun di Dalian, Republik Rakyat China (RRC), sedangkan *topside*-nya dibangun di galangan PT. McDermott Indonesia di Batam. FPSO Belanak ditempatkan di blok Natuna. Beban total dari FPSO tersebut sebesar 255000 ton dengan panjang 285 m. memiliki kapasitas penyimpanan minyak sebesar 1 juta barrel. FPSO Belanak dibangun dengan bentuk *double side*. Konfigurasi *single bottom* tanpa *self propulsion*. FPSO Belanak didesain untuk beroperasi 30 tahun tanpa *dry docking*. Data spesifikasi teknis FPSO belanak untuk lebih jelasnya disajikan dalam Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2. 1 Data Spesifikasi FPSO Belanak (Wahyudi, 2009)

No	Data	Spesifikasi
1	LOA	285m
2	<i>Depth</i>	26m
3	<i>Beam</i>	58m
4	<i>Vessel Draft Full</i>	16.2m
5	<i>Vessel Draft Medium</i>	14.6m
6	<i>Vessel Draft Light</i>	13.9m
7	<i>Displacement</i>	255,000ton
8	<i>Service Life</i>	30years

2.2.2 Crane

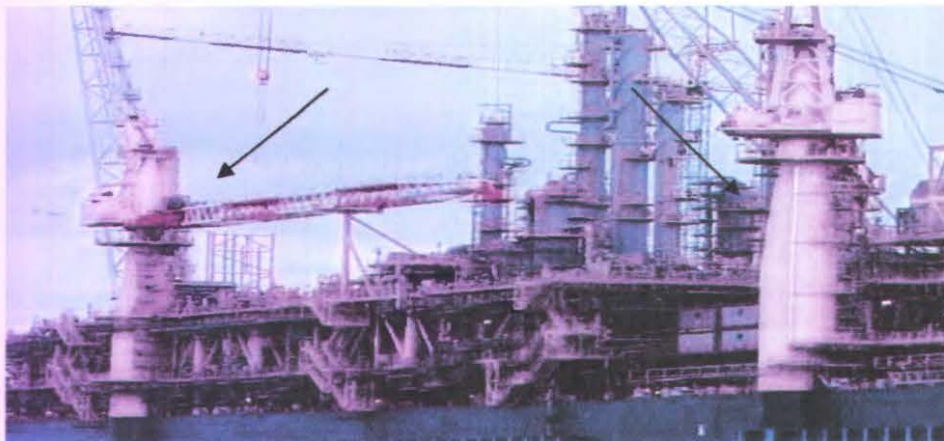
Pada dasarnya ada berbagai macam tipe *crane* yang dijumpai sebagai alat bantu fasilitas industri. Salah satu peralatan pada FPSO Belanak adalah *crane*. FPSO Belanak memiliki dua buah *crane* yang terletak di sisi samping kiri atau pada *port side* FPSO Belanak yang terlihat pada Gambar 2.1, yaitu pada aft F15 dan F42 dari FPSO Belanak, dengan tipe dan spesifikasi terpapar pada Tabel 2.2 sebagai berikut :

Tabel 2. 2 Spesifikasi *Crane* (Wahyudi, 2009)

No	Data	Spesifikasi
1	Type	2 x Diesel Seatrax Series 115, Model 11532
2	Weight	251 ton
3	Capacity	50.0 ton
4	Length	68.2 m
5	Height	44.8 m

Tinggi *crane pedestal* sampai dengan *crane's control room* adalah 44.8m. Beban maksimum yang dapat diangkat *crane* adalah 50 ton. Secara spesifik, ada tiga konfigurasi dari *tower crane* (Peurifoy, 1996), yaitu:

- *special vertical boom* yang disusun dalam *mobile crane*.
- *mobile crane* pada struktur utama yang ditumpu pada puncak *tower*,
- *vertical crane* dengan operator dipuncak.



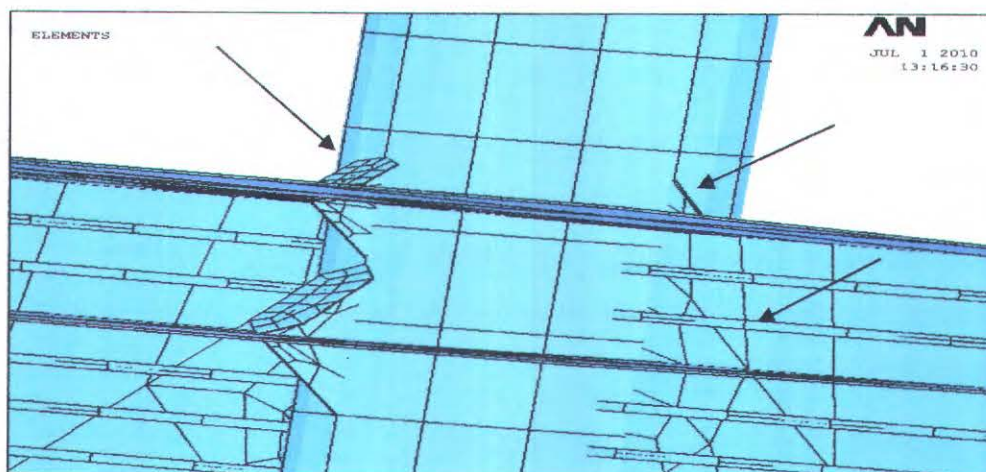
Gambar 2. 1 *Crane* pada FPSO Belanak (PT. McDermott, 2010)

Dalam pembuatan dan pengembangan kapasitas *crane* perlu mempertimbangkan faktor struktur *crane* dan faktor operasional yang mempengaruhi kapasitas total (Peurifoy, 1996). Karena operasi pengangkatan dengan *crane* pada FPSO lebih berbahaya dibanding operasi yang sama pada *fixed offshore structure* (Langen dan Than, 2003). *Crane* FPSO pada kondisi lingkungan yang berbahaya, mendapat tambahan beban dinamis yaitu beban ayunan (*swing*). Selain itu, FPSO merupakan *floating structure* sehingga gerakan FPSO sangat berpengaruh dibandingkan dengan *fixed structure*. Apalagi dengan kondisi lingkungan yang

berbahaya, gerakan FPSO tersebut sangat berpengaruh pula terhadap operasi pengangkatan dengan *crane*.

2.2.3 Crane Pedestal's Scantling

Crane pedestal's scantling adalah berupa penegar yang terdiri dari *girders*, *stiffeners*, dan *plates* yang berfungsi sebagai tumpuan struktur *crane*, serta tersambung dengan *hull* FPSO yang terlihat seperti Gambar 2.2 di bawah ini. Selain itu, *scantling* juga berfungsi untuk memperkuat posisi pilar terhadap gaya-gaya yang terjadi. Pilar di sini diasumsikan sebagai *crane pedestal* yang berbentuk tubular. Struktur pada atas dan bawah pilar seperti halnya bangunan bawah diharapkan untuk dibangun penegar untuk menambah kekuatan pada struktur *crane pedestal*.



Gambar 2. 2 Penampang Sambungan antara *Crane Pedestal*, *Hull* dan *Scantling*
(dimodelkan dengan ANSYS, 2010)

Dalam *structural arrangement* pada struktur *crane pedestal*, penentuan scantling adalah hal penting yang harus diperhitungkan. Penentuan *scantling* untuk *crane pedestal* ditentukan oleh *local strength* yang dibutuhkan oleh *scantling* untuk menumpu struktur *crane*. Dalam desainnya, *scantling* merupakan struktur kompleks yang mempertimbangkan banyak aspek terutama aspek tekanan, baik pada bagian atas maupun bagian bawah FPSO akibat dari beban-beban yang bekerja pada FPSO tersebut.

2.2.4 Pembebanan

Dalam proses perancangan struktur lepas pantai (*offshore structure*), penentuan kemampuan kerja struktur dipengaruhi oleh beban yang bekerja pada struktur tersebut. Perancang harus menentukan akurasi beban yang akan dipakai dalam perancangan *offshore structure* terlebih dahulu. Beban-beban yang harus dipertimbangkan oleh perancang dalam perancangan *offshore structure* adalah sebagai berikut:

a. Beban mati (*dead load*).

Beban mati adalah beban dari semua komponen kering serta peralatan, perlengkapan dan permesinan yang tidak berubah dari mode operasi pada suatu struktur, meliputi: berat struktur, berat peralatan dan berat permesinan yang digunakan dalam proses pengeboran ketika sedang tidak dioperasikan.

b. Beban hidup (*live load*).

Beban hidup adalah beban yang terjadi pada struktur selama dipakai dan tidak berubah dari mode operasi satu ke mode operasi yang lain. Contoh beban yang termasuk kedalam beban hidup ini adalah beban yang diakibatkan oleh pengoperasian mesin atau peralatan lainnya pada suatu struktur yang berhubungan dengan operasi struktur tersebut.

c. Beban akibat kecelakaan (*accidental load*).

Beban kecelakaan merupakan beban yang tidak dapat diprediksi sebelumnya yang terjadi pada struktur, contohnya tabrakan dengan kapal pemandu operasi, putusnya tali tambat (*mooring*) dan kebakaran.

d. Beban lingkungan (*environmental load*).

Beban lingkungan adalah beban yang terjadi karena dipengaruhi oleh lingkungan dimana suatu struktur lepas pantai dioperasikan atau bekerja. Beban lingkungan yang digunakan dalam perancangan adalah beban angin, arus, dan gelombang.

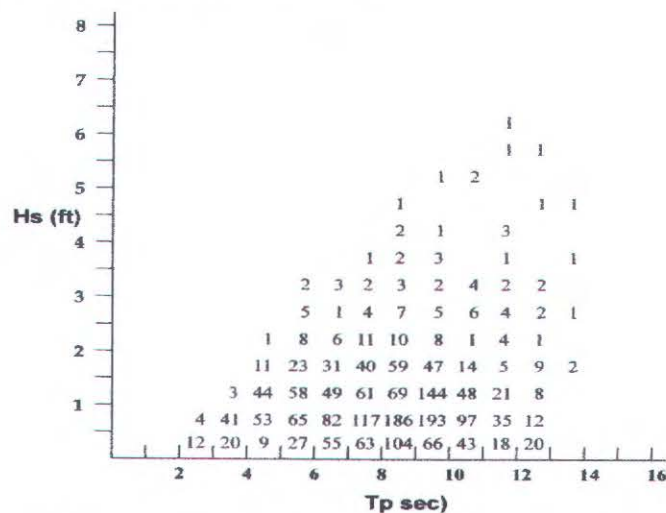
Pada tugas akhir ini, pembebanan difokuskan pada beban yang mengenai *crane pedestal*. Beban-beban yang mengenai *crane pedestal* di antaranya adalah beban inersia yang disebabkan gelombang, beban angin, serta beban operasional yaitu

beban angkat *crane*. Beban-beban itulah yang nantinya akan diperhitungkan dalam tugas akhir ini.

2.2.5 Beban Gelombang

Dalam perhitungan beban gelombang, data gelombang yang digunakan adalah gelombang yang terjadi selama umur operasi. Data gelombang biasanya diperoleh dengan mempertimbangkan arah propagasi gelombang. Disamping itu analisis yang lengkap juga akan memilahkan antara gelombang yang terbentuk oleh angin lokal dan gelombang yang datang dari tempat yang jauh (*swell*).

Data gelombang kurun waktu panjang umumnya disajikan dalam tabel yang dikenal sebagai diagram sebaran gelombang (*wave scatter diagram*), seperti dicontohkan dalam Gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2. 3 *Scatter diagram* perairan Mediteranian (Djatkiko, 2003a)

Data gelombang tersebut digunakan untuk menghasilkan gerakan FPSO yang diakibatkan gaya gelombang, sehingga dari percepatan yang dihasilkan beban inersia akibat beban gelombang dapat dihitung.

Akibat pengaruh gelombang, FPSO mengalami enam mode gerakan bebas yang terbagi menjadi dua jenis, yaitu tiga mode gerakan translasional dan tiga mode gerakan rotasional (Bhattacharyya, 1978).

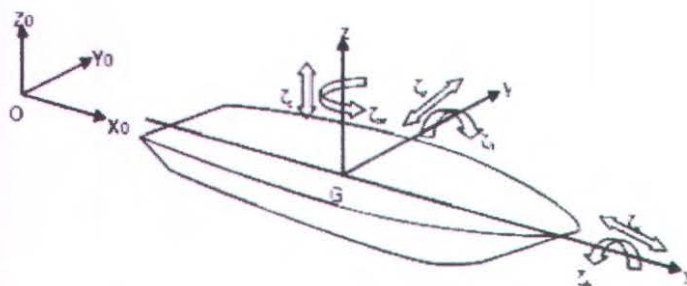
Berikut adalah keenam mode gerakan tersebut beserta ilustrasi enam mode gerakan bebas pada Gambar 2.4.

1. Mode gerak translasional

- *Surge*, gerakan transversal arah sumbu x.
- *Sway*, gerakan transversal arah sumbu y.
- *Heave*, gerakan transversal arah sumbu z.

2. Mode gerak rotasional

- *Roll*, gerakan rotasional arah sumbu x.
- *Pitch*, gerakan rotasional arah sumbu y.
- *Yaw*, gerakan rotasional arah sumbu z.



Gambar 2. 4 *Six Degree of Freedom* Bangunan Apung (Fiskisetya ,2009)

Enam derajat kebebasan pada FPSO sangat berpengaruh pada beban yang diterima FPSO. Oleh Battacharyya (1978) ditunjukkan bahwa gerakan translasional ada empat gaya yang penting, yaitu gaya inersia, gaya damping, gaya restoring, gaya exciting.

Seperti contoh, untuk gerakan *heave*, persamaannya yaitu:

a. Gaya inersia

$$F_a = -a \ddot{z} \tag{2.1}$$

dengan: a adalah massa kapal dan *added mass*, dan \ddot{z} adalah percepatan vertikal.

b. Gaya damping

$$F_b = b \dot{z} \tag{2.2}$$

dengan: b adalah konstanta damping dan \dot{z} adalah kecepatan

c. Gaya restoring

$$F_c = c z \quad (2.3)$$

dengan : c adalah konstanta spring dan z adalah displacement *center of gravity* kapal

d. Gaya exciting

$$F = F_o \cos \omega_e t \quad (2.4)$$

dengan : F_o adalah *amplitude of the encountering force*, ω_e adalah *circular amplitude of the encountering force*, dan t adalah waktu.

Battacharyya (1978), menjelaskan bahwa gerakan rotasional ada empat momen penting yaitu momen inersia, momen damping, momen restoring, momen exciting. Persamaan untuk momen inersia yaitu:

$$I = m r^2 \quad (2.5)$$

dengan: m = massa kapal (kg)

r = jari-jari girasi (m)

sedangkan untuk momen gaya persamaannya yaitu:

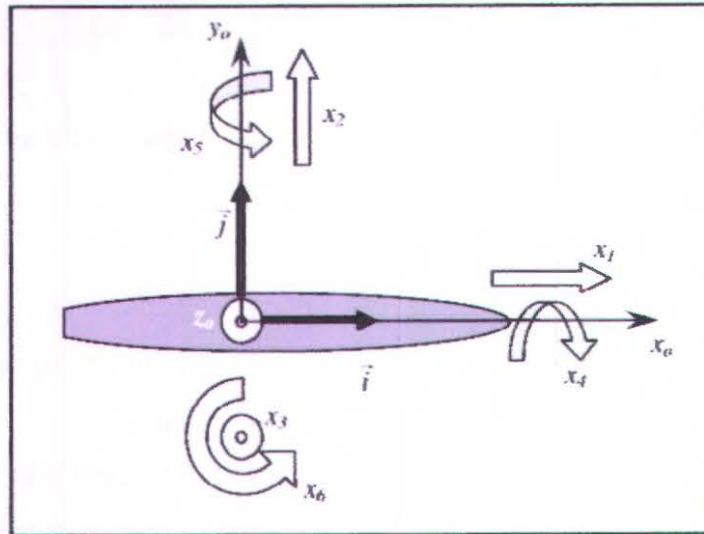
$$\text{Momen gaya} = I \alpha \quad (2.6)$$

dengan: α = percepatan putar (rad/s^2)

I = momen inersia (kg.m^2)

Jari-jari girasi adalah jarak antara titik berat FPSO dengan titik berat *crane pedestal*. Jadi untuk gerakan *roll*, *pitch*, dan *yaw* yang membedakan hanya pada besarnya jari-jari girasi.

Teori yang sama juga dikemukakan oleh Martins (2007). Seperti pada Gambar 2.5 di bawah, ditunjukkan *inertial coordinate system* O_{xoyozo} sehingga mempermudah untuk mengembangkan sistem persamaan pada perilaku *floating unit*.



Gambar 2. 5 Velocity and coordinate system (Martins, 2007)

Pada Gambar 2.5 di atas dapat diketahui velocities $\dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{x}_3, \dot{x}_4, \dot{x}_5, \dot{x}_6$ dan acceleration $\ddot{x}_1, \ddot{x}_2, \ddot{x}_3, \ddot{x}_4, \ddot{x}_5, \ddot{x}_6$ telah mewakili kecepatan dan percepatan sistem pada tiap derajat kebebasan dan hubungannya dengan sistem inersia. Sedangkan external force yang bekerja pada suatu struktur dapat dihitung dengan menggunakan hukum Newton II, yaitu:

$$F = m \cdot a \quad (2.7)$$

$$F_{ext} = m \frac{d}{dt} (\dot{x}_1 \vec{i} + \dot{x}_2 \vec{j} + \dot{x}_3 \vec{k} + x_G \dot{x}_6 \vec{j} - x_G \dot{x}_5 \vec{k} + y_G \dot{x}_4 \vec{k} - y_G \dot{x}_6 \vec{i} - z_G \dot{x}_4 \vec{j} + z_G \dot{x}_5 \vec{i}) \quad (2.8)$$

Maka inertial loads yang terjadi pada suatu struktur adalah:

$$F_{ext} = m \left[\begin{array}{l} (\ddot{x}_1 - y_G \ddot{x}_6 + z_G \ddot{x}_5) \vec{i}' + (\ddot{x}_2 - z_G \ddot{x}_4 + x_G \ddot{x}_6) \vec{j}' \\ + (\ddot{x}_3 - x_G \ddot{x}_5 + y_G \ddot{x}_4) \vec{k}' + (\dot{x}_1 - y_G \dot{x}_6 + z_G \dot{x}_5) \frac{d\vec{i}'}{dt} \\ + (\dot{x}_2 + x_G \dot{x}_6 - x_G \dot{x}_4) \frac{d\vec{j}'}{dt} + (\dot{x}_3 - x_G \dot{x}_5 + y_G \dot{x}_4) \frac{d\vec{k}'}{dt} \end{array} \right] \quad (2.9)$$

2.2.5.1 Teori Spektrum Gelombang JONSWAP

Analisis spektrum gelombang dapat menggunakan beberapa teori spektrum gelombang yang telah ada, antara lain model spektrum JONSWAP, model spektrum Pierson-Moskowitz, model spektrum ISSC, dan lain-lain. Penggunaan masing-masing teori spektrum gelombang tersebut berdasarkan beberapa pertimbangan. Salah satu pertimbangan tersebut adalah lokasi spektrum gelombang yang akan dianalisis. Persamaan spektra JONSWAP dikemukakan oleh Hasselman, et al (1973) berdasarkan percobaan yang dilakukan di daerah *North Sea*. Persamaan spektrum JONSWAP mewakili angin dengan batasan *fetch*. Formula atau persamaan untuk spektrum JONSWAP dapat ditulis dengan modifikasi dari persamaan Pierson-Moskowitz (Chakrabarti, 1987) yaitu :

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp \left[-125 \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-4} \right] \gamma \exp \left[\frac{-(\omega - \omega_0)^2}{2x^2 \omega_0^2} \right] \quad (2.10)$$

dengan : γ = parameter puncak

τ = parameter bentuk

τ_a untuk $\omega \leq \omega_0 = 0.07$ dan τ_b untuk $\omega \geq \omega_0 = 0.09$

$\alpha = 0.0076 (X_0)^{-0.22}$, untuk X_0 tidak diketahui maka:

$\alpha = 0.0081$

$$\omega_0 = 2\pi \left(\frac{g}{U_\omega} \right) (X_0)^{-0.33} \quad (2.11)$$

$$X_0 = \frac{gX}{U_\omega} \quad (2.12)$$

Sedang nilai dari parameter puncak (γ) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Barltrop, 1991):

$$\gamma = EXP \left[3.4843 \left(1 - 0.1975 \left(0.036 - 0.0056 \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \right) \frac{T_p^4}{H_s^2} \right) \right] \quad (2.13)$$

dengan: T_p = periode puncak spectra (s)

H_s = tinggi gelombang signifikan (m)

Persamaan Spektra JONSWAP di atas menggunakan input *fetch* dan kecepatan angin. Berikut ini merupakan persamaan spektrum JONSWAP yang menggunakan input tinggi gelombang signifikan dan periode. Persamaannya sebagai berikut (Djarmiko dan Sujantoko, 1994) :

$$S(\omega) = 155 \frac{H_s^2}{T^4 \omega^4} \exp\left(\frac{-944}{T^4 \omega^4}\right) \gamma^\alpha \quad (2.14)$$

Tabel 2. 3 Amplitudo dan Tinggi Gelombang (Bhattacharyya, 1987)

Profil Gelombang	Amplitudo	Tinggi
Gelombang rata-rata	$1.25\sqrt{m_0}$	$2.5\sqrt{m_0}$
Gelombang signifikan	$2.00\sqrt{m_0}$	$4.00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/10 gelombang tertinggi	$2.55\sqrt{m_0}$	$5.09\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/1000 gelombang tertinggi	$3.34\sqrt{m_0}$	$6.67\sqrt{m_0}$

Persamaan pada Tabel 2.3 di atas lebih memudahkan untuk menghitung nilai dari profil gelombang. Dimana faktor atau angka di depan akar m_0 diperoleh berdasar histogram tinggi gelombang menggunakan pendekatan matematis dari distribusi Rayleigh (Battacharyya, 1978).

2.2.5.2 Response Amplitude Operators (RAO)

Metode spektra merupakan cara untuk mengetahui suatu respon struktur akibat beban gelombang reguler dalam tiap-tiap frekuensi. *Response Amplitude Operator* (RAO) atau sering disebut sebagai *Transfer Function* adalah fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai struktur *offshore*. RAO dapat juga didefinisikan sebagai hubungan antara amplitudo respon terhadap amplitudo gelombang. Dapat dinyatakan dengan bentuk matematis yaitu ($\zeta_{\text{respon}} / \zeta_{\text{gelombang}}$). Amplitudo respon bisa berupa gerakan, tegangan, maupun getaran. RAO juga disebut sebagai *Transfer Function* karena RAO merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk

respon pada suatu struktur (Chakrabarti, 1987). Bentuk umum dari persamaan RAO dalam fungsi frekuensi adalah sebagai berikut :

$$Response(\omega) = (RAO)\eta(\omega) \quad (2.15)$$

dengan: η = amplitud gelombang (m)
 ω = frekuensi angular (rad/s)

2.2.5.3 Respon Spektrum

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

$$S_R(\omega) = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \quad (2.16)$$

dengan : S_R = *response spectrum* (m²-sec)
 $S(\omega)$ = *spectra gelombang* (m²-sec)
 RAO = *response amplitude operator*
 ω = frekuensi angular, rad/sec

Response spectra dapat digunakan untuk mengetahui besar respon maksimum yang mungkin terjadi dalam suatu rentang waktu tertentu.

Respon *extreme* maksimum yang terjadi dengan tingkat probabilitas dari suatu kejadian sebesar 62.3% dapat dicari dengan persamaan (Chakrabarti, 1987) sebagai berikut :

$$\xi_{na} = \left[2 \ln \left\{ \frac{60^2 T}{2\pi} \sqrt{\frac{m_2}{m_0}} \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \sqrt{m_0} \quad (2.17)$$

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

$$\xi_{n\alpha} = \left[2 \ln \left\{ \frac{60^2 T}{2\pi\alpha} \sqrt{\frac{m_2}{m_0}} \right\}^{\frac{1}{2}} \sqrt{m_0} \right] \quad (2.18)$$

dengan: T = lama kejadian badai (detik)
 α = kemungkinan kejadian tidak terjadi pada saat perancangan (1% - 5%)

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

2.2.6 Beban Angin

Dalam menghitung kecepatan angin pada elevasi di atas 10 m dari permukaan air, digunakan hukum *one-seventh power* (Dawson, 1983) yang dapat digunakan hingga kecepatan angin pada elevasi 600 ft (182.88 m). Persamaan tersebut:

$$V = V_{10} \left(\frac{y}{10} \right)^{\frac{1}{7}} \quad (2.19)$$

dengan: V = kecepatan angin pada elevasi y (m/s)
 V_{10} = kecepatan angin pada elevasi 10 m (m/s)
y = elevasi yang akan dihitung kecepatan anginnya (m)

Untuk gaya angin yang mengenai struktur, dapat dihitung dengan persamaan (DnV, 2007):

$$F = C q S \sin \alpha \quad (2.20)$$

dengan: F = gaya angin (N)
C = koefisien bentuk
q = tekanan angin
S = luasan yang terkena gaya angin (m²)

α = arah datang angin

Sedangkan tekanan angin (q) dapat dicari dengan persamaan di bawah ini:

$$q = \frac{1}{2} \rho_a U_{T,z}^2 \quad (2.21)$$

dengan: q = tekanan angin
 ρ = massa jenis udara (kg/m^3)
 $= 1.226 \text{ kg/m}^3$
 $U_{T,z}$ = kecepatan angin (m/s)

Jika beberapa member terletak pada plane normal dari arah datangnya angin, seperti contoh pada plane truss maupun beberapa column yang terletak berdekatan, maka *solidity effect* (ϕ) harus dihitung. Gaya angin dengan pengaruh *solidity* dihitung dengan persamaan di bawah:

$$F_{sol} = C_e q S \phi \sin \alpha \quad (2.22)$$

dengan: F_{sol} = gaya angin dengan *solidity effect* (N)
 C_e = koefisien efektif
 q = tekanan angin
 S = luasan yang terkena gaya angin (m^2)
 ϕ = perbandingan antara area solid yang terkena beban angin dengan luasan frame
 α = arah datang angin

Untuk nilai C_e dapat dicari pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2. 4 *Effective shape coefficient* C_e untuk single frame (DnV, 2007)

Solidity ratio ϕ	<i>Effective shape coefficient</i> C_e		
	Flat-side members	Circular sections	
		$Re < 4.2 \times 10^5$	$Re > 4.2 \times 10^5$
0.1	1.9	1.2	0.7
0.2	1.8	1.2	0.8
0.3	1.7	1.2	0.8
0.4	1.7	1.1	0.8
0.5	1.6	1.1	0.8
0.75	1.6	1.5	1.4
1	2	2	2

Spektra dari fluktuasi kecepatan angin yang tinggi kadang sangat diperlukan, karena hembusan angin yang kencang dapat menyebabkan *resonant oscillation* pada struktur bangunan laut, seperti contoh gerakan *slow drift horizontal* pada struktur yang ditambat dapat disebabkan oleh hembusan angin yang kencang. Selain itu, angin juga dapat dengan mudah menyebabkan *vortex shedding* bersamaan dengan terjadinya vibrasi (Faltinsen, 1990). Pada struktur bangunan laut seperti *crane pedestal* dapat terjadi *wind-induced oscillation* dengan amplitude dan tegangan yang besar. Ketika benda berbentuk silinder menerima beban angin yang besar dengan disertai *reynold number* yang besar, formasi *vortex* dapat menyebabkan gaya yang tegak lurus dengan arah angin secara berulang-ulang dan periodik, sehingga dapat menghasilkan vibrasi pada struktur tersebut (Hsu, 1984).

Besarnya *Reynold number* dapat dicari dengan persamaan di bawah ini.

$$R_n = \frac{DU}{\nu} \quad (2.23)$$

dengan: R_n = *Reynold number*

D = diameter struktur (m)

U = kecepatan angin yang mengenai struktur (m/s)

ν = *kinematic viscosity*, $1.45 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ pada 15°C tekanan standar

Frekuensi dari *vortex shedding* dengan frekuensi struktur harus dihitung untuk mengetahui syarat keamanan struktur. Frekuensi dari *vortex shedding* f dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$f = \frac{S_N V}{D} \quad (2.24)$$

dengan: f = frekuensi *vortex shedding* (Hz)

V = kecepatan angin (m/s)

D = diameter struktur (m)

S_N = Strouhal number

untuk struktur silinder $S_N = 0.2$ jika $R_n < 6 \times 10^5$ dan $S_N = 0.4$ jika $R_n > 6 \times 10^5$ (Hsu, 1984)

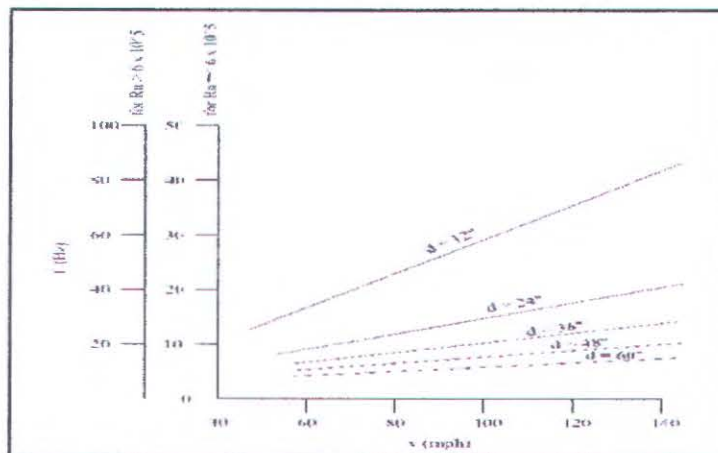
Sedangkan frekuensi natural dari struktur dapat digunakan Persamaan 2.25 berikut ini (Mouselli, 1981):

$$f_n = \frac{C}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{M}} \quad (2.25)$$

- dengan: f_n = frekuensi natural struktur (Hz)
 C = konstanta (untuk tumpuan sederhana bernilai 1.57)
 L = panjang struktur (m)
 E = modulus elastisitas (Mpa)
 I = momen inersia batang struktur (m^4)
 M = massa struktur (kg)

Suatu struktur akan mengalami kegagalan jika tidak memenuhi syarat keamanan. Syarat keamanan dari suatu struktur berbentuk silinder adalah sebagai berikut (Mouselli, 1981):

$$f_s \leq 0.7 f_n \quad (2.26)$$



Gambar 2. 6 *Vortex shedding frequency* (Hsu, 1984)

Selain itu frekuensi *vortex shedding* juga dapat dicari dengan menggunakan grafik seperti pada Gambar 2.6 di atas. DnV (2007) menjelaskan bahwa untuk mengetahui jenis dari *vortex shedding* digunakan suatu parameter yang dinamakan *reduced velocity* (V_r).

Nilai V_r dapat dicari dengan persamaan 2.27 di bawah ini.

$$V_r = \frac{u}{fD} \quad (2.27)$$

dengan: V_r = *reduced velocity*

u = kecepatan angin yang mengenai struktur (m/s)

f = frekuensi natural dari struktur (Hz)

D = diameter struktur (m)

Dari nilai V_r dapat diketahui jenis dari *vortex shedding*. Ada dua macam jenisnya, yakni:

- *In-line excitation* ($1.7 < V_r < 3.2$)
- *Cross flow vibration* ($0.85 / S_N < V_r < 1.6 / S_N$)

Sedangkan gaya angin termasuk akibat *vortex shedding* dapat dihitung dengan persamaan 2.28 berikut ini.

$$F = \frac{1}{2} \times \rho \times C_f \times A \times V^2 \quad (2.28)$$

dengan: F = gaya angin (N)

ρ = massa jenis udara (1.226 kg/m³)

C_f = *Fluctuating force coefficient*, $C_f \sim 0.9$ (DnV, 2007)

A = luas permukaan yang terkena gaya angin (m²)

V = kecepatan angin (m/s)

2.2.7 Beban Angkat Crane

Faktor yang mempengaruhi kapasitas *crane* dalam kondisi operasional yaitu:

- gaya angin.
- beban ayunan

Faktor dinamis harus diperhatikan dengan hati-hati dalam perencanaan *crane* di atas FPSO. Sesuai dengan batasan masalah, dalam tugas akhir ini gerakan yang terjadi dari *crane* dan *boom* pada saat operasi serta defleksi dari *crane* diabaikan dan hanya ditinjau beban yang diangkat oleh *crane* saja. Dari beban angkat *crane*, dicari gaya dan momen pada bagian sambungan *crane pedestal* dengan *hull* FPSO.

Beban *crane* dicari dengan persamaan 2.29 berikut:

$$W = m \times g \quad (2.29)$$

dengan: W = Beban *crane* (N)

m = massa dari beban (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

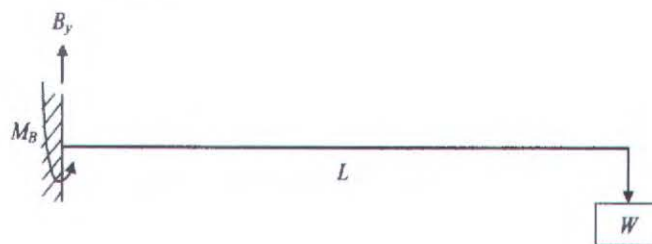
$$= 9.81m/s^2$$

Sedangkan persamaan untuk mencari momen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 adalah:

$$M = W \times l \quad (2.30)$$

dengan: M = momen (N.m)

l = lengan (m)



Gambar 2. 7 *Free body diagram crane* (Wahyudi, 2009)

Frekuensi penggunaan *crane* dalam satu bulan adalah lebih dari 10jam, namun tidak sampai dengan 50 jam (API, 1999), serta dalam satu kali operasi, diasumsikan *crane* bekerja selama 10 menit.

2.2.8 Kelelahan (Fatigue)

Komponen-komponen dasar dari analisis umur kelelahan (*fatigue life*) adalah:

1. Karakterisasi siklus beban yang terjadi baik untuk kurun waktu pendek maupun kurun waktu panjang.
2. Perhitungan beban-beban siklis yang mengenai struktur.
3. Evaluasi siklus rentang tegangan pada suatu elemen yang ditinjau.
4. Perhitungan kerusakan pada elemen yang ditinjau akibat siklus rentang tegangan yang terjadi.
5. Evaluasi kekuatan elemen yang ditinjau.

Sedangkan untuk menghitung kerusakan yang ditimbulkan oleh kelelahan (*fatigue damage*), (Wirsching, 1983) mengklasifikasikan beberapa metode dasar, yaitu:

1. Metode Deterministik

Metode ini biasa digunakan oleh Lloyd's Register. Pada metode ini *fatigue damage* dihitung dengan menggunakan *wave exceedance diagram*.

2. Metode Distribusi Gelombang

Metode ini mengasumsikan bahwa tegangan yang terjadi proporsional terhadap tinggi gelombang dan gelombang dideskripsikan dengan distribusi lognormal, Weibull, dan lain-lain.

3. Metode Distribusi Rentang Tegangan

Metode ini secara teoritis memodelkan rentang tegangan sebagai distribusi Weibull yang biasanya diperoleh dari metode spektral, metode distribusi gelombang, dan lain-lain.

4. Metode Spectral

Metode ini biasa disebut dengan metode probabilistik. Pada metode ini *fatigue damage* diperhitungkan dari tiap *seastate* dalam *scatter* diagram dan tegangan dianggap sebagai suatu proses acak yang seimbang (*stationary random process*).

5. Metode *Equivalent* Weibull

Metode ini biasa digunakan oleh DNV, yang menggunakan analisis spektral untuk kemudian mendapatkan distribusi rentang tegangan kurun waktu panjang yang ekuivalen dengan distribusi Weibull.

2.2.8.1 Persamaan Kelelahan Terangkai

Pada tahap perancangan awal, analisis kelelahan dapat dilakukan dengan menerapkan pendekatan yang disederhanakan (*simplified approach*). Dengan pendekatan ini perancang tidak perlu menyelesaikan analisis kelelahan dengan prosedur panjang seperti dengan analisis spektral penuh. Dalam pendekatan sederhana ini spektra lautan dan seterusnya distribusi tegangan acak yang terjadi, serta akumulasi kerusakan telah diformulasikan dalam suatu fungsi tunggal. (Almar-Naes, 1985).

Bila $p(S)$ adalah merupakan fungsi kepadatan peluang tegangan yang dapat didefinisikan sedemikian rupa, sehingga $p(S_1)dS$ adalah ekuivalen dengan jumlah osilasi komponen tegangan dengan harga-harga puncak yang berada dalam interval dS dan mempunyai harga rata-rata S_1 . Selanjutnya dengan mengambil f dan T masing-masing sebagai frekuensi rata-rata dari tegangan yang bervariasi secara acak dan kurun waktu kerja, maka pertambahan kerusakan yang dikibatkan oleh osilasi tegangan dengan amplitudo S_1 yang terjadi dalam kurun waktu T adalah:

$$\partial D = \frac{Tfp(S_1)ds}{N(S_1)} \quad (2.31)$$

Dalam hal ini, $N(S_1)$ adalah merupakan jumlah siklus yang akan mengakibatkan kerusakan (terbentuknya retak awal) pada level tegangan S_1 , yaitu yang dapat diperoleh dari kurva S-N untuk bentuk komponen struktur

serta material tertentu. Integrasi dari Persamaan 2.31 tersebut akan memberikan besarnya kerusakan total yang diharapkan (*expected total damage*) untuk terjadi dalam kurun waktu T oleh pengaruh keseluruhan tegangan dalam proses sebesar:

$$E(D) = \frac{N_L}{A} \int_0^{\infty} \frac{p(S)ds}{N(S)} \quad (2.32)$$

atau dengan memasukkan jumlah siklus total sebenarnya, n_0 , yaitu perkalian dari frekuensi dan waktu, serta menggantikan $N(S)$ dengan A dan S^m maka persamaan 2.32 akan menjadi:

$$E(D) = \frac{N_L}{A} \int_0^{\infty} S^m p(S) ds \quad (2.33)$$

Dengan menggunakan suatu metode yang sederhana, hasil pengolahan data distribusi gelombang dan respon struktur bangunan laut kurun waktu panjang diturunkan secara bersamaan dalam jumlah besar. Kemudian dari data yang terkumpul tersebut diperoleh bahwa secara umum distribusi beban ataupun respon struktur dapat dipresentasikan dengan distribusi Weibull dua parameter sebagai berikut:

$$p_L(S) = \frac{\xi}{\lambda} \left(\frac{S}{\lambda} \right)^{\xi-1} \exp \left[- \left(\frac{S}{\lambda} \right)^{\xi} \right] \quad (2.34)$$

dimana λ dan ξ masing-masing adalah parameter skala dan parameter bentuk distribusi, yang besarnya tergantung dari respon struktur terhadap beban lingkungan. Bila diambil S_e sebagai tegangan ekstrem yang diharapkan akan terjadi sekali dalam siklus respon keseluruhan sejumlah n_0 maka hubungan kedua parameter tersebut adalah:

$$\lambda = S_e (\ln n_0)^{-\frac{1}{\xi}} \quad (2.35)$$

harga kerusakan yang diharapkan untuk terjadi adalah:

$$E(D) = \frac{N_L}{A} \int_0^{\infty} S^m \frac{\xi}{\lambda} \left(\frac{S}{\lambda} \right)^{\xi-1} \exp \left[- \left(\frac{S}{\lambda} \right)^{\xi} \right] ds \quad (2.36)$$

Dengan melakukan manipulasi matematis, ekspresi integral ini dapat digantikan dengan fungsi gamma $\Gamma(x)$, sehingga persamaan 2.36 dapat dituliskan dalam persamaan tunggal yang lebih sederhana (Almar-Naess, 1985) dan dikenal dengan persamaan kelelahan terangkai (*closed form fatigue equation*) yaitu:

$$D = \frac{N_L}{A} \frac{S_e^m}{(\ln N_L)^{m/\xi}} \Gamma(1 + m/\xi) \quad (2.37)$$

Perkiraan umur kelelahan didasarkan pada beban fluktuasi yang akan diterima struktur selama masa operasi. Sehingga, untuk mengetahui sisa umur kelelahan struktur dapat dilakukan setelah memperoleh informasi kondisi beban yang diterima struktur selama operasi. Sisa umur kelelahan struktur dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan *Palmgren-Miner* (Boonstra, *et al* 2002), yaitu:

$$D = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} \quad (2.38)$$

dengan: n_i = Jumlah *cycle* kolom interval rentang tegangan i dengan harga S_i yang sebenarnya terjadi, dari rentang distribusi tegangan jangka panjang akibat beban eksternal.

N_i = Jumlah *cycle* rentang tegangan dengan harga S_i yang menyebabkan kegagalan. Harga besaran ini dapat diperoleh dari kurva S-N.

m = Total (Σ) dari interval-interval rentang tegangan.

D = Rasio kerusakan kumulatif.

Pada FPSO, beban yang bekerja adalah beban gelombang, beban angin, dan beban operasional, maka total rasio kerusakan kumulatif merupakan penjumlahan dari rasio kerusakan kumulatif ketiga beban tersebut.

$$D_{\text{total}} = D_{\text{wave/inersia}} + D_{\text{angin/VIV}} + D_{\text{operasional}} \quad (2.39)$$

Untuk D akibat beban angin dan beban operasional, terlebih dahulu dilakukan perhitungan gaya akibat kedua beban tersebut yang mengenai struktur dan peralatan pada crane pedestal tersebut. Tegangan akibat beban angin dan beban operasional dapat diperoleh dengan memasukkan besarnya masing-masing gaya ke dalam *software* ANSYS. Maka setelah didapat tegangan, nilai D akibat beban angin dan beban operasional dapat dicari. Hubungan antara N_i dan S_i dapat diambil dari *fatigue curve* (S-N Curve). Nilai dari N_i dapat diperoleh dari persamaan:

$$NS^m = A$$

atau

$$\text{Log } N = \text{Log } A - m \text{Log } S \quad (2.40)$$

dengan: A = intersepsi sumbu log

m = kemiringan kurva S-N

Nilai A dan m dapat dilihat pada Tabel 2.5. Nilai A dan m berbeda untuk tiap-tiap jenis tipe sambungan.

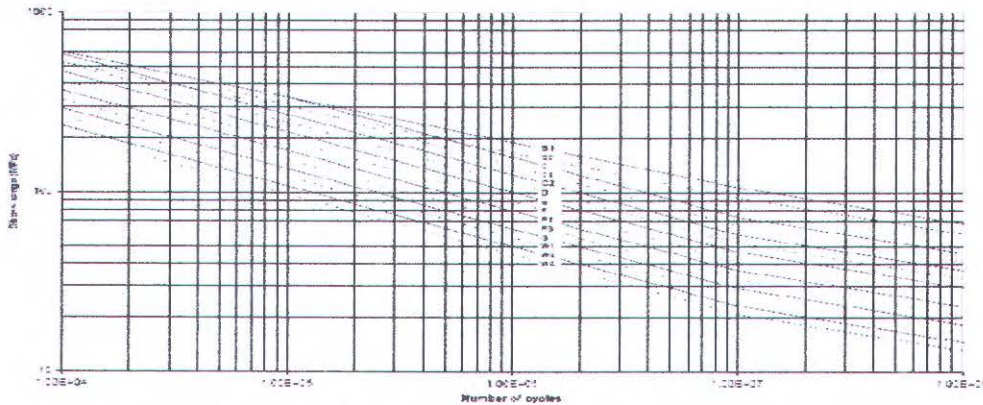
Tabel 2. 5 Tipe Sambungan (DnV Recommended Practice C203, 2008)

S-N Curve	log a for all cycles $m=3.0$	Thickness exponent k
B1	12.436	0
B2	12.262	0
C	12.115	0.15
C1	11.972	0.15
C2	11.824	0.15
D	11.687	0.2
E	11.533	0.2
F	11.378	0.25
F1	11.222	0.25
F3	11.068	0.25
G	10.921	0.25
W1	10.784	0.25
W2	10.63	0.25
W3	10.493	0.25
T	11.687	0.25 for SCF \leq 10.0 0.30 for SCF $>$ 10.0

Sedangkan formulasi umur kelelahan dari suatu struktur dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Umur Kelelahan} = \frac{1}{D} \quad (2.41)$$

Sesuai dengan hukum *Palmgren-Miner*, kegagalan sambungan akan terjadi jika indeks kerusakan D mencapai harga 1.0. Dari Tabel 2.5, maka dapat ditransformasikan menjadi kurva S-N pada Gambar 2.8 berikut.



Gambar 2. 8 Kurva S-N (DNV Recommended Practice C203, 2008)

Kurva S-N adalah kurva yang memuat sebaran data hasil tes kelelahan dilakukan di laboratorium untuk konfigurasi sambungan struktur tertentu. Kurva S-N menampilkan korelasi antara rentang tegangan (*stress range*), tegangan (MPa atau N/mm^2), dan jumlah siklus (N). Kurva diberikan dalam skala log – log. Kurva S-N adalah garis rata-rata sebaran data yang diturunkan dengan pendekatan regresi. Tingkat keyakinan akurasi penentuan kurva S-N dipengaruhi oleh parameter kemiringan (*slope*) dan intersepsi (*intercept*) atau posisi kurva di dalam grafik. Kedua parameter mempunyai ketaktentuan (*uncertainty*). Kombinasi ketaktentuan kedua parameter menjadikan ketaktentuan total kurva S-N. Dalam perancangan praktis biasanya dipilih kurva dengan tingkat keyakinan 95% atau kira-kira sama dengan menurunkan kurva rata-rata dengan 2 kali simpangan baku (Djatkiko, 2003a).

Nilai S_i yang digunakan dalam perhitungan adalah tegangan maksimum di posisi tertentu pada sambungan (*hotspot stress*) yang diperoleh dari magnifikasi tegangan nominal, $S_{i(nom)}$, dengan memperhitungkan faktor konsentrasi tegangan, SCF (*stress concentration factor*).

Sehingga tegangan maksimum dihitung dari persamaan berikut:

$$\sigma_{local} = \sigma_{nom} \times SCF \quad (2.42)$$

dengan: σ_{local} = Tegangan maksimum
 $\sigma_{nominal}$ = Tegangan nominal
 SCF = *stress concentration factor*

Tegangan nominal diperoleh dengan terlebih dahulu melakukan analisis beban gelombang reguler (analisis deterministik) untuk menghasilkan gaya-gaya atau momen pada komponen-komponen struktur yang ditinjau. Namun SCF tidak perlu diperhitungkan jika perangkat FEM yang digunakan dapat langsung menghasilkan tegangan pada detail struktur, misalnya NASTRAN, ANSYS, ABACUS, dan lain-lain.

Kemudian, untuk mencari rasio kerusakan kumulatif akibat beban gelombang digunakan persamaan berikut:

$$D = \frac{N_L}{A} \frac{S_e^m}{(\ln N_L)^{m/\xi}} \Gamma(1 + m/\xi) \quad (2.43)$$

Sedangkan, untuk mencari tagangan ijin maksimum selama *service life* dari struktur, dapat menggunakan persamaan 2.44 berikut:

$$S_e^m = \frac{D \times A}{N_L} \frac{(\ln N_L)^{m/\xi}}{\Gamma(1 + m/\xi)}$$

atau

$$S_e = \sqrt[m]{\frac{D \times A}{N_L} \frac{(\ln N_L)^{m/\xi}}{\Gamma(1 + m/\xi)}} \quad (2.44)$$

dengan: N_L = siklus rentang tegangan total yang terjadi.
 $\Gamma(1+m/\xi)$ = fungsi gamma $\Gamma(x)$.
 S_e = tegangan terbesar.

Sedangkan untuk fungsi gamma dicari dengan persamaan:

$$\Gamma(x) \cong 0.0076e^{(1.6x)} + 1.26 \quad (2.45)$$

Crane pedestal's scantling termasuk dalam FPSO *specific detail - critical structur detail*. Ada dua sumber beban *fatigue* utama yang harus dipertimbangkan untuk melakukan *fatigue analysis* pada *crane pedestal scantling* (DNV Recommended Practice C206, 2006), yaitu *longitudinal hull girder bending* dan *inertia load* karena gerakan dari FPSO.

2.2.9 Keandalan Struktur

Keandalan sebuah komponen atau sistem adalah peluang komponen atau sistem tersebut untuk memenuhi tugas yang telah ditetapkan tanpa mengalami kegagalan selama kurun waktu tertentu apabila dioperasikan dengan benar dalam lingkungan tertentu (Rosyid, 2007). Dalam konsep keandalan, suatu masalah akan didefinisikan dalam hubungan permintaan dan penyediaan, yang keduanya merupakan variabel-variabel acak. Peluang terjadinya kegagalan suatu rancangan, dimana penyediaan (ketahanan atau kekuatan sistem) tidak dapat memenuhi permintaan (beban yang bekerja pada sistem). Penggunaan konsep analisa keandalan yang didasarkan pada metode probabilistik telah berkembang dan semakin penting peranannya terutama untuk memecahkan masalah-masalah dalam perancangan praktis Baker dan Wyatt (1979). Kecenderungan ini salah satunya dikarenakan adanya kerusakan yang terjadi pada sistem rekayasa yang disebabkan oleh intraksi panas, beban statis maupun beban dinamis dapat dijelaskan secara lebih baik dengan konsep ini.

Dalam konsep ini, seorang perancang harus dapat menggambarkan suatu sistem dengan segala hal yang mempengaruhi atau mengakibatkan kerusakan pada sistem tersebut misalnya kondisi pembebanan, ketahanan struktur, kondisi lingkungan yang lebih mendekati keadaan yang sebenarnya karena melibatkan aspek ketidakpastian dalam analisisnya. Dalam analisa keandalan sistem struktural maka perlu untuk mendefinisikan ketidakpastian yang diterima oleh struktur.

Ketidakpastian dibagi dalam 3 kelompok yaitu :

1. Ketidakpastian fisik, adalah ketidakpastian yang berhubungan dengan keragaman (*variability*) fisik seperti : beban, sifat material, dan ukuran material. Keragaman fisik ini hanya bisa dinyatakan dalam data sampel, dengan pertimbangan praktis dan ekonomis.
2. Ketidakpastian statistical, adalah ketidakpastian yang berhubungan dengan data yang dibuat untuk membuat model secara probabilistik dari berbagai macam keragaman fisik diatas.
3. Ketidakpastian model, yaitu ketidakpastian yang berhubungan dengan tanggapan dari jenis struktur yang dimodelkan secara matematis dalam bentuk deterministik atau probabilistik. Ketidakpastian yang terjadi disini merupakan hasil dari penyederhanaan dengan memakai bermacam-macam asumsi, kondisi batas yang tidak diketahui, dan sebagai hasil dari pengaruh interaksi ketidakpastian yang tidak tercakup dalam model.

2.2.9.1 Moda Kegagalan

Menentukan moda kegagalan adalah hal pertama yang dilakukan dalam melakukan analisis keandalan. Pada analisis keandalan *crane pedestal's scantling*, moda kegagalan yang akan ditinjau disebabkan karena *total cumulative damage*. Sehingga *crane pedestal scantling* dianggap gagal apabila *total cumulative damage* yang berlaku melebihi besarnya damage limit.

Persamaan umum dari moda kegagalan ditunjukkan dalam persamaan 2.46:

$$M = R - L \quad (2.46)$$

dengan : M = ambang keselamatan

R = faktor ketahanan

L = faktor beban

Dari persamaan umum di atas, kemudian disesuaikan dengan permasalahan yang digunakan dalam moda kegagalan berbasis kelelahan. Persamaan yang digunakan adalah:

$$f(x) = \Delta - D \quad (2.47)$$

$$f(x) = \Delta - (D_{gelombang} + D_{angin} + D_{operasional})$$

$$f(x) = \Delta - \left(\sum_{n=1}^3 \frac{N_{Ln}}{A} \frac{Se_n^m}{(\ln N_{Ln})^{\frac{m}{\xi_n}}} \Gamma \left(1 + \frac{m}{\xi_n} \right) \right)$$

Jika $f(x) \leq 0$ maka struktur dikatakan gagal

dengan : Δ = *damage limit*, besarnya adalah 1 (Sesuai referensi Shutz)

D = *total cumulative damage*

$n = 1$, untuk faktor gelombang

$n = 2$, untuk faktor angin

$n = 3$, untuk faktor operasional

2.2.9.2 Simulasi Montecarlo

Simulasi ini adalah suatu metode statistik iterasi berulang. Simulasi ini dilakukan dengan menghasilkan sejumlah bilangan sebagai input untuk variable acak dalam suatu fungsi kegagalan atau *limit state function*, berdasarkan jenis distribusi peluang dan parameter-parameternya, misalnya rata-rata dan standar deviasi untuk distribusi normal. Input variabel acak ini kemudian digunakan untuk mengevaluasi model *limit state* dan kemudian dicatat hasilnya, berupa peluang kegagalan atau kehandalan struktur yang bersangkutan. Hasil ini diulang berkali-kali sampai didapatkan suatu kurva PDF dan CDF dari model *limit state* tersebut, untuk kemudian dilihat peluang kegagalan atau *probability of failure*-nya.

Metode ini dapat memberikan prediksi *probability of failure* yang cukup akurat sesuai dengan *limit state function* yang telah ditentukan sebelumnya, oleh karena banyaknya percobaan yang dapat dilakukan sampai dengan tidak berhingga. Semakin banyak percobaan yang dilakukan, kegagalan yang terjadi akan semakin kecil, akan tetapi waktu yang diperlukan untuk proses simulasi akan menjadi semakin lama. Peluang kegagalan (*probability of failure*) suatu sistem adalah perbandingan antara jumlah kejadian gagal dengan jumlah sampel.

$$P_f = n/N \tag{2.48}$$

dengan: P_f = peluang kegagalan

n = jumlah kejadian yang gagal

N = jumlah sampel

Maka keandalan dapat dicari dengan cara sebagai berikut:

$$K = 1 - Pf$$

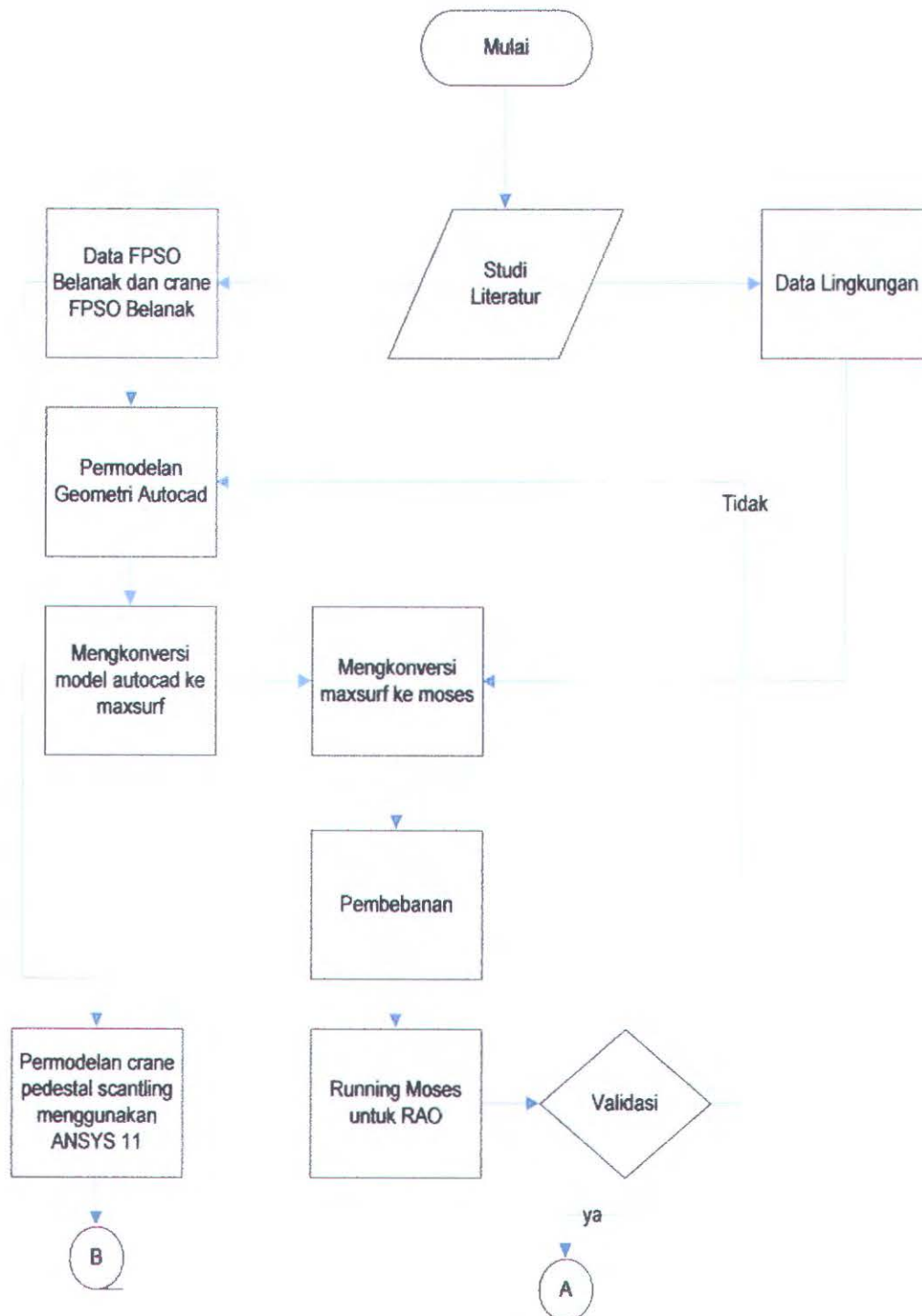
(2.49)

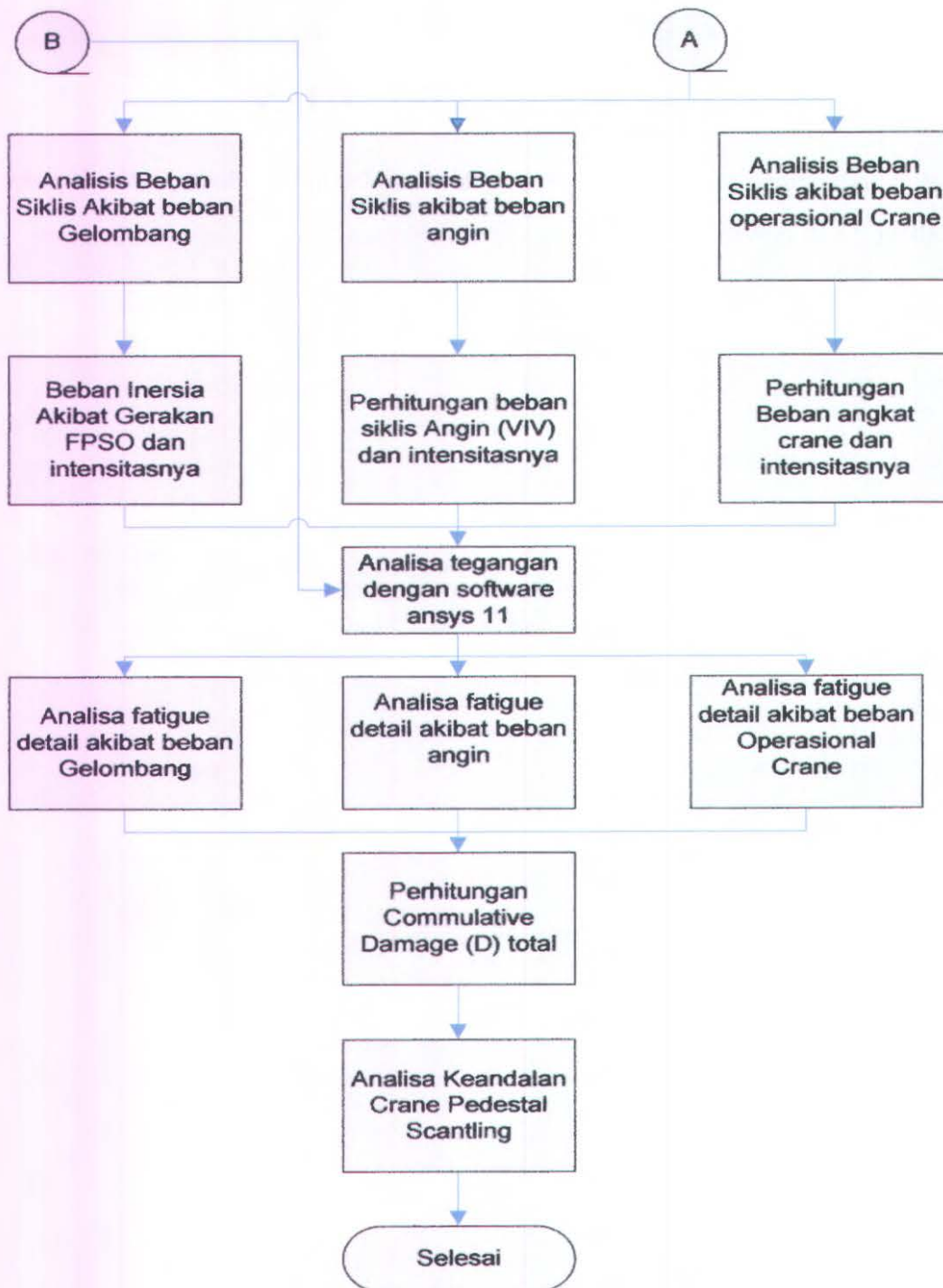
dengan: K = keandalan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam tugas akhir ini dalam bentuk diagram alir pada Gambar 3.1 di bawah ini.





Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Penjelasannya adalah sebagai berikut :

- Studi literatur dan pengumpulan data meliputi mencari serta mempelajari buku, diktat, jurnal, ataupun laporan tugas akhir terdahulu yang membahas pokok permasalahan yang sama atau mirip dengan tugas akhir ini. Literatur

tersebut digunakan sebagai acuan ataupun referensi tugas akhir ini. Selain itu, juga dilakukan pencarian mengenai data-data FPSO Belanak sebagai obyek tugas akhir.

- Pemodelan FPSO dengan AutoCAD, berupa *lines plan* dan bangunan 3D. Untuk FPSO, yang dimodelkan adalah *lines plan*. Sedangkan *crane* dimodelkan secara 3D atau tiga dimensi. Hal ini dilakukan untuk mempermudah dalam penentuan koordinat, pengukuran dimensi dan lain-lain. Pemodelan dengan AutoCAD juga mempermudah untuk memahami bentuk dari struktur secara *visual*.
- Pemodelan dengan Maxsurf, memodelkan struktur FPSO secara lebih detail dan spesifik. Dimensi-dimensi utama yang didapat dari gambar *lines plan* pada AutoCAD di-*generate* ke dalam Maxsurf. Kemudian pada Maxsurf, didetailkan *section*, *buttock*, serta *waterline* dari FPSO Belanak. Serta, dimensi FPSO Belanak untuk tiap *section* di masukkan, karena dimensi-dimensi per-*section* tersebut yang akan dikonversi ke *software* MOSES.
- Mengkonversi pemodelan yang dilakukan di Maxsurf ke MOSES. Untuk pemodelan dan perhitungan hidrostatis, dilakukan dengan MOSES 7.0, sedangkan untuk perhitungan hidrodinamis, digunakan MOSES 6.0.
- Setelah didapatkan respon gerakan FPSO maka selanjutnya dilakukan validasi hasil running hidrodinamis dengan data penelitian sebelum ini. Data yang divalidasi adalah data percepatan maksimum pada kondisi gelombang signifikan tertinggi..
- Memodelkan secara lokal *crane pedestal* beserta *scantling*-nya dengan ANSYS
- Perhitungan gaya-gaya lingkungan dan operasional yang bekerja pada *crane pedestal*.
- Setelah mendapatkan gaya pada *crane pedestal*, maka dilakukan perhitungan analisis tegangan (*stress analysis*) pada *crane pedestal's scantling*.
- Dilakukan perhitungan *fatigue* setelah didapat *stress* dari gaya atau beban-beban yang berpengaruh.
- Perhitungan keandalan *crane pedestal's scantling* berdasarkan umur kelelahan dan umur operasi.

BAB IV

PEMODELAN DAN PEMBAHASAN HASIL

4.1. Data

Data yang digunakan pada tugas akhir ini adalah data struktur FPSO Belanak, data lingkungan wilayah Natuna yang meliputi data kecepatan angin serta data gelombang *metocean*. Sedangkan untuk data lain yang digunakan adalah data percepatan gerakan FPSO Belanak untuk enam arah derajat kebebasan dan data material yang digunakan pada FPSO Belanak.

4.1.1. Data Struktur

Pada pengerjaan tugas akhir ini data struktur FPSO Belanak meliputi data spesifikasi FPSO Belanak dan data spesifikasi struktur *crane pedestal's scantling* pada FPSO Belanak.

4.1.1.1. Struktur FPSO

Pada tugas akhir ini, obyek yang digunakan adalah *Floating Production Storage and Offloading* (FPSO) milik Conoco Philips yang bernama Belanak. Berat FPSO tersebut adalah 255.000 ton dengan panjang 285 m dan memiliki kapasitas penyimpanan minyak sebesar satu juta barrel. Badan FPSO Belanak dibangun dengan bentuk *double side*. Konfigurasi *single bottom* tanpa *self propulsion*. FPSO Belanak didesain 30 tahun tanpa *dry docking*. Untuk data yang lebih lengkap, disajikan dalam Tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 4. 1 Data spesifikasi FPSO Belanak

No	Data	Spesifikasi
1	LOA	285m
2	<i>Depth</i>	26m
3	<i>Beam</i>	58m
4	<i>Vessel Draft Full</i>	16.2m
5	<i>Vessel Draft Medium</i>	14.6m
6	<i>Vessel Draft Light</i>	13.9m
7	<i>Displacement</i>	255,000ton
8	<i>Service Life</i>	30years

4.1.1.2 Struktur Crane

Data spesifikasi dari *crane* pada FPSO Belanak dapat dilihat pada Tabel 2.2. FPSO Belanak memiliki dua buah *crane* yang terletak di sisi samping atau pada *port side* dari FPSO Belanak dengan ilustrasi pada Gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4. 1 *Crane* FPSO Belanak (Wahyudi, 2009)

4.1.1.3 Crane Pedestal

Crane Pedestal yang digunakan pada FPSO Belanak memiliki tiga komponen konfigurasi yang berbeda. Dimensi dari ke-3 konfigurasi *crane pedestal* tersebut adalah sebagai berikut:

Silinder I

OD : 3.0m
thickness : 0.05m
length : 8.0m

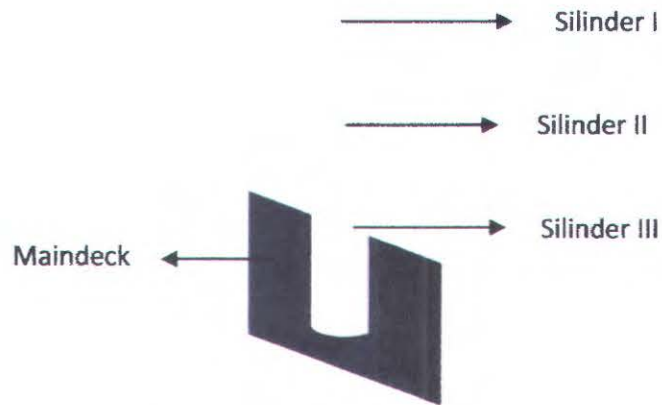
Silinder II

OD : 3-5m
thickness : 0.05m
length : 6.8m

Silinder III

OD : 5.0m
thickness : 0.05m
length : 28.0m

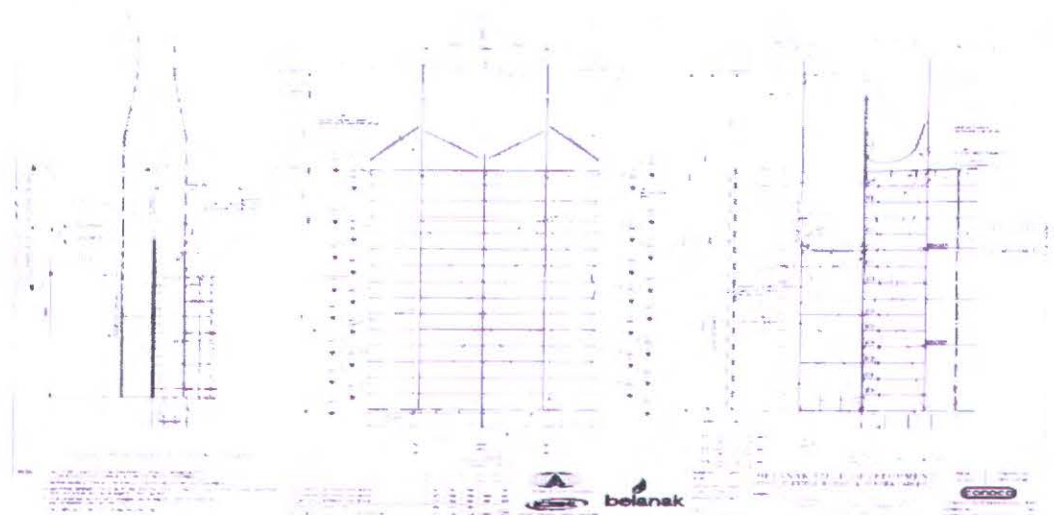
Silinder ke-3 terbagi menjadi dua bagian, dimana 14.6meter terletak di atas *maindeck*. Sedangkan 13.4meter berada dibawah *maindeck*. Luas penampang dari silinder ke-3 adalah sebesar 0.778m^2 . Untuk lebih jelasnya, ditampilkan dalam Gambar 4.2 berikut:



Gambar 4. 2 *Crane Pedestal FPSO Belanak* (Wahyudi, 2009)

4.1.1.4 Crane Pedestal's Scantling

Scantling atau sistem penegar pada crane pedestal's FPSO Belanak mempunyai bentuk seperti pada Gambar 4.3 berikut :



Gambar 4. 3 *Technical drawing Crane Pedestal's Scantling FPSO Belanak*
Crane pedestal's scantling pada Gambar 4.3 adalah berupa penegar yang terdiri dari *girders*, *stiffeners*, dan *plates* yang berfungsi sebagai tumpuan struktur *crane*, serta tersambung dengan *hull FPSO*.

4.1.1.5 Crane Boom

Crane Boom FPSO Belanak memiliki panjang total 68.2meter, dengan konfigurasi beberapa jenis *truss* memiliki bentuk seperti Gambar 4.4 berikut:



Gambar 4. 4 *Crane Boom* FPSO Belanak (Wahyudi, 2009)

4.1.2 Data Lingkungan

FPSO Belanak ditempatkan di blok Natuna dengan kedalaman perairan sebesar 90m. Adapun data lingkungan berupa data kecepatan angin *Return Period* dari 16mata angin pada ketinggian 10m di wilayah Natuna untuk kondisi operasi dan kondisi badai disajikan dalam Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4. 2 Intensitas kejadian angin pada daerah Natuna tahun 2006 dan 2007

ARAH	KECEPATAN ANGIN (m/s) (nominal)							Jumlah
	CALM	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10 - 12	13 - 15	>16	
	406	0	0	0	0	0	0	406
N	0	0	8	30	37	20	5	100
NW	0	0	1	5	1	0	0	7
W	0	1	7	15	5	0	0	28
SW	0	3	2	13	7	2	0	27
S	0	0	7	26	19	3	1	56
SE	0	0	3	10	3	0	0	16
E	0	1	13	14	1	0	0	29
NE	0	0	20	31	6	4	0	61
								730

Sedangkan untuk data gelombang *metocean* untuk wilayah Natuna disajikan dalam Tabel 4.3 berikut ini:

Tabel 4. 3 Data Gelombang *Metocean*

Wave Class	H max (m)	Hs	Th max (s)	Surface Current (m/s)	Mid-Depth Current (m/s)	Near Bottom Current (m/s)	Number of Occurance	Cumulative Σ
1	0.50	0.27	5.25	0.5	0.3	0.3	93,350,538	93,350,538
2	1.00	0.54	6.25	0.5	0.3	0.3	71,519,354	164,869,892
3	1.50	0.81	7.37	0.5	0.3	0.3	31,774,805	196,644,697
4	2.00	1.08	8.64	0.5	0.3	0.3	13,717,908	210,362,605
5	2.50	1.34	9.57	0.6	0.4	0.4	6,707,238	217,069,843
6	3.00	1.61	10.18	0.6	0.4	0.4	3,461,658	220,531,501
7	4.00	2.15	10.79	0.6	0.4	0.4	2,802,540	223,334,041
8	5.00	2.69	11.31	0.6	0.4	0.4	772,997	224,107,038
9	6.00	3.23	11.69	0.7	0.5	0.5	197,245	224,304,283
10	7.00	3.76	11.97	0.7	0.5	0.5	45,165	224,349,448
11	8.00	4.30	12.23	0.7	0.5	0.5	9,160	224,358,608
12	9.00	4.84	12.47	0.7	0.5	0.5	1,643	224,360,251
13	10.25	5.51	12.67	0.8	0.6	0.6	281	224,360,532

4.1.3 Data Beban Angkat *Crane*

Spektrum *crane lift* dari *crane* FPSO Belanak dalam bentuk persentase disajikan dalam Tabel 4.4 berikut ini:

Tabel 4. 4 Spektrum Angkat *Crane*

Load (T)	Percentage (%) of Total Number of Cycles at		
	14.4m RAD	38.4m RAD	62.4m RAD
5	16.7	16.7	16.6
10	11.4	11.3	11.3
20	3.0	3.0	3.0
30	1.4	1.3	1.3
40	0.8	0.8	0.4
50	0.5	0.5	-

4.1.4 Data Gerakan FPSO

Data gerakan FPSO yang diketahui adalah data percepatan FPSO pada kondisi badai. Pada kondisi badai, FPSO akan mendapatkan pengaruh beban yang paling besar (*maximum*). Periode gelombangnya adalah 31 s.d. 4 detik dengan *interval* 0.5 detik. Untuk lebih lengkapnya, tersaji dalam Tabel 4.5 berikut:

Tabel 4. 5 Data Percepatan Gerakan FPSO pada Kondisi Badai (Conoco Philips, 2002)

Derajat Kebebasan	Percepatan
Max. Surge Acc	0.656 m/s^2
Max. Sway Acc	2.180 m/s^2
Max. Heave Acc	1.054 m/s^2
Roll Acc	3.023 rad/s^2
Pitch Acc	0.679 rad/s^2
Yaw Acc	0.193 rad/s^2

4.1.5 Data Material

Material yang digunakan adalah material *rolled profile* dengan properti sebagai berikut disajikan dalam Tabel 4.6 berikut:

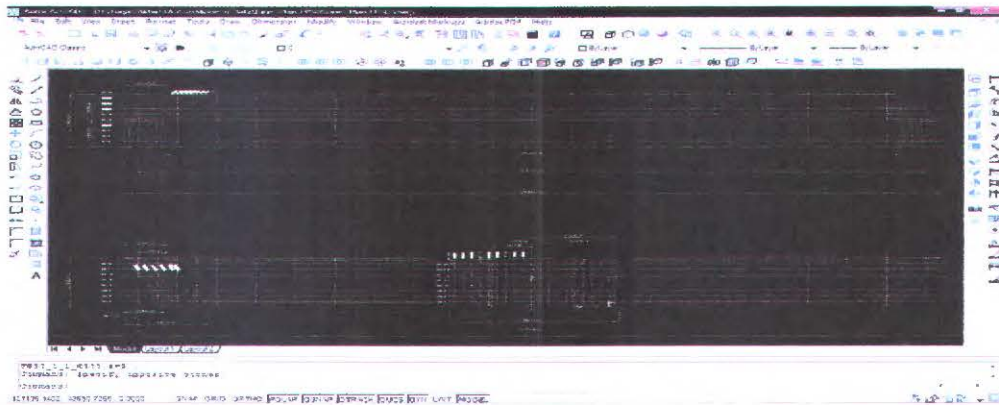
Tabel 4. 6 Data Material dan Properti Desain Baja

Data	Satuan	Spesifikasi
Material Type	-	4
Steel Grades	-	A36
Thickness Range	mm	<51
Minimum Yield Stress	N/mm ²	250
Minimum UTS	N/mm ²	400
Modulus Young	N/mm ²	210000
Shear Modulus	N/mm ²	80000
Poisson's Ratio	-	0.3
Density	Kg/m ³	7850
Coef. Of Thermal Expansion	^o C	12x10 ⁻⁶

4.2 Pemodelan

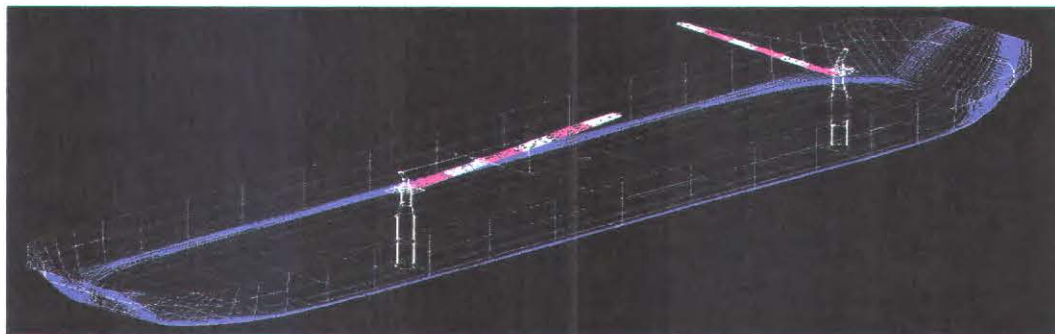
4.2.1 Pemodelan Menggunakan AUTOCAD

Untuk memudahkan pemodelan dengan *software* Maxsurf dan MOSES, FPSO Belanak serta *crane*-nya di modelkan terlebih dahulu di AutoCAD.



Gambar 4. 5 Pemodelan *Lines Plan* FPSO Belanak dengan AutoCAD

Untuk FPSO, yang dimodelkan adalah *lines plan* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. Hal ini dilakukan untuk mempermudah dalam penentuan koordinat, pengukuran dimensi dan lain-lain. Pemodelan dengan AutoCAD juga mempermudah untuk memahami bentuk dari struktur secara visual dan mengetahui bentuk FPSO secara utuh seperti pada Gambar 4.6 berikut:

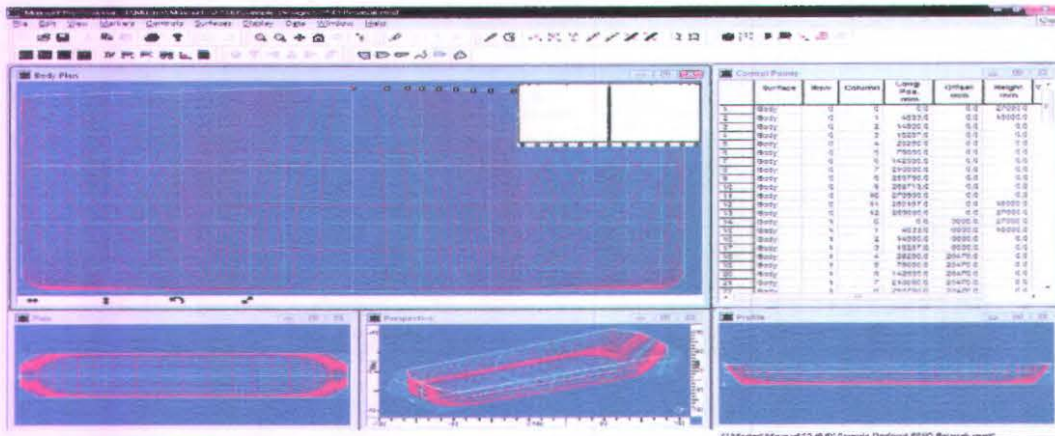


Gambar 4. 6 Model FPSO Belanak

4.2.2 Pemodelan Menggunakan Maxsurf

Pemodelan dengan Maxsurf, memodelkan struktur FPSO secara lebih detail dan spesifik. Dimensi-dimensi utama yang didapat dari gambar *lines plan* pada

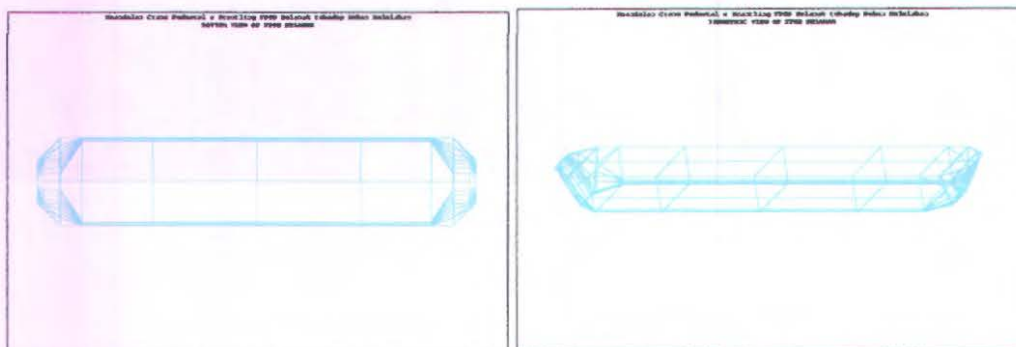
AutoCAD di-generate ke dalam Maxsurf seperti pada Gambar 4.7. Kemudian pada Maxsurf, didetailkan *section*, *buttock*, serta *waterline* dari FPSO Belanak. Setelah itu, dimensi FPSO Belanak untuk tiap *section* diinputkan, karena dimensi-dimensi per-*section* tersebut yang akan dikonversi ke *software* MOSES.



Gambar 4. 7 Pemodelan FPSO Belanak dengan Maxsurf

4.2.3 Pemodelan Menggunakan Moses

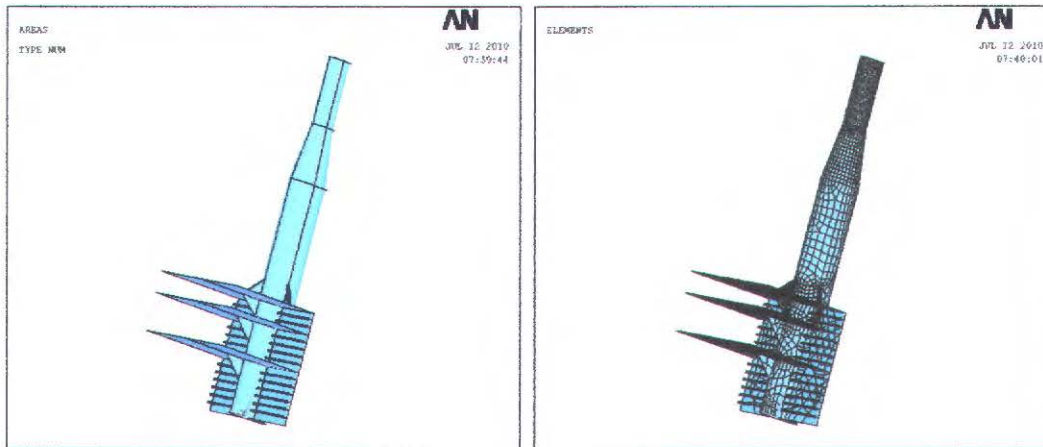
Selanjutnya FPSO Belanak dimodelkan dengan *software* MOSES (*Multi Operational Structural Engineering Simulator*). Koordinat struktur dari FPSO Belanak diambil dari Maxsurf. Untuk pemodelan dan perhitungan hidrostatis, dilakukan dengan MOSES 7.0, sedangkan untuk perhitungan hidrodinamis, digunakan MOSES 6.0. Hasil pemodelan dari MOSES 7.0 dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut ini:



Gambar 4. 8 Isometric dan Top of View FPSO Belanak

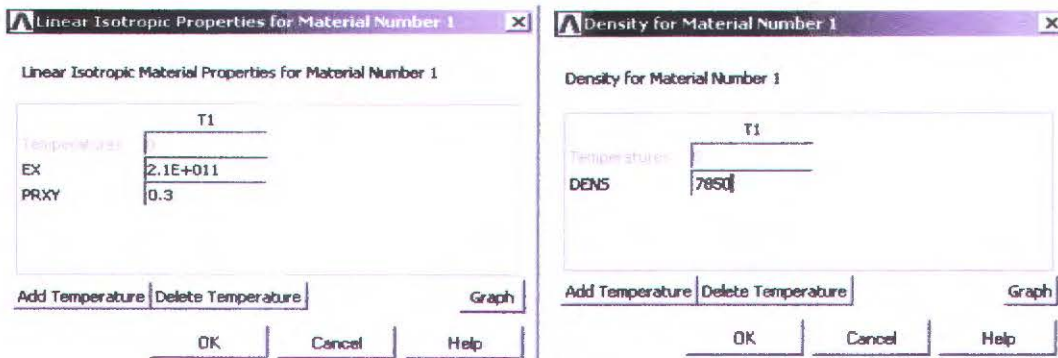
4.2.4 Pemodelan Menggunakan ANSYS

Pemodelan dengan menggunakan ANSYS 11.0 akan dilakukan pada struktur *crane pedestal's scantling*, geladak FPSO, serta struktur penguat di bawah geladak yaitu *stiffener* dan *bracket*. Jenis pemodelan dan perhitungan adalah jenis *structural*.



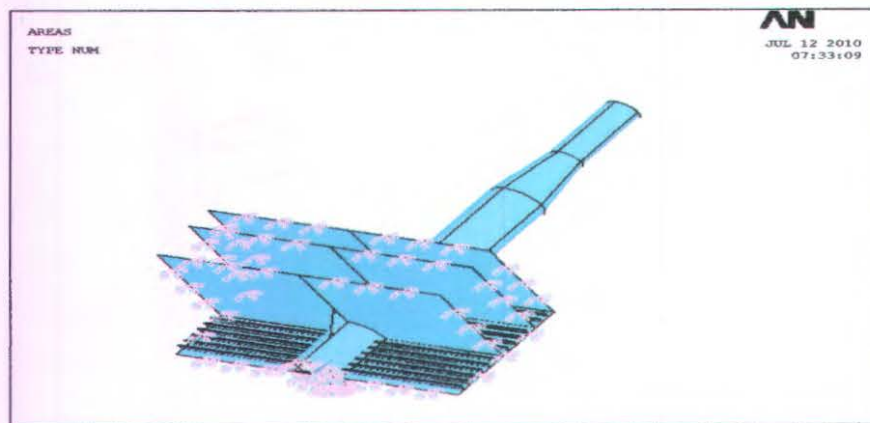
Gambar 4. 9 Model *Crane Pedestal's Scantling* FPSO Belanak

Struktur pada Gambar 4.9 dimodelkan dalam bentuk area atau dua dimensi (2D). Setelah dilakukan pemodelan, langkah selanjutnya adalah input karakteristik dan jenis elemen model tersebut. Elemen yang digunakan adalah element *shell93*, karena model dibuat dalam bentuk plat dan input ketebalan pada *real constant*. Karakteristik struktur yang diinput disesuaikan dengan data material seperti pada Tabel 4.6. Berikut contoh *input* karakteristik model pada ANSYS 11.0 pada Gambar 4.10 berikut ini:



Gambar 4. 10 Input karakteristik struktur pada ANSYS

Meshing dilakukan dengan manual, sehingga pembagian jumlah elemen disesuaikan dengan model geometrinya. Langkah terakhir adalah dengan memasukkan *constraint* pada bagian struktur yang dianggap tetap atau memiliki tumpuan *fix*. *Constraint* yang digunakan adalah pada semua *degree of freedom* (6DOF) baik translasi maupun rotasional. Pada pemodelan ini, syarat batas dipilih *on line* (pada garis) dengan pertimbangan geladak tidak mengalami deformasi pada 6 moda gerakan. Penentuan syarat ditunjukkan pada Gambar 4.11 berikut ini:



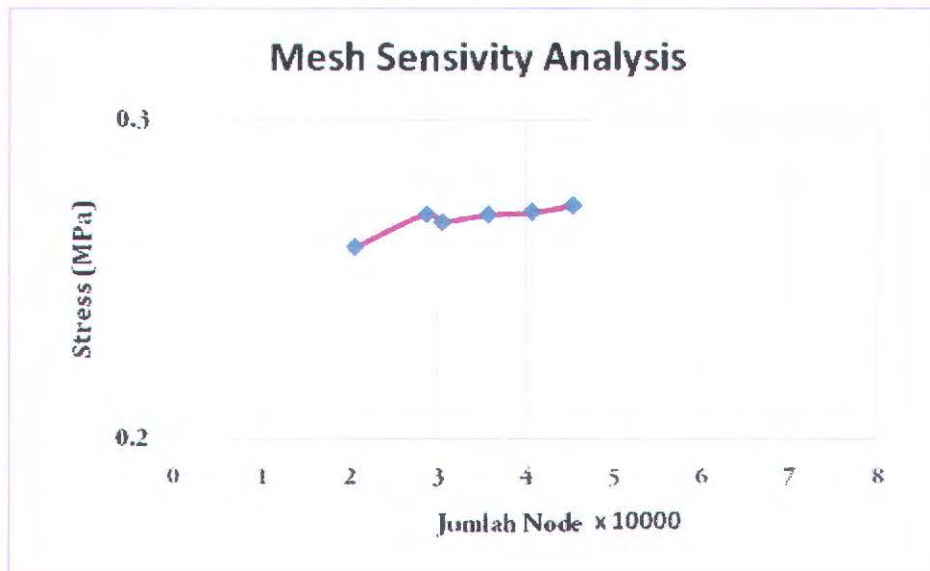
Gambar 4. 11 Penentuan Syarat Batas model ANSYS

Sebelum melangkah ke proses *running*, terlebih dahulu dilakukan *mesh sensitivity analysis*, yaitu iterasi untuk memperoleh tegangan dengan variasi ukuran meshing. Ketika tegangan yang didapat telah mendekati konstan, maka model dapat digunakan untuk analisis selanjutnya. Hasil *mesh sensitivity* dengan 6 jenis ukuran *meshing* dan dengan pembebanan sama arah vertikal (-z) sebesar 10000 kN pada *keypoint* sambungan *bracket* dan *pedestal* disajikan pada Tabel 4.7 di bawah ini.

Tabel 4. 7 *Mesh Sensivity Analysis*

Percobaan	Jumlah Node	Stress (Mpa)
1	20554	0.26
2	28718	0.2704
3	30548	0.268
4	35681	0.2702
5	40654	0.271
6	45368	0.273

Dari Tabel 4.7, maka dapat dibentuk grafik untuk mengetahui karakteristik pada proses *Mesh Sensivity Analysis* yang telah dilakukan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.12 berikut.



Gambar 4. 12 Karakteristik MSA

Dari Gambar 4.12 di atas dapat diketahui, semakin kecil ukuran *meshing* atau semakin banyak jumlah elemen, maka tegangan yang dihasilkan cenderung semakin besar. Pada tugas akhir ini, model yang digunakan adalah model dengan jumlah 28718 *node*, karena pada model tersebut dengan meninjau pada salah satu titik, tegangan yang dihasilkan sudah mendekati konstan yaitu 0.27 MPa dengan selisih sebesar 0.0016 MPa dengan rata-rata tegangan dan nilai koreksi sebesar 0.99%. Selain itu, dengan menggunakan jumlah *node* yang relatif sedikit, proses analisis dengan komputer juga semakin efisien karena tidak membutuhkan memori komputer yang besar.

Setelah penentuan syarat batas dan validasi *meshing*, maka selanjutnya dilakukan input pembebanan pada model. Nilai input yang dimasukkan adalah dari hasil perhitungan beban gelombang, angin, dan beban operasional. Input dimasukkan per *node*, artinya nilai yang kita dapatkan dari hasil perhitungan dibagi dengan jumlah *node* di mana beban tersebut mengenai struktur.

4.3 Perhitungan

Perhitungan yang dilakukan adalah perhitungan *motion* dari FPSO, perhitungan beban inersia akibat beban gelombang, beban angin, serta beban operasional. Setelah perhitungan beban dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah perhitungan umur kelelahan yang selanjutnya dilakukan perhitungan keandalan *crane pedestal's scantling*.

4.3.1 Validasi Motion FPSO

Validasi *motion* FPSO Belanak yang digunakan adalah validasi pada data Conoco Phillips dengan *motion* FPSO Belanak hasil perhitungan dengan MOSES. Berikut ini adalah perbandingan *motion* FPSO Belanak Conoco Phillips dengan data hasil pemodelan yang ditampilkan dalam Tabel 4.8 berikut ini.

Tabel 4. 8 Validasi *Motion* Conoco Phillips dengan Hasil Pemodelan

Derajat Kebebasan	Conoco Phillips	Perhitungan
Max. Surge Acc	0.656 m/s ²	0.223 m/s ²
Max. Sway Acc	2.180 m/s ²	0.827 m/s ²
Max. Heave Acc	1.054 m/s ²	1.456 m/s ²
Roll Acc	3.023 rad/s ²	3.389 rad/s ²
Pitch Acc	0.679 rad/s ²	0.658 rad/s ²
Yaw Acc	0.193 rad/s ²	0.259 rad/s ²

4.3.2 Perhitungan Motion FPSO

Perhitungan *motion* FPSO dilakukan untuk mendapatkan *single amplitude accelerations* dan *Response Amplitude Operator (RAO)* dari FPSO untuk lima arah *heading* gelombang, yaitu arah 0°, 45°, 90°, 135° dan 180° dalam gerak *surge*, *heave*, *sway*, *roll*, *pitch* dan *yaw*. Perhitungan dilakukan pada kondisi *Vessel Draft Full* yaitu dengan *draft* 13.9 m dengan *software* MOSES 6.0. Periode gelombangnya adalah 4 s.d. 31 detik dengan *interval* 0.5 detik. Kondisi gelombang yang digunakan adalah gelombang signifikan untuk masing-masing *wave class*. Jika yang diketahui adalah H_{max} maka H_s dapat dicari dengan persamaan di bawah ini:

$$H_s = H_{max} / 1.86 \quad (4.1)$$

Input data untuk perhitungan dengan MOSES 6.0. adalah:

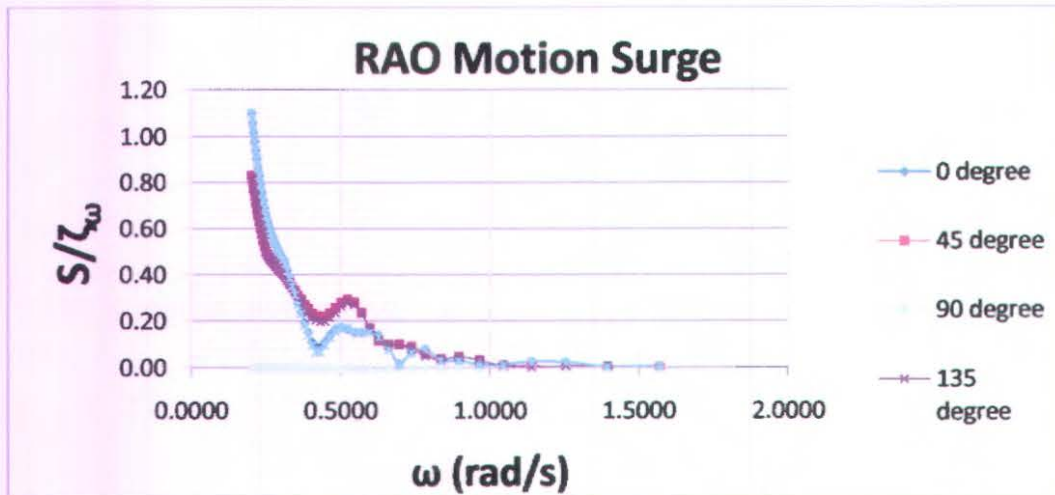
- KG (*keel to gravity*)
- kedalaman perairan di lokasi FPSO beroperasi
- tipe spektrum gelombang yang digunakan, yaitu spektrum JONSWAP
- arah datang gelombang (*heading*)
- tinggi gelombang
- periode gelombang
- kecepatan arus

Hasil dari perhitungan *maximum single amplitude accelerations* dengan MOSES 6.0. ditunjukkan pada Tabel 4.9 di bawah ini:

Tabel 4. 9 *Maximum Single Amplitude Acceleration*

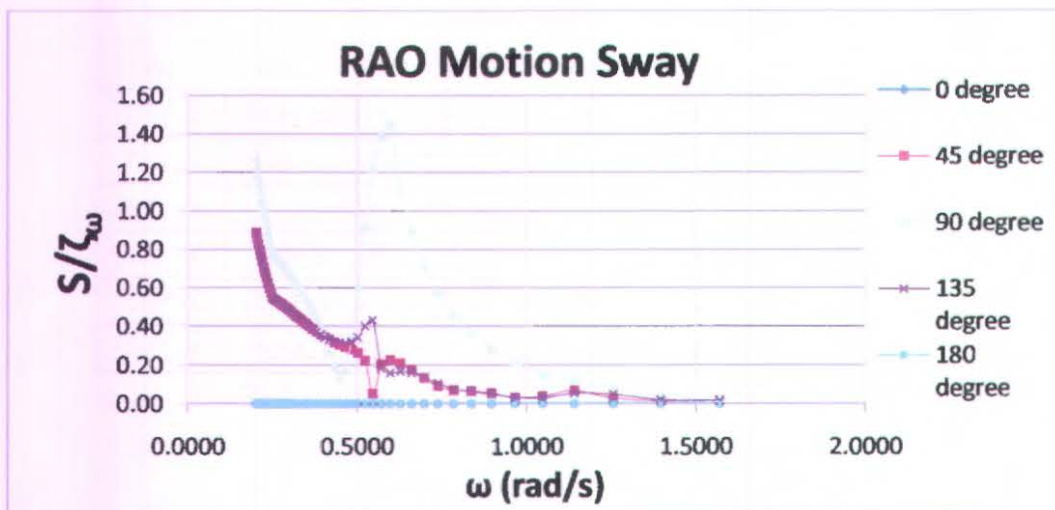
Maximum Single Amplitude Acceleration						
<i>Hs</i>	<i>surge</i>	<i>sway</i>	<i>heave</i>	<i>roll</i>	<i>pitch</i>	<i>yaw</i>
	m/s ²			rad/s ²		
0.27	0.005	0.035	0.014	0.014	0.009	0.006
0.54	0.012	0.08	0.033	0.059	0.016	0.011
0.81	0.021	0.13	0.083	0.185	0.018	0.02
1.08	0.035	0.174	0.189	0.441	0.042	0.029
1.34	0.045	0.209	0.307	0.739	0.082	0.042
1.61	0.058	0.243	0.414	1.022	0.126	0.059
2.15	0.077	0.318	0.59	1.471	0.206	0.089
2.69	0.093	0.398	0.752	1.86	0.289	0.119
3.23	0.111	0.48	0.899	2.197	0.366	0.147
3.76	0.136	0.562	1.036	2.501	0.438	0.174
4.3	0.163	0.644	1.169	2.786	0.508	0.201
4.84	0.19	0.726	1.297	3.051	0.577	0.227
5.51	0.223	0.827	1.456	3.389	0.658	0.259

Response Amplitude Operator (RAO) hasil dari MOSES 6.0 untuk gerakan *surge*, *heave*, *sway*, *roll*, *pitch* dan *yaw* akibat H_s tertinggi dapat dilihat pada Gambar 4.13 sampai dengan Gambar 4.18 berikut ini:



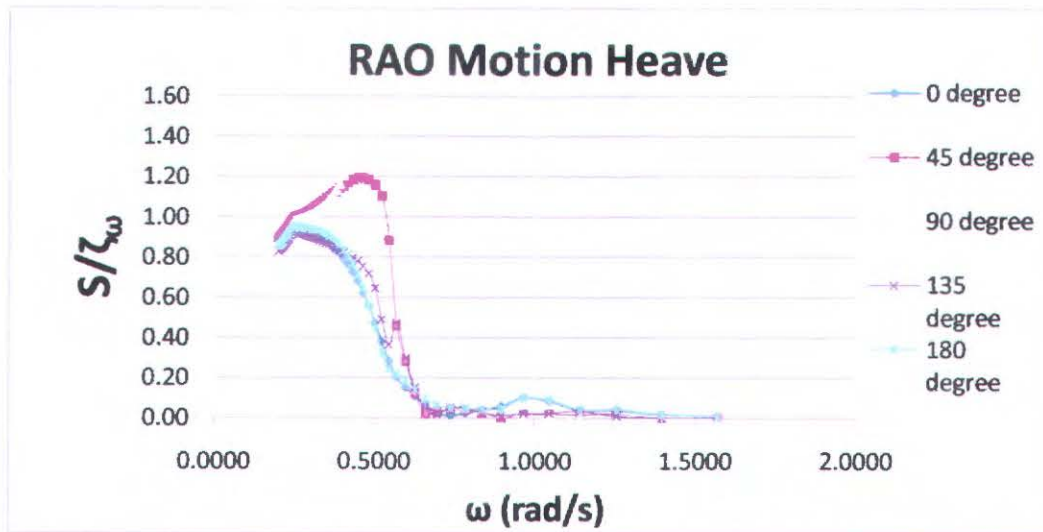
Gambar 4. 13 Grafik RAO *motion surge* FPSO Belanak

Pada Gambar 4.13, menunjukkan bahwa gerakan *surge* cenderung besar untuk heading arah *head seas* (0 derajat) dan *following seas* (180 derajat). Sedangkan untuk arah *quartering seas* (45 dan 135 derajat) gerakan *surge* lebih kecil dari gerakan *surge* untuk heading arah *head sea*. Untuk gerakan *beam seas* (90 derajat) hampir tidak terjadi sama sekali.



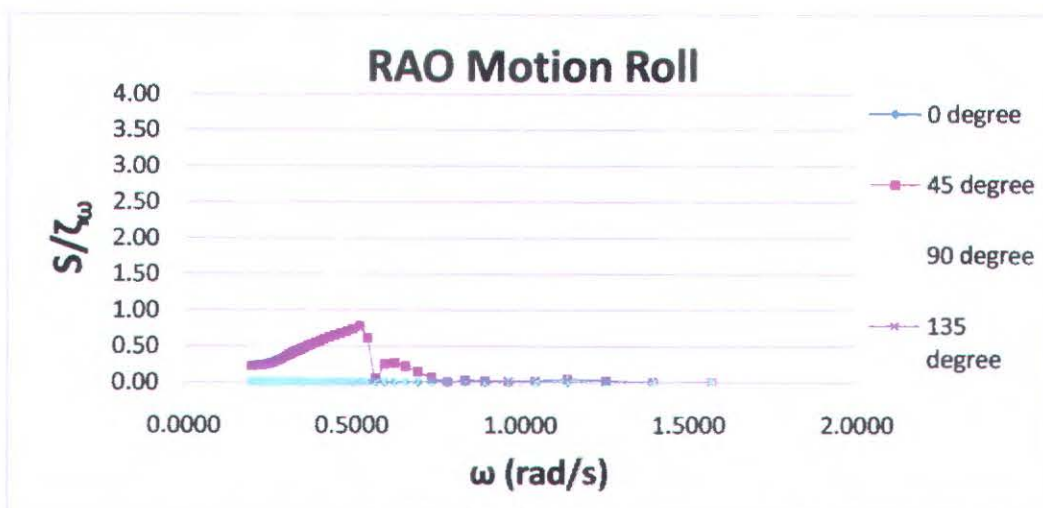
Gambar 4. 14 Grafik RAO *motion sway* FPSO Belanak

Pada Gambar 4.14, menunjukkan bahwa gerakan *sway* sangat besar untuk *heading* arah *beam seas* (90 derajat). Sedangkan untuk arah *quartering seas* gerakan *sway* juga terjadi namun tidak sebesar *heading* arah *beam seas*. Untuk gerakan *sway* tidak terjadi untuk arah 0 derajat dan 180 derajat.



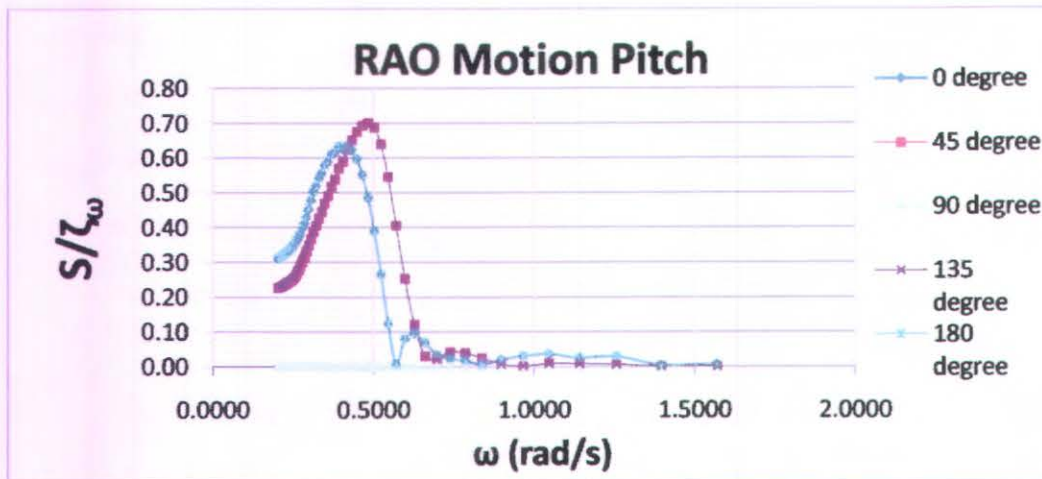
Gambar 4. 15 Grafik RAO *motion heave* FPSO Belanak

Pada Gambar 4.15, menunjukkan bahwa gerakan *heave* cenderung tinggi untuk semua arah heading. Gerakan paling besar terjadi pada *heading beam seas* (90 derajat).



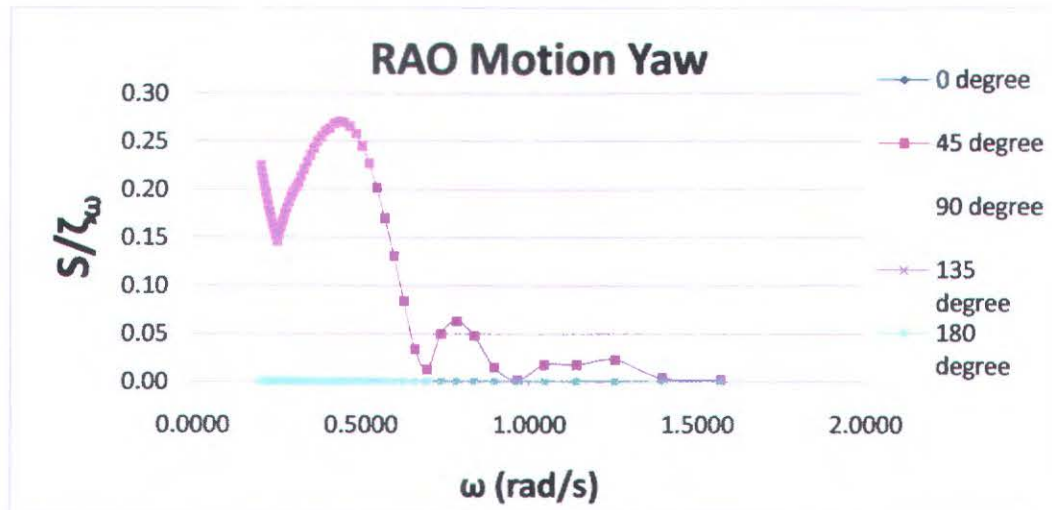
Gambar 4. 16 Grafik RAO *motion roll* FPSO Belanak

Pada Gambar 4.16, menunjukkan bahwa gerakan *roll* cenderung besar untuk *heading* arah *beam seas* (90 derajat). Sedangkan untuk *heading* arah *quartering seas* (45 dan 135 derajat) gerakan *surge* lebih kecil dari gerakan *surge* untuk *heading* arah *beam sea*. Untuk gerakan *following sea* (180 derajat) tidak terjadi sama sekali.



Gambar 4. 17 Grafik RAO *motion pitch* FPSO Belanak

Pada Gambar 4.17, menunjukkan bahwa gerakan *pitch* cenderung besar untuk *heading* arah *quartering seas* (45 dan 135 derajat). Sedangkan untuk *heading* arah *head sea* dan *following sea* (0 dan 180 derajat) gerakan *pitch* lebih kecil dari gerakan *pitch* untuk *heading* arah *quartering seas*. Untuk gerakan *beam sea* (90 derajat) tidak ada sama sekali.



Gambar 4. 18 Grafik RAO *motion yaw* FPSO Belanak

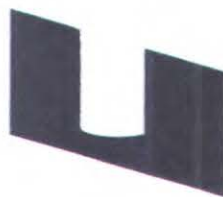
Pada Gambar 4.18, memperlihatkan bahwa gerakan *yaw* memiliki cenderung besar untuk *heading* arah *quartering seas* (45 dan 135 derajat). Sedangkan untuk *heading* arah yang lain hampir tidak terjadi.

4.3.3 Perhitungan Beban Gelombang

Untuk gerakan FPSO terdapat enam derajat kebebasan yakni *surge*, *sway*, *yaw*, *heave*, *roll* dan *pitch*. Percepatan dari enam gerakan tersebut telah didapat dari perhitungan *motion*. Untuk gerakan FPSO tersebut berpengaruh pada crane pedestal dengan menjadi gaya inersia. Gaya inersia didapat dengan mengalikan percepatan dengan massa *crane*.

Perhitungan massa *crane pedestal*

a. Massa Crane = Massa pedestal + Massa boom + Massa Winch + Massa sling



Gambar 4. 19 Susunan *crane pedestal* berdasarkan diameternya

a. Massa crane pedestal = ρ baja x volume crane pedestal

- Volume Silinder III = $(\pi \times r_1^2 \times L) - (\pi \times r_2^2 \times L)$

dengan $r_1 = 2.5$ meter, $r_2 = 2.45$ meter dan $L = 28$ meter

maka volume = $(3.14 \times (2.5)^2 \times 28) - (3.14 \times (2.45)^2 \times 28)$
 = $549.5 - 527.7398$
 = 21.7602 m^3

- Volume Silinder II = $0.5 \times (2\pi r_1 + 2\pi r_3) \times L \times \text{tebal}$

dengan $r_3 = 1.5$ meter

maka volume = $0.5 \times ((2 \times 3.14 \times 2.5) + (2 \times 3.14 \times 1.5)) \times 6.8 \times$
 0.05
 = 4.2704 m^3

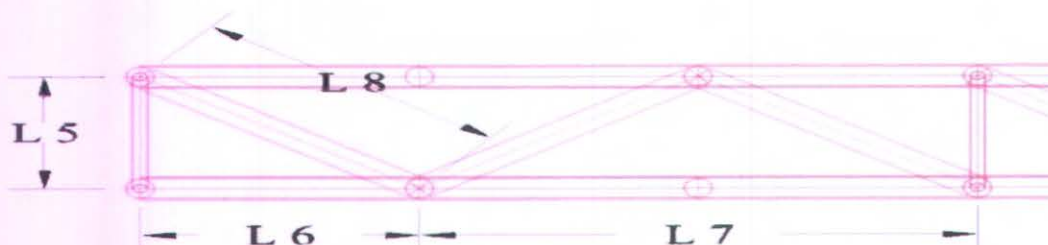
- Volume Silinder I = $(\pi r_3^2 \times L) - (\pi r_4^2 \times L)$

= $(3.14 \times 1.5^2 \times 8) - (3.14 \times 1.45^2 \times 8)$
 = $56.52 - 52.8148$
 = 3.7052 m^3

Volume total crane pedestal = $21.7602 + 4.2704 + 3.7052$
 = 29.7358 m^3

Jadi, massa crane pedestal adalah $7.825 \text{ ton/m}^3 \times 29.7358 \text{ m}^3 = 232.8313 \text{ ton}$

b. Massa crane boom



Gambar 4. 20 Detail Crane Boom

Berdasarkan Gambar 4.20, maka dapat dihitung massa crane boom sebagai berikut:

Massa crane boom = Massa main girder + Massa truss diagonal + massa truss vertikal

- Massa *main girder*

Ukuran main girder : ϕ luar = 323.85 mm dan thickness = 9.525 mm dengan massa per meter 22.48 kg. Panjang main girder 68.2 m dengan jumlah girder pada crane boom 4 buah.

Massa main girder = $4 \times 22.480 \times 68.2 = 6132.544 = 6.132$ ton

- Massa *truss diagonal*

Ukuran truss diagonal : ϕ luar = 273.05 mm dan thickness = 9.271 mm dengan massa per meter 18.361 kg. Panjang truss diagonal 373.5 m

Massa truss diagonal = $18.361 \times 373.5 = 6857.833$ kg = 6.857 ton

- Massa *truss vertikal*

Ukuran truss vertikal : ϕ luar = 114.3 mm dan thickness = 6.0198 mm dengan massa per meter 4.894 kg. Panjang truss vertikal 184 m

Massa truss vertikal = $4.894 \times 184 = 900496$ kg = 0.9004 ton

Jadi, Massa crane boom = $6.132 + 6.857 + 0.9004 = 13.8894$ ton

c. Asumsi massa winch dan massa sling = 4 ton

Jadi, massa total *crane* = $282.8313 + 13.8894 + 4 = 250.954$ ton

Perhitungan gaya inersia dari masing-masing gerakan adalah sebagai berikut:

a. Gerakan translasional

$$\begin{aligned} F_i \text{ untuk gerakan } surge &= m \times a \\ &= 250.95 \times 0.223 \\ &= 55.91 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_i \text{ untuk gerakan } Sway &= m \times a \\
 &= 250.95 \times 0.827 \\
 &= 207.35 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_i \text{ untuk gerakan } Heave &= (m \times a) + (m \times g) \\
 &= 250.95 \times 1.456 + (250.95 \times 9.81) \\
 &= 2824.62 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. Gerakan rotasional

Untuk gerakan *roll*, *pitch*, dan *yaw* akan menjadi momen inersia.

x_i = jarak horizontal sumbu x antara CG dengan titik berat crane

y_i = jarak horizontal sumbu y antara CG dengan titik berat crane

z_i = jarak vertikal antara CG dengan titik berat crane

r = jari-jari girasi

$$r = \sqrt{y_i^2 + z_i^2}$$

Tabel 4. 10 Jari-jari girasi

Motion	r (m)
Roll	35.823
Pitch	71.260
Yaw	74.018

Contoh perhitungan untuk gerakan *roll*.

Momen inersia untuk gerakan *roll* = $m \times r^2$

Maka momen inersia adalah

$$I = 250.2707 \times 35.823^2 = 321746.20 \text{ t. m}^2$$

Sedangkan momen gaya = $I \times \alpha$

$$= 321746.2 \times 3.389$$

$$= 1090399.56 \text{ kN.rad}$$

Hasil dari seluruh perhitungan baik gerakan translasi dan rotasi pada tiap-tiap H_s yang ditunjukkan pada Tabel 4.12 di bawah ini.

Tabel 4. 11 Gaya inersia dan momen gaya secara global

H_s	Gaya Inersia			Momen Gaya		
	<i>surge</i> kN	<i>sway</i> kN	<i>heave</i> kN	<i>roll</i> kN.m.rad	<i>pitch</i> kN.m.rad	<i>yaw</i> kN.m.rad
0.27	1.25	8.78	2463.08	4504.45	11458.41	8241.69
0.54	3.01	20.06	2467.84	18983.06	20370.51	15109.76
0.81	5.27	32.59	2480.38	59523.14	22916.82	27472.29
1.08	8.78	43.63	2506.96	141890.29	53472.58	39834.82
1.34	11.28	52.40	2536.54	237770.81	104398.84	57691.81
1.61	14.54	60.93	2563.37	328825.12	160417.73	81043.26
2.15	19.31	79.73	2607.50	473289.39	262270.26	122251.70
2.69	23.32	99.79	2648.11	598448.86	367942.26	163460.13
3.23	27.83	120.35	2684.97	706877.49	465975.32	201921.34
3.76	34.10	140.91	2719.32	804688.49	557642.59	239008.93
4.3	40.87	161.46	2752.66	896386.30	646763.56	276096.53
4.84	47.64	182.02	2784.75	981649.17	734611.36	311810.50
5.51	55.91	207.35	2824.62	1090399.56	837737.05	355766.17

4.3.4 Perhitungan Beban Angin

Gaya angin yang dihitung merupakan gaya angin yang diakibatkan beban dinamis yaitu gaya angin akibat *vortex*. Pada perhitungan gaya angin ini, pengaruh *vortex* terjadi pada daerah tertinggi *crane pedestal*, sehingga dari perhitungan gaya angin akibat *vortex* jumlah siklis beban angin yang menyebabkan *fatigue* dapat diketahui. Sebelum perhitungan gaya angin, terlebih dahulu dilakukan perhitungan kecepatan di tiap-tiap elevasi karena tinggi masing-masing peralatan berbeda-beda, perhitungan *Reynold Number* untuk menentukan nilai C_f , dan melakukan perhitungan luas area yang terkena beban angin.

4.3.4.1 Kecepatan Angin

Data kecepatan angin yang diketahui yaitu data kecepatan angin awal (V_0) dari 16 mata angin pada ketinggian 10 m di wilayah Natuna untuk kondisi operasi

dan kondisi badai, yaitu kecepatan angin 1 tahunan dan 10 tahunan untuk kondisi operasi, dan 100 tahunan untuk kondisi badai, serta intensitas kecepatan angin selama dua tahun 8 mata angin pada elevasi 2 m dan kecepatan angin dilihat per jam. Untuk perhitungan beban angin dalam tugas akhir ini digunakan kecepatan angin dari data intensitas kejadian angin selama dua tahun seperti yang terdapat pada Tabel 4.12 berikut ini.

Tabel 4. 12.Data intensitas kejadian angin satu tahun

ARA H	KECEPATAN ANGIN (m/s) (nominal)							Jumla h
	CALM	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10 - 12	13 - 15	>16	
	406	0	0	0	0	0	0	406
N	0	0	8	30	37	20	5	100
NW	0	0	1	5	1	0	0	7
W	0	1	7	15	5	0	0	28
SW	0	3	2	13	7	2	0	27
S	0	0	7	26	19	3	1	56
SE	0	0	3	10	3	0	0	16
E	0	1	13	14	1	0	0	29
NE	0	0	20	31	6	4	0	61
								730

Dengan Persamaan dapat diketahui kecepatan angin pada elevasi y.

$$V = V_{10} \left(\frac{y}{10} \right)^{1/7}$$

Karena data kecepatan angin awal (V_0) yang diketahui adalah kecepatan angin pada elevasi 2 m, maka dicari terlebih dahulu kecepatan angin pada elevasi 10 m dengan memodifikasi persamaan menjadi sebagai berikut:

$$V_{10} = \frac{V_2}{\left(\frac{y_2}{10} \right)^{1/7}}$$

Berikut hasil perhitungan kecepatan angin pada elevasi 10 m seperti ditunjukkan pada Tabel 4.13 di bawah ini.

Tabel 4. 13 Konversi kecepatan angin pada elevasi 10m

Wind velocity (m/s)	
Elevation 2m	Elevation 10m
0.00	0.00
1.54	1.94
3.08	3.88
4.63	5.82
6.17	7.76
7.71	9.70
9.25	11.64

Contoh perhitungan kecepatan angin pada elevasi 37.9m dan pada kecepatan 11.64 m/s pada kondisi operasi.

$$V=11.64 \left(\frac{37.9}{2}\right)^{\frac{1}{7}}$$

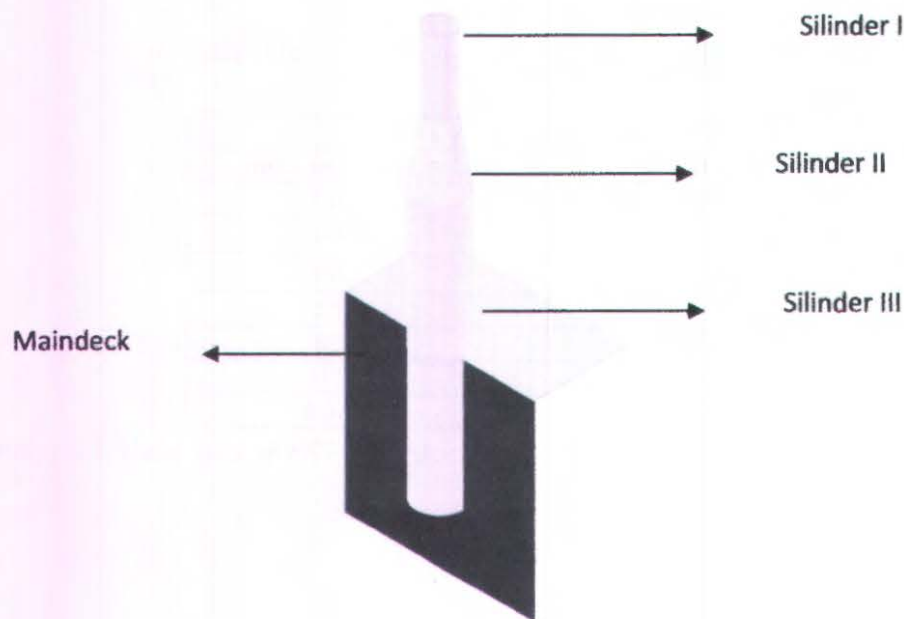
$$V=11.64 \times (18.95)^{\frac{1}{7}}=14.08 \text{ m/s}$$

Hasil yang didapat dari perhitungan kecepatan angin pada tiap elevasi disajikan dalam Tabel 4.14 berikut ini:

Tabel 4. 14 Kecepatan angin pada elevasi

velocity	velocity on elevation y (m/s)		
	Height (m)		
	19.4	30.1	37.9
0.00	0.00	0.00	0.00
1.94	2.13	2.27	2.35
3.88	4.27	4.54	4.69
5.82	6.40	6.81	7.04
7.76	8.53	9.09	9.39
9.70	10.67	11.36	11.74
11.64	12.80	13.63	14.08

4.3.4.2 Gaya Angin pada struktur tertinggi



Gambar 4. 21 *Crane Pedestal* berdasarkan pada ketinggian silinder
Gambar 4.21 menunjukkan ketinggian *crane pedestal* untuk tiap-tiap silinder. Spesifikasi ukuran tiap silinder dan ketinggian disajikan dalam Tabel 4.15 berikut ini:

Tabel 4. 15 Diameter silinder tiap ketinggian

silinder	Tinggi (m)	Diameter (m)
Silinder 1	37.9	3
Silinder 2	30.1	3-5
Silinder 3	19.4	5

Perhitungan gaya angin dilakukan dengan persamaan di bawah:

$$F = 1/2 \rho C_f A V^2$$

Nilai C_f didapat berdasarkan perhitungan *Reynold Number*. Berikut contoh perhitungan *Reynold Number* pada silinder1 dengan kecepatan angin 11.64 m/s.

$$Rn = DU/v$$

$$Rn = (3 \times 14.08)/0.0000145 = 2.91 \times 10^6$$

Hasil yang didapat dari perhitungan *Reynold Number* untuk ketiga elevasi disajikan dalam Tabel 4.16 berikut:

Tabel 4. 16 *Reynold Number* tiap-tiap ketinggian

velocity	Reynold Number		
	Equipment w/ Height (m)		
	19.4	30.1	37.9
0.00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1.94	7.36E+05	6.27E+05	4.86E+05
3.88	1.47E+06	1.25E+06	9.71E+05
5.82	2.21E+06	1.88E+06	1.46E+06
7.76	2.94E+06	2.51E+06	1.94E+06
9.70	3.68E+06	3.13E+06	2.43E+06
11.64	4.41E+06	3.76E+06	2.91E+06

Dari nilai *Reynold Number* yang diperoleh, dimana nilai yang dihasilkan $\geq 3 \times 10^5$ maka nilai C_f yang digunakan adalah 0.2. Sedangkan untuk besar *Reynold Number* pada kecepatan 0 m/s adalah 0.4.

Silinder I

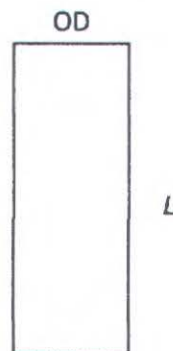
$$OD = 3.0m$$

$$L = 8.0m$$

$$A = OD \times L$$

$$A = 3,0 \times 8$$

$$A = 24m^2$$



Silinder II

$$OD = 3-5m$$

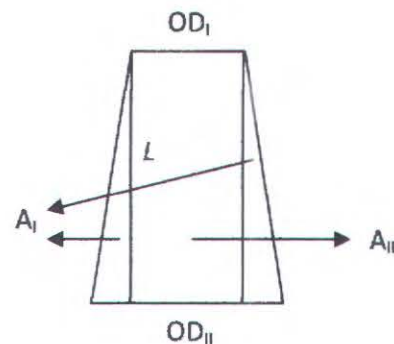
$$L = 6.8m$$

$$A_T = A_I + A_{II}$$

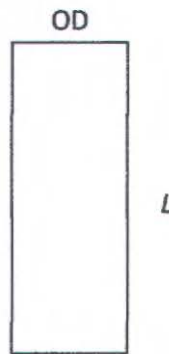
$$A_T = \left[\frac{1}{2} (OD_{II} - OD_I) \times L \right] + (OD_I \times L)$$

$$A_T = 1 \times 6,8 + 3 \times 6,8$$

$$A_T = 27,2m^2$$



Silinder III
 OD= 5.0m
 L = 14.5m
 $A = OD \times L$
 $A = 5,0 \times 14,5$
 $A = 72,5m^2$



Setelah didapat luasan bidang silinder yang terkena gaya angin, dilakukan perhitungan gaya angin. Contoh perhitungan gaya angin pada silinder 1 dengan kecepatan angin 11.64m/s.

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{1}{2} \times \rho \times C_f \times A \times V^2 \\
 &= \frac{1}{2} \times 1.226 \times 0.2 \times 24 \times 11.64^2 \\
 &= 583.72 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Hasil yang didapat dari perhitungan gaya angin pada tiap elevasi disajikan dalam Tabel 4.17 berikut ini:

Tabel 4. 17 Gaya angin pada tiap-tiap ketinggian

velocity	Wind Force on elevation y (N)		
	Height (m)		
	19.4	30.1	37.9
0.00	0.00	0.00	0.00
1.94	40.45	17.21	16.21
3.88	161.81	68.82	64.86
5.82	364.06	154.85	145.93
7.76	647.22	275.29	259.43
9.70	1011.28	430.14	405.36
11.64	1456.25	619.40	583.72

4.3.4.3 Momen Angin

Setelah dilakukan perhitungan gaya angin, maka kemudian akan menghitung momen yang terjadi pada struktur pedestal dengan geladak akibat gaya angin. Momen dicari dengan cara mengalikan gaya dengan panjang lengan. Panjang lengan adalah jarak antara titik pada elevasi tertentu yang terkena gaya angin

dengan titik pada struktur *crane pedestal* yang tersambung dengan geladak. Panjang lengan yang digunakan adalah ketinggian dari ketiga jenis pedestal tersebut, yakni 19.4m, 30.1m, dan 37.9m. Perhitungan momen angin untuk silinder 1 dengan kecepatan angin 11.64 m/s adalah

$$\begin{aligned}
 M &= F \times l \\
 &= 583.72 \times 37.9 \\
 &= 22122.197 \text{ N.m}
 \end{aligned}$$

Maka hasil perhitungan momen angin dari ketiga peralatan tersebut ditampilkan pada Tabel 4.18 berikut ini:

Tabel 4. 18 Momen angin ketiga ketinggian

velocity	Moment of Force (N.m)		
	Equipment w/ Height (m)		
	19.4	30.1	37.9
0.00	0.00	0.00	0.00
1.94	784.75	517.89	614.53
3.88	3139.02	2071.54	2458.11
5.82	7062.79	4660.97	5530.74
7.76	12556.07	8286.17	9832.43
9.70	19618.86	12947.13	15363.17
11.64	28251.16	18643.87	22122.97

4.3.5 Perhitungan Beban Angkat Crane

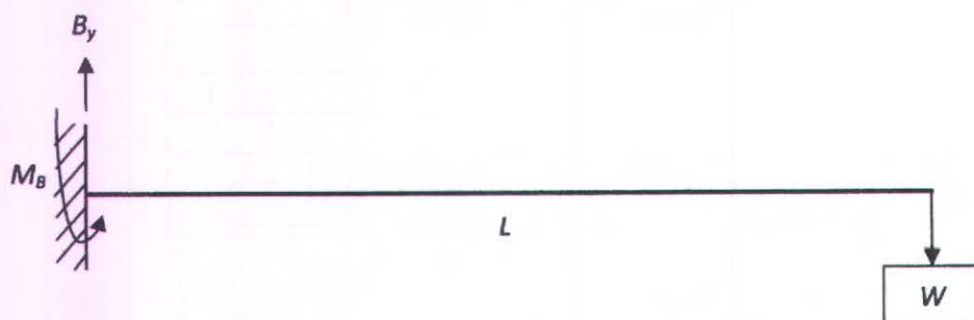
4.3.5.1 Perhitungan Beban Angkat Crane

Sesuai dengan batasan masalah, dalam tugas akhir ini gerakan yang terjadi dari *crane* dan *boom* pada saat operasi serta defleksi dari *crane* diabaikan dan hanya ditinjau beban yang diangkat oleh *crane* saja. Dari beban angkat *crane*, dicari gaya dan momen pada bagian sambungan *crane pedestal* dengan *hull FPSO*.



Gambar 4. 22 Bentuk visualisasi *crane pedestal* FPSO Belanak yang sedang beroperasi

Dari Gambar 4.22 yaitu *crane pedestal* dan *boom* di atas, dibuat *free body diagram* ditunjukkan oleh Gambar 4.23 seperti dibawah ini:



Gambar 4. 23 *Free body diagram* *crane pedestal* FPSO Belanak yang sedang beroperasi

Perhitungan untuk mencari beban dengan massa 5.0ton adalah:

$$W = m \times g$$

$$W = 5 \times 9.81 = 49.1 \text{ kN}$$

Hasil yang didapat dari perhitungan beban angkat *crane* untuk masing-masing beban disajikan dalam Tabel 4.19 berikut ini:

Tabel 4. 19 Beban Angkat *Crane*

Load (T)	W (KN)
5	49.1
10	98.1
20	196.2
30	294.3
40	392.4
50	490.5

Berat dari *crane* sendiri adalah sebesar 251 ton, maka beban *crane* adalah:

$$W = m \times g$$

$$W = 251 \times 9.81 = 2462.3 \text{ kN}$$

Sedangkan luas penampang *pedestal* dengan diameter 5 m dan *thickness* sebesar 50 mm adalah 0.778 m², sehingga untuk *axial load* dari berat *crane* dan beban angkat *crane* selengkapnya disajikan dalam Tabel 4.20 berikut ini:

Tabel 4. 20 *Axial Load Crane*

Load (T)	<i>Axial Load (Crane+Prop.)</i>	
	(N/mm ²)	(N/m ²)
5	3.229	3228561.983
10	3.292	3291619.835
20	3.418	3417735.537
30	3.544	3543851.240
40	3.670	3669966.942
50	3.796	3796082.645

Sedangkan untuk mencari momen dengan beban 49.1KN dengan momen lengan 14.4m adalah:

$$M = W \times l$$

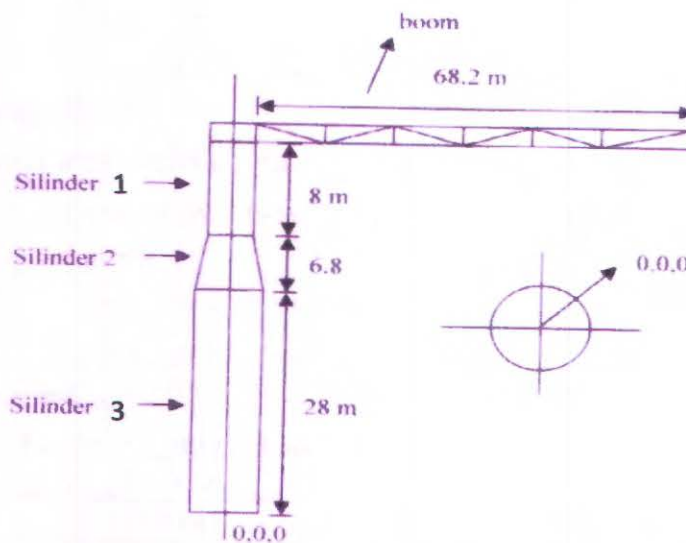
$$W = 49.1 \times 14.4 = 706.3 \text{ kNm}$$

Hasil dari perhitungan momen selengkapnya disajikan dalam Tabel 4.21 berikut ini:

Tabel 4. 21 Momen Akibat Beban Operasional *Crane*

Load (T)	Moment at (KN.m)		
	14.4m RAD	38.4m RAD	62.4m RAD
5	706.3	1883.5	3060.7
10	1412.6	3767.0	6121.4
20	2825.3	7534.1	12242.9
30	4237.9	11301.1	18364.3
40	5650.6	15068.2	24485.8
50	7063.2	18835.2	-

Sedangkan untuk menghitung momen akibat berat dan jarak titik berat *crane pedestal* dan *boom* yang diilustrasikan pada Gambar 4.24 adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 24 Ukuran utama *Crane Pedestal* dan *Boom*

- Posisi titik berat Silinder 1 = 0, 0, 38.8
- Posisi titik berat Silinder 2 = 0, 0, 30.27
- Posisi titik berat Silinder 3 = 0, 0, 14
- Posisi titik berat *boom* = 34.1, 0, 43.55
- Posisi titik berat *winch* = 0, 0, 43.55

Titik Berat *Crane* =

$$X = \frac{(0 \times 170.3824) + (0 \times 33.43) + (0 \times 29.01172) + (34.1 \times 13.8892) + (0 \times 4)}{251}$$
$$= 1.88$$

$$Y = \frac{(0 \times 170.3824) + (0 \times 33.43) + (0 \times 29.01172) + (0 \times 13.8892) + (0 \times 4)}{251}$$
$$= 0$$

$$Z = \frac{(14 \times 170.38) + (30.27 \times 33.43) + (38.8 \times 29.01) + (43.55 \times 13.88) + (43.55 \times 4)}{251}$$
$$= 21.148$$

Sehingga titik tangkap *crane pedestal* dan *boom* adalah pada (1.88, 0, 21.148)

Jadi, momen yang terjadi akibat berat *crane pedestal* dan *boom* adalah $2462.3 \text{ kN} \times 21.148 = 52072.72 \text{ kNm}$.

Dalam satu bulan, *crane* beroperasi selama lebih dari 10 jam, namun tidak lebih dari 50 jam. Sedangkan dalam satu kali operasi, diperkirakan *crane* bekerja selama 10 menit. Sehingga, jika diasumsikan dalam satu bulan *crane* beroperasi selama 40 jam, maka intensitas penggunaan *crane* selama satu bulan dihitung sebagai berikut:

$$40h = 40 \times 60 \text{ min.}$$

$$40h = 2400 \text{ min.}$$

$$2400 \text{ min} / 10 \text{ min} = 240 \text{ kali}$$

Jadi, dalam satu bulan, *crane* beroperasi sebanyak 240kali.

Service life dari FPSO Belanak adalah 30 tahun, maka total penggunaan *crane* selama *service life* adalah: $30 \text{ th} \times 12 \text{ bulan} \times 240 = 86400 \text{ kali}$.

Sedangkan untuk beban operasi *crane*, terlebih dahulu mencari rasio penggunaan *crane* untuk berbagai berat beban yang diangkat. Dari perhitungan sebelumnya, didapat total penggunaan *crane* selama *service life*, yaitu 86.400 kali.

Sedangkan spektrum *crane lift* dari *crane* FPSO Belanak dalam bentuk persentase disajikan dalam Tabel 4.22 sebagai berikut:

Tabel 4. 22 Spektrum Angkat *Crane*

Load (T)	Percentage (%) of Total Number of Cycles at			Total
	14.4m RAD	38.4m RAD	62.4m RAD	
5	16.7	16.7	16.6	50.0
10	11.4	11.3	11.3	34.0
20	3.0	3.0	3.0	9.0
30	1.4	1.3	1.3	4.0
40	0.8	0.8	0.4	2.0
50	0.5	0.5	-	1.0

Sehingga untuk menghitung jumlah siklus beban angkatan crane tiap radius dan tiap beban angkatan, maka dilakukan perhitungan yaitu mengalikan jumlah total penggunaan crane selama 30 tahun dikalikan dengan spectrum angkatan crane untuk tiap radius dan beban angkatan. Contoh untuk perhitungan jumlah siklus kejadian pada radius 14.4 m untuk beban 5 ton :

$$\begin{aligned}
 n_i &= \text{Persentase kejadian} \times \text{Jumlah total kejadian} \\
 &= 16.7\% \times 86400 \\
 &= 14428.8 \text{ kejadian}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan keseluruhan, disajikan dalam Tabel 4.23 berikut ini

Tabel 4. 23 Intensitas Penggunaan *Crane*

Load (T)	Jumlah kejadian siklus tiap radius dan pembebanan			Total
	14.4m RAD	38.4m RAD	62.4m RAD	
5	14428.8	14428.8	14342.4	43200.0
10	9849.6	9763.2	9763.2	29376.0
20	2592.0	2592.0	2592.0	7776.0
30	1209.6	1123.2	1123.2	3456.0
40	691.2	691.2	345.6	1728.0
50	432.0	432.0	-	864.0

4.3.6 Analisis Fatigue

Sebelum melakukan analisis kelelahan, terlebih dahulu mencari tegangan akibat beban-beban yang bekerja pada *crane pedestal scantling* dengan bantuan ANSYS. Tegangan yang digunakan untuk analisis kelelahan merupakan tegangan tertinggi

akibat masing-masing beban yaitu beban inersia akibat beban gelombang, beban angin dan beban operasional crane.

Perhitungan kelelahan dilakukan dengan metode *Palmgren-Miner* yaitu dengan meninjau rasio kerusakan kumulatif (D) akibat beban yang diterima struktur. Dari analisis dengan menggunakan ANSYS 11 didapat tegangan yang timbul pada struktur yang ditinjau.

Jumlah siklus rentang tegangan (N_i) dengan harga S_i yang menyebabkan kegagalan sambungan dapat diperoleh dengan menggunakan kurva S-N dengan jenis sambungan yang sesuai. Harga rentang tegangan juga dapat dicari dengan Persamaan 2.40 seperti di bawah ini.

$$NS^m = A$$

atau

$$\log N = \log A - m \log S$$



Harga A dan m diperoleh dari kurva S-N pada Tabel 2.6. Jenis sambungan antara crane pedestal dengan crane pedestal scantling adalah tipe sambungan B1, maka nilai $\log A$ adalah 12.436 dan nilai m adalah 3.0. Variabel A merupakan intersepsi sumbu log sedangkan variabel m adalah kemiringan sumbu S-N.

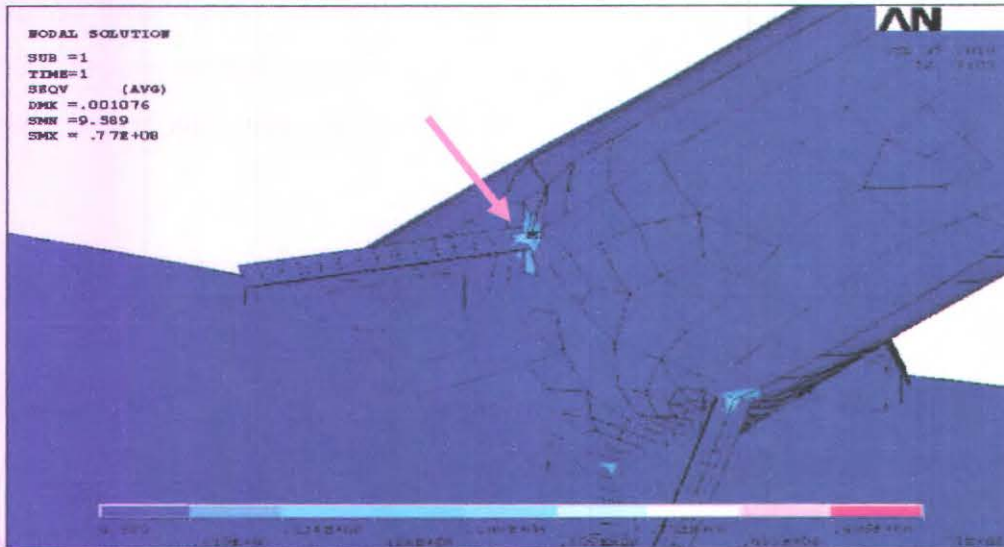
4.3.6.1 Analisis Kelelahan akibat Beban Gelombang

Nilai rasio kerusakan kumulatif (D_{gel}) dapat dicari dengan menggunakan hukum *Palmgren-Miner*, yaitu dengan Persamaan 2.38 di bawah ini:

$$D = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i}$$

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, nilai A dan m disesuaikan dengan jenis sambungan struktur yang ditinjau. Karena sambungan yang ditinjau adalah tipe B1, maka nilai $A = 2.73 \times 10^{12}$ dan nilai $m = 3.0$. Nilai n_i diambil dari jumlah total kejadian gelombang tiap-tiap H_s . Sedangkan nilai S_e diambil dari tegangan terbesar yang terjadi pada *crane pedestal's scantling* akibat beban gelombang tiap

H_s . Tegangan terbesar yang dihasilkan adalah 77.59 MPa. Letak dari tegangan tertinggi akibat beban gelombang dapat ditunjukkan pada Gambar 4.24 di bawah ini.



Gambar 4. 25 Letak tegangan terbesar

Perhitungan kelelahan akibat beban gelombang ditampilkan pada Tabel 4.24 di bawah ini:

Tabel 4. 24 Perhitungan Kelelahan akibat Beban Gelombang

H_s	S_{gel}	n_i	N_i	D_{gel}
0.27	68.59	93,350,538	8.46E+08	1.10E-01
0.54	68.63	71,519,354	8.44E+08	8.47E-02
0.81	68.89	31,774,805	8.35E+08	3.81E-02
1.08	69.57	13,717,908	8.10E+08	1.69E-02
1.34	70.35	6,707,238	7.84E+08	8.56E-03
1.61	71.06	3,461,658	7.60E+08	4.55E-03
2.15	72.18	2,802,540	7.26E+08	3.86E-03
2.69	73.18	772,997	6.96E+08	1.11E-03
3.23	74.07	197,245	6.72E+08	2.94E-04
3.76	74.93	45,165	6.49E+08	6.96E-05
4.30	75.77	9,160	6.27E+08	1.46E-05
4.84	76.58	1,643	6.08E+08	2.70E-06
5.51	77.59	281	5.84E+08	4.81E-07
$\Sigma n_i =$		224,360,532	$\Sigma D =$	2.69E-01

Dari tabel di atas, maka nilai rasio kerusakan kumulatif akibat beban gelombang adalah sebesar 0.269.

4.3.6.2 Analisis Kelelahan akibat Beban Angin

Frekuensi dari *vortex shedding* f dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$f = \frac{S_N V}{D}$$

dengan: f = frekuensi *vortex shedding* (Hz)

V = kecepatan angin (m/s)

D = diameter struktur (m)

S_N = Strouhal number

Untuk struktur silinder $S_N = 0.2$ jika $R_n < 6 \times 10^5$ dan $S_N = 0.4$ jika $R_n > 6 \times 10^5$ (Hsu, 1984)

contoh perhitungan *vortex shedding* untuk silinder 1 pada kecepatan 11.64

$$f = \frac{0.2 \times 11.64}{3} = 0.939$$

Sedangkan untuk hasil perhitungan keseluruhan untuk tiap ketinggian dan kecepatan angin disajikan dalam Tabel 4.25 berikut ini :

Tabel 4. 25 Frekuensi *vortex shedding* untuk tiap detik

velocity	Frequency of Vortex Shedding (cps)		
	Equipment w/ Height (m)		
	19.4	30.1	37.9
0.00	0.000	0.000	0.000
1.94	0.085	0.114	0.156
3.88	0.171	0.227	0.313
5.82	0.256	0.341	0.469
7.76	0.341	0.454	0.626
9.70	0.427	0.568	0.782
11.64	0.512	0.681	0.939

Karena frekuensi *vortex shedding* yang dihitung masih dalam satuan sekon, sedangkan analisa dilakukan untuk data 30 tahun, maka frekuensi *vortex shedding* dikonversi menjadi satuan 30 tahun (kejadian angin tiap-tiap kecepatan selama 30 tahun).

Tabel 4. 26 Jumlah Kejadian Angin selama 2 tahun

ARAH	KECEPATAN ANGIN (knot) (nominal)							Jumlah
	CALM	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10 - 12	13 - 15	>16	
	9744	0	0	0	0	0	0	9744
N	0	0	192	720	888	480	120	2400
NW	0	0	24	120	24	0	0	168
W	0	24	168	360	120	0	0	672
SW	0	72	48	312	168	48	0	648
S	0	0	168	624	456	72	24	1344
SE	0	0	72	240	72	0	0	384
E	0	24	312	336	24	0	0	696
NE	0	0	480	744	144	96	0	1464
	9744	120	1464	3456	1896	696	144	17520

Dari data angin selama 2 tahun pada Tabel 4.26, kemudian dilakukan perhitungan probabilitas untuk tiap-tiap kecepatan. Contoh perhitungan probabilitas kejadian untuk kecepatan calm:

$$9744/17520 = 0.556$$

Untuk selanjutnya dilakukan perhitungan untuk semua kecepatan dan hasilnya disajikan dalam Tabel 4.27 berikut ini:

Tabel 4. 27 Probabilitas Kejadian Angin

ARAH	Probabilitas kejadian angin							Jumlah
	CALM	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10 - 12	13 - 15	>16	
	0.556	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.556
N	0.000	0.000	0.011	0.041	0.051	0.027	0.007	0.137
NW	0.000	0.000	0.001	0.007	0.001	0.000	0.000	0.010
W	0.000	0.001	0.010	0.021	0.007	0.000	0.000	0.038
SW	0.000	0.004	0.003	0.018	0.010	0.003	0.000	0.037
S	0.000	0.000	0.010	0.036	0.026	0.004	0.001	0.077
SE	0.000	0.000	0.004	0.014	0.004	0.000	0.000	0.022
E	0.000	0.001	0.018	0.019	0.001	0.000	0.000	0.040
NE	0.000	0.000	0.027	0.042	0.008	0.005	0.000	0.084
Probabilitas	0.556	0.00685	0.08356	0.19726	0.10822	0.03973	0.00822	1.000

Setelah diketahui probabilitas kejadian angin untuk masing-masing kecepatan, maka kemudian dilakukan konversi kejadian angin dari selama detik menjadi selama 30 tahun dengan persamaan sebagai berikut:

$$f_{30 \text{ tahun}} = f_{1 \text{ detik}} \times 3600 \times 24 \times 365 \times \text{Probability } 30 \text{ tahun} \times 15$$

contoh perhitungan frekuensi vortex shedding pada silinder 1 untuk kecepatan angin 11.64 m/s

$$\begin{aligned} f_{30 \text{ tahun}} &= 0.939 \times 3600 \times 24 \times 365 \times 0.10822 \times 15 \\ &= 3.650.000 \text{ kejadian} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan pada ketinggian dan kecepatan yang lain disajikan dalam Tabel 4.28 berikut ini:

Tabel 4. 28 Frekuensi *vortex shedding* untuk 30 tahun

velocity	Frequency of Vortex Shedding (cpy)		
	Equipment w/ Height (m)		
	19.4	30.1	37.9
0.00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1.94	2.76E+05	3.68E+05	5.07E+05
3.88	6.75E+06	8.98E+06	1.24E+07
5.82	2.39E+07	3.18E+07	4.38E+07
7.76	1.75E+07	2.33E+07	3.20E+07
9.70	8.02E+06	1.07E+07	1.47E+07
11.64	1.99E+06	2.65E+06	3.65E+06

Nilai ini yang kemudian akan digunakan sebagai data siklus angin pada perhitungan fatigue, sedangkan untuk input software ANSYS adalah gaya (force) dan momen akibat gaya angin dari tiap ketinggian pada setiap kecepatan sehingga didapatkan tegangan pada struktur.

Tabel 4.29 menunjukkan perhitungan rasio kerusakan kumulatif akibat beban angin:

Tabel 4. 29 Perhitungan rasio rasio kumulatif kerusakan akibat beban angin

Ketinggian	S_{angin}	n_i	N_i	D_{angin}
19.4m	-	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.002	2.76E+05	7.23E+20	3.82E-16
	0.006	6.75E+06	1.13E+19	5.97E-13
	0.014	2.39E+07	9.92E+17	2.41E-11
	0.025	1.75E+07	1.77E+17	9.90E-11
	0.039	8.02E+06	4.63E+16	1.73E-10
	0.056	1.99E+06	1.55E+16	1.28E-10
30.1m	-	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.001	3.68E+05	3.11E+21	1.18E-16
	0.004	8.98E+06	4.86E+19	1.85E-13
	0.009	3.18E+07	4.26E+18	7.46E-12
	0.015	2.33E+07	7.59E+17	3.06E-11
	0.024	1.07E+07	1.99E+17	5.36E-11
	0.034	2.65E+06	6.66E+16	3.98E-11
37.9m	-	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.001	5.07E+05	3.42E+21	1.48E-16
	0.004	1.24E+07	5.34E+19	2.32E-13
	0.008	4.38E+07	4.69E+18	9.34E-12
	0.015	3.20E+07	8.35E+17	3.84E-11
	0.023	1.47E+07	2.19E+17	6.72E-11
	0.033	3.65E+06	7.33E+16	4.98E-11
	$\Sigma n_i =$	2.43E+08	$\Sigma D =$	7.22E-10

Dari tabel di atas dapat diketahui jumlah rasio kerusakan kumulatif akibat beban angin (D_{angin}) sebesar 0.000000000722.

4.3.6.3 Analisis Kelelahan akibat Beban Angkat Crane

Tabel 4.30 menunjukkan perhitungan rasio kerusakan kumulatif akibat beban angkat crane yaitu:

Tabel 4. 30 Perhitungan rasio kumulatif kerusakan akibat beban angkat crane

Distance	W	S _i	n _i	N _i	n _i / N _i
14.4m RAD	49100.00	30.54	14428.8	9.58E+07	1.51E-04
	98200.00	44.07	9849.6	3.19E+07	3.09E-04
	196400.00	63.76	2592.0	1.05E+07	2.46E-04
	294600.00	64.04	1209.6	1.04E+07	1.16E-04
	392800.00	73.04	691.2	7.00E+06	9.87E-05
	491000.00	133.8	432.0	1.14E+06	3.79E-04
38.4m RAD	49100.00	35.12	14428.8	6.30E+07	2.29E-04
	98200.00	45	9763.2	2.99E+07	3.26E-04
	196400.00	70.25	2592.0	7.87E+06	3.29E-04
	294600.00	77.35	1123.2	5.90E+06	1.90E-04
	392800.00	84.21	691.2	4.57E+06	1.51E-04
	491000.00	141.6	432.0	9.61E+05	4.49E-04
62.4m RAD	49100.00	34	14342.4	6.94E+07	2.07E-04
	98200.00	59.54	9763.2	1.29E+07	7.55E-04
	196400.00	79.4	2592.0	5.45E+06	4.75E-04
	294600.00	102.5	1123.2	2.53E+06	4.43E-04
	392800.00	204	345.6	3.21E+05	1.08E-03
		Σn_i	86400.0	$\Sigma D =$	5.93E-03

Dari tabel di atas, maka nilai rasio kerusakan kumulatif akibat beban angkat crane adalah sebesar 0.00593.

4.3.6.4 Analisis Kelelahan Total

Setelah didapat tiga rasio kerusakan (*D*) akibat beban gelombang, beban angin dan beban operasional, maka tiga nilai rasio kerusakan tersebut dijumlahkan untuk mendapatkan nilai rasio kerusakan kumulatif total.

Nilai dari D_{total} adalah:

$$\Sigma D = D_{wave} + D_{wind} + D_{operational}$$

$$\sum D = 0.269 + 0.000000000722 + 0.00593$$

$$\sum D = 0.2749$$

Formulasi umur kelelahan dari suatu struktur dapat dihitung dengan membagi lama rekaman data beban yang diterima FPSO Belanak, yaitu selama 30 tahun dengan nilai D .

Jadi umur kelelahan dari struktur tersebut adalah:

$$\frac{30}{D} = 109.309 \text{ tahun}$$

Service life dari FPSO Belanak adalah 30 tahun. Dengan umur kelelahan 109.309 tahun, maka perhitungan umur kelelahan (*fatigue*) ini memiliki nilai *safety factor* (SF) sebesar:

$$\frac{109.309}{30} = 3.644$$

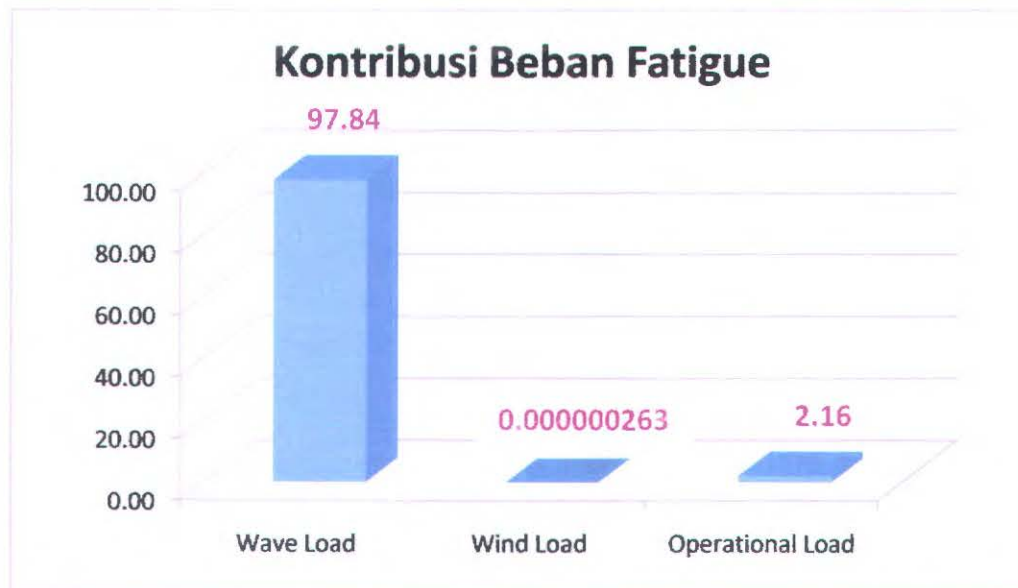
Jadi nilai *safety factor* (SF) dari struktur *crane pedestal's scantling* FPSO Belanak adalah 3.64.

Dari hasil analisis, dapat diketahui besarnya pengaruh beban gelombang, beban angin dan beban operasional terhadap umur kelelahan dari *crane pedestal scantling* FPSO Belanak. Besarnya pengaruh beban-beban tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.31 berikut:

Tabel 4. 31 Kontribusi ketiga beban terhadap kelelahan

Beban	Kontribusi (dalam persen)
Gelombang	97.83896281
Angin	2.63022E-07
Operasional	2.161036929

Dari data pada Tabel 4.31, maka dapat ditransformasikan menjadi sebuah histogram seperti pada Gambar 4.25 berikut:



Gambar 4. 26 Histogram Kontribusi Beban Kelelahan (dalam persen)

4.3.7 Analisis Keandalan

4.3.7.1 Keandalan Struktur Secara Global

Dalam proses analisis keandalan, terdapat faktor-faktor ketidakpastian yaitu variabilitas fisik atau fenomena alami yang sifatnya acak, ketidakpastian statistik dalam perkiraan nilai parameter atau pemilihan distribusi, dan ketidakpastian dalam permodelan yang didasarkan pada idealisasi atau pengambilan asumsi. Untuk mengatasi masalah ini, maka digunakan *safety factor*.

Untuk variabel taktentu, maka terlebih dahulu akan dilakukan random generate untuk mengetahui distribusi data. Setelah mendapatkan distribusi data, selanjutnya melakukan perhitungan pada persamaan moda kegagalan sehingga akan memperoleh nilai Pof (*Probability of Failure*) dalam proses analisa keandalan dengan simulasi *Monte Carlo*.

Tabel 4.32 sampai dengan Tabel 4.34 berisi variabel taktentu yang diperoleh dari perhitungan fatigue masing-masing beban untuk menghitung keandalan *crane pedestal's scantling* secara global

Tabel 4. 32 Variabel taktentu Beban Gelombang

Variabel	Mean	Covarian	Distribution Type
N_L	2.24×10^8	0.05	Log-Normal
A	2.73×10^{12}	0.31	Log-Normal
m	3	0.03	Normal
Se	76.65	0.2	Log-Normal
ξ	1.1	0.05	Log-Normal

Nilai Se pada Tabel 4.32 adalah rata-rata dari 3 tegangan paling besar akibat beban gelombang, N_L adalah jumlah kejadian gelombang, sedangkan ξ adalah nilai parameter bentuk (untuk srtuktur bangunan laut berkisar antara 0.9 – 1.1)

Tabel 4. 33 Variabel taktentu Beban Angin

Variabel	Mean	Covarian	Distribution Type
N_L	2.43E+08	0.05	Log-Normal
A	2.73×10^{12}	0.3	Log-Normal
m	3	0.025	Normal
Se	0.04314505	0.22	Log-Normal
ξ	1.1	0.049	Log-Normal

Nilai Se pada Tabel 4.33 adalah rata-rata dari 3 tegangan paling besar akibat beban angin dan N_L adalah jumlah kejadian angin.

Tabel 4. 34 Variabel taktentu Beban Operasional

Variabel	Mean	Covarian	Distribution Type
N_L	86400	0.051	Log-Normal
A	2.73×10^{12}	0.33	Log-Normal
m	3	0.03	Normal
Se	143.133333	0.2	Log-Normal
ξ	1.1	0.05	Log-Normal

Nilai Se pada Tabel 4.34 adalah rata-rata dari 3 tegangan paling besar akibat beban operasional dan N_L adalah jumlah angkatan *crane* selama operasi

Perhitungan Keandalan dilakukan dengan menggunakan metode simulasi *Monte Carlo* dengan moda kegagalan:

$$f(x) = \Delta - (D_{wave} + D_{wind} + D_{opr})$$

$$f(x) = \Delta - \left(\sum_{n=1}^3 \frac{N_{Ln}}{A} \frac{Se_n^m}{(\ln N_{Ln})^{\frac{m}{\xi_n}}} \Gamma \left(1 + \frac{m}{\xi_n} \right) \right)$$

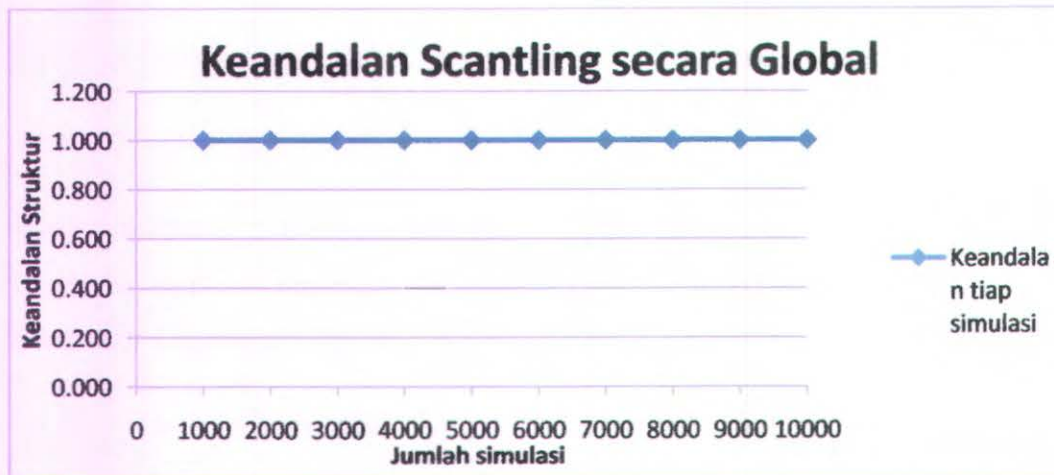
Struktur akan gagal jika nilai $MK \leq 0$, sebaliknya struktur dikatakan sukses apabila $MK > 0$. Nilai Δ merupakan *damage limit* dengan besarnya adalah 1. Sedangkan nilai D_{total} merupakan *cumulative damage* akibat ketiga beban yang mengenai struktur.

Dengan menggunakan bantuan *software* Minitab, dari data Se masing-masing tersebut dapat dihasilkan *random generate* dengan distribusi Log-normal. Nilai-nilai hasil *random generate* sebanyak 10000 data kemudian dimasukkan ke persamaan *closed form* untuk menghasilkan nilai D hasil simulasi. Untuk hasil simulasi, disajikan secara lengkap pada Tabel 4.35 sebagai berikut:

Tabel 4. 35 Perhitungan keandalan sistem scantling (global)

Σ iterasi	Σ sukses	Σ gagal	<i>Pof</i>	<i>k</i>
1000	1000	0	0.000	1.000
2000	2000	0	0.000	1.000
3000	3000	0	0.000	1.000
4000	4000	0	0.000	1.000
5000	5000	0	0.000	1.000
6000	6000	0	0.000	1.000
7000	7000	0	0.000	1.000
8000	8000	0	0.000	1.000
9000	9000	0	0.000	1.000
10000	10000	0	0.000	1.000

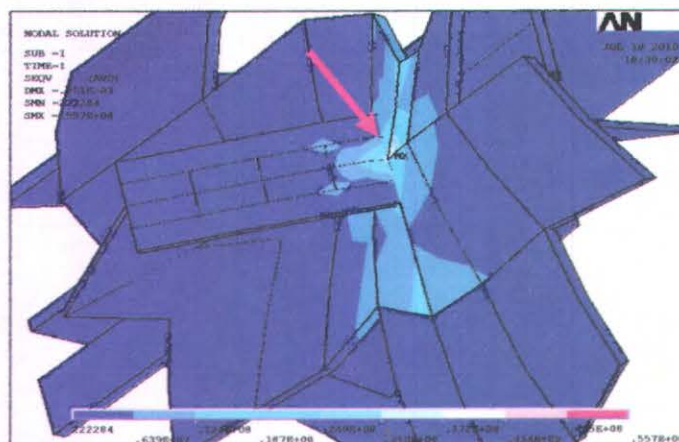
Dari Tabel 4.35 di atas maka dapat dibuat grafik keandalan untuk tiap simulasi seperti pada Gambar 4.26 berikut :



Gambar 4. 27 Grafik keandalan untuk tiap simulasi pada system scantling secara global

4.3.7.2 Keandalan Struktur pada Daerah Kritis

Analisa keandalan struktur pada daerah kritis menggunakan metode yang sama dengan analisa keandalan pada *scantling* secara global, akan tetapi terdapat perbedaan pada salah satu variabel taktentu, yaitu pada tegangan akibat beban gelombang, hal ini terjadi karena yang ditinjau adalah daerah kritis sehingga mempunyai tegangan yang lebih besar. Gambar 4.27 menunjukkan kontur tegangan pada daerah kritis hasil dari *running software* ANSYS sebagai berikut:



Gambar 4. 28 Kontur Tegangan pada Daerah Kritis

Tabel 4.36 berisi variabel taktentu untuk kondisi beban gelombang daerah kritis yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 36 Variabel taktentu daerah kritis akibat beban gelombang

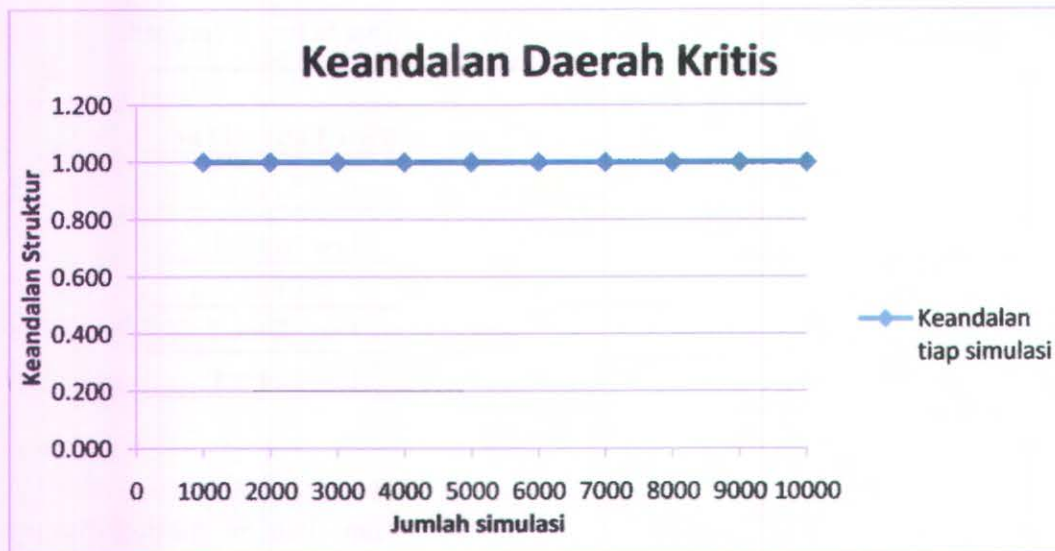
Variabel	Mean	Covarian	Distribution Type
N_L	2.24×10^8	0.05	Log-Normal
A	2.73×10^{12}	0.31	Log-Normal
m	3	0.03	Normal
Se	110.934	0.2	Log-Normal
ξ	1.1	0.05	Log-Normal

Dengan menggunakan bantuan software Minitab, dari data Se masing-masing tersebut dapat dihasilkan *random generate* dengan distribusi Log-normal. Nilai-nilai hasil random generate sebanyak 10000 data kemudian dimasukkan ke persamaan *closed form* untuk menghasilkan nilai D hasil simulasi. Untuk hasil simulasi, disajikan secara lengkap pada Tabel 4.37 sebagai berikut:

Tabel 4. 37 Perhitungan keandalan scantling daerah kritis

Σ iterasi	Σ sukses	Σ gagal	Pof	k
1000	1000	0	0.000	1.000
2000	2000	0	0.000	1.000
3000	3000	0	0.000	1.000
4000	4000	0	0.000	1.000
5000	5000	0	0.000	1.000
6000	6000	0	0.000	1.000
7000	7000	0	0.000	1.000
8000	8000	0	0.000	1.000
9000	9000	0	0.000	1.000
10000	10000	0	0.000	1.000

Dari Tabel 4.37 di atas maka dapat dibuat grafik keandalan untuk tiap simulasi seperti pada Gambar 4.28 berikut :



Gambar 4. 29 Grafik keandalan untuk tiap simulasi pada system scantling daerah kritis

Dari Tabel 4.35 dan Tabel 4.37 di atas dapat diketahui bahwa *crane pedestal's scantling* FPSO Belanak baik secara global maupun pada daerah kritis memiliki keandalan 1.0.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari kajian yang telah dilakukan terhadap *crane pedestal's scantling* FPSO Belanak dengan menggunakan metode, perangkat dan permodelan sebagaimana yang telah dijelaskan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Beban yang berpengaruh pada analisis umur kelelahan *crane pedestal's scantling* FPSO Belanak adalah beban gelombang, beban angin dan beban operasional atau beban angkat *crane* itu sendiri. Kontribusi beban terhadap umur kelelahan *crane pedestal's scantling* FPSO Belanak disebabkan oleh beban gelombang yakni sebesar 97.84% dengan tegangan maksimum 77.59MPa, beban operasional atau beban angkat *crane* memiliki kontribusi sebesar 2.16% dengan tegangan maksimum 204MPa, sedangkan beban angin memiliki kontribusi paling kecil dari total pengaruh beban yang menyebabkan kelelahan, yakni 0.000000269% dengan tegangan maksimum 0.056MPa.
2. Umur kelelahan dari *crane pedestal scantling* FPSO Belanak adalah 109.309 tahun atau 3.644 kali umur operasi. Hal ini telah memenuhi kriteria DNV RP C206 yang mensyaratkan *safety factor* 3, karena untuk memenuhi kriteria tersebut, umur kelelahan dari *crane pedestal scantling* FPSO Belanak harus lebih dari 90 tahun.
3. Keandalan terhadap beban kelelahan dari *crane pedestal scantling* FPSO Belanak baik secara global maupun pada daerah kritis adalah sebesar 1.0.

5.2 Saran

Dari hasil kajian yang telah dilakukan dalam tugas akhir ini, maka saran yang dapat diberikan untuk penyempurnaan penelitian selanjutnya adalah:

1. Daerah yang kritis adalah pada sambungan antara *crane pedestal* dengan *bracket*, sehingga pada daerah tersebut perlu mendapatkan perhatian lebih dan inspeksi lebih lanjut meskipun dari perhitungan keandalan, daerah tersebut mempunyai keandalan 1.0.

2. Melakukan analisa lebih detail dengan memperhatikan jenis las yang digunakan dalam sambungan.
3. Dengan keandalan 1.0, maka pada struktur *crane pedestal's scantling* dapat dilakukan *resizing* (tebal plat, diameter, dan ukuran lain) untuk mendapatkan dimensi yang paling optimum sesuai dengan keandalan yang dikehendaki (masih andal untuk dioperasikan berdasarkan umur desainnya).

DAFTAR PUSTAKA

- Ang, H.S. dan W.H. Tang. 1985. "*Probability Concepts In Engineering Planning And Design*". New York.
- API Specification 2C 5th Edition, 1995, "*Specification for Offshore Cranes*", USA.
- Baker M.J. dan T.A. Wyatt. 1979. "Methods of Reliability Analysis for Jacket Platform". *Journal of Behaviour of Offshore Structures*.
- Barltrop, N., dan Okan, B., 2000, "*FPSO Bow Damage in steep waves*", Rogue waves 2000 workshop, Brest.
- Bhattacharyya, R. 1978. "*Dynamic of Marine Vehicles*". John Wiley and Sons Inc., New York.
- Boonstra, H., Gelder, P., dan Shabakhty, N., 2002, "*Reliability Analysis of Jack-Up Platforms Based On Fatigue Degradation*", Proceedings of OMAE'02, Norway.
- Chakrabarti, S. K., 1987, "*Hydrodynamics of Offshore Structures*", Computational Mechanics Publications Southampton, Boston, USA.
- Dawson, Thomas H., 1983, "*Offshore Structural Engineering*", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Djarmiko, E. B., 2003a, "*Fatigue Analysis*", Kursus Singkat Offshore Structure Design And Modelling, Surabaya.
- Djarmiko, E.B., dan Sujantoko, 1994, "*Investigasi Gelombang Laut Perairan Indonesia Untuk Kepentingan Strategis Nasional*", Surabaya
- DnV Recommended Practice C203, 2008, "*Fatigue Design of Offshore Steel Structures*", Norway.
- DnV Recommended Practice C205, 2007, "*Environmental Condition and Environmental Loads*", Norway.
- DnV Recommended Practice C206, 2006, "*Fatigue Methodology of Offshore Ships*", Norway.

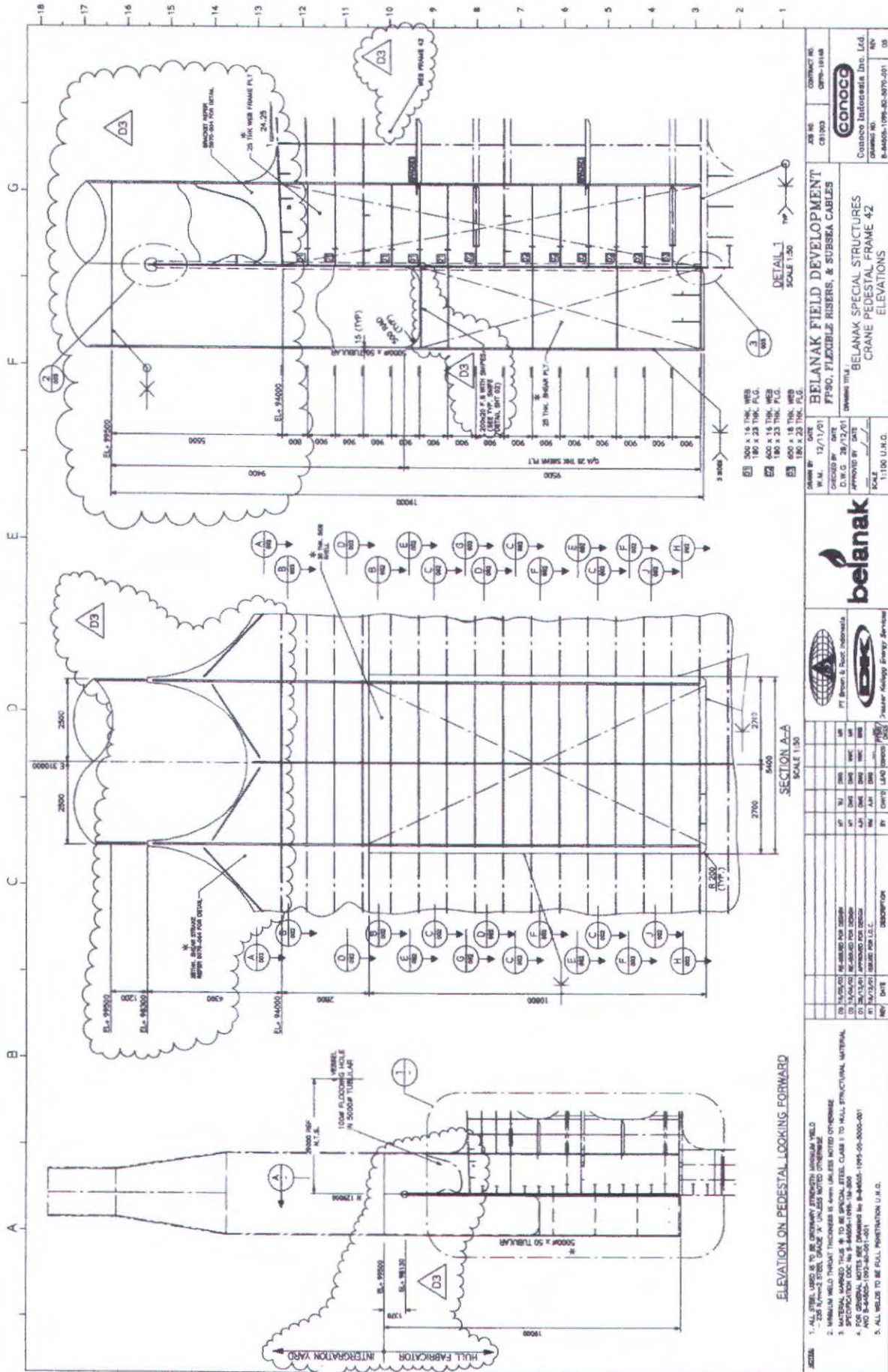
- Faltinsen, O. M., 1990, *"Sea Loads On Ship and Offshore Structure"*. Cambridge, UK:Cambrisse University Press.
- Fiskisetya, M., 2009, *"Analisa Fatigue Fracture Mechanics pada Flexible Riser FPSO Belanak"*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya.
- Hasselmann, K. et al, 1973, *"Measurement of Wind-Wave Growth and Swell Decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)"*, Deutschen Hydrographischen Zeitschrift, Ergänzunscheft, vol. 13.
- Hsu, Teng H., 1984, *"Applied Offshore Structural Engineering"*, Houston
<http://www.conocophillips.com>, 20 Maret 2010
<http://www.scribd.com/doc/3161646/Data-Angin-Natuna>, 17 Juli 2009.
- Langen, I., dan Than, T. K., 2003, *"Simulation of Dynamic Behaviour of a FPSO Crane"*, Stavanger University College, Stavanger.
- Martins, Marcelo R., 2007, *"Inertial and Hydrodynamic Inertia Loads on Floating Unit"*, Sao Paulo.
- Mouselli, A.H, 1981, *"Offshore Pipelines Design Analysis and Methods."* Oklahoma: PenWell Books.
- Naess, A., 1985, *"Fatigue Handbook Offshore Steel Structure"*, Trondheim.
- Peurifoy, R. L., 1996, *"Construction Planning, Equipment, and Methods 5th Edition"*, The McGraw-Hill Companies, New York.
- PT. McDermott, 2010, *"Presentasi Seminar OCEANO 2010"*, Surabaya.
- Rosyid, D.M. 2007. *"Pengantar Rekayasa Keandalan"*. Airlangga University Press. Surabaya.
- Shimamura, Y. 2002. "FPSO/FSO: State of the art". *Journal of Marine Science and Technology*. Tokyo
- Soedjono, J.J., 1989, *"Diktat Kuliah Perencanaan Sistem Bangunan Laut I"*, Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya.

- Wahyudi, Y. A., 2009, "*Analisis Fatigue pada Crane Pedestal Floating Production Storage And Offloading (FPSO) Belanak*", Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya.
- Wirching, P. H., dan Chen, Y. N., 1987, "*Considerations of Probability-Based Fatigue Design for Marine Structures*", SNAME, One World Trade Center, Suite 1369, New York.
- Woodgroup Buletin, 2009, "*Kaji Ulang yang Mendalam Terhadap Pengalaman Wood Group dengan FPSO.*" Woodnews.

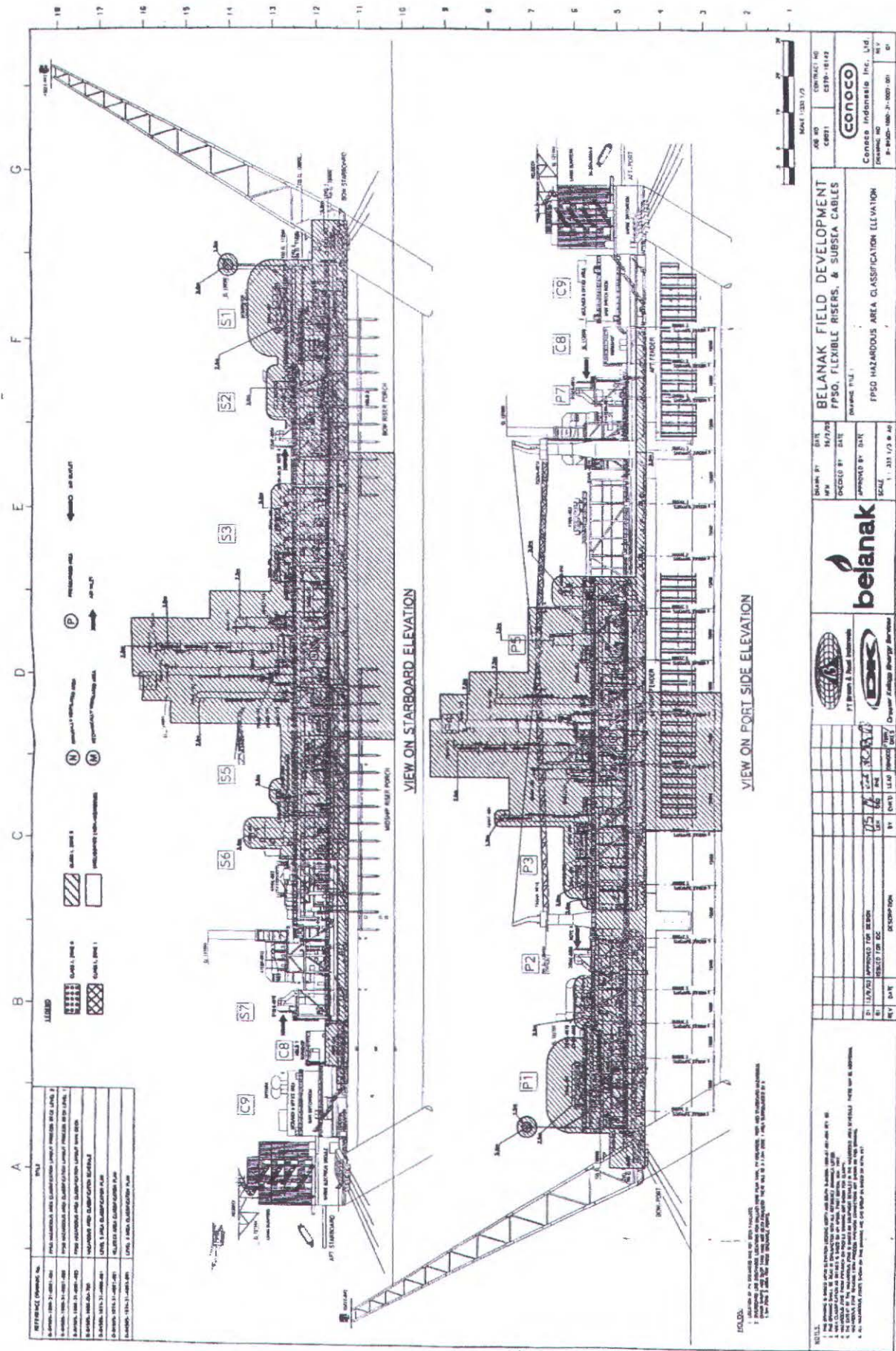
LAMPIRAN A

DRAWING

Crane Pedestal's Scantling FPSO Belanak



FPSO Belanak



CONTRACT NO. C891-1142	DATE 14/7/02
CONTRACT NO. P-8402-000-21-0001-001	DATE 14/7/02

CONOCO
CONOCO Indonesia Inc. (I.I.)
Contract No. P-8402-000-21-0001-001

SCALE: 1:333 1/3

BELANAK FIELD DEVELOPMENT
FPSO, FLEXIBLE RISERS, & SUBSEA CABLES

APPROVED BY: [Signature]

DATE: 14/7/02

SCALE: 1:333 1/3



DATE	BY	CHKD BY	APPD BY	DESCRIPTION
14/7/02	[Signature]	[Signature]	[Signature]	ISSUE FOR CONSTRUCTION

NOTES:

1. See drawings for details of riser and subsea cable.
2. All dimensions are in meters unless otherwise stated.
3. All dimensions are to the centerline of the riser or cable.
4. All dimensions are to the centerline of the riser or cable.
5. All dimensions are to the centerline of the riser or cable.
6. All dimensions are to the centerline of the riser or cable.

LAMPIRAN B

INPUT ANALISIS DENGAN MOSES

Input data FPSO Belanak pada pemodelan dengan Moses 7

```

$ =====
$
$                               F P S O  B E L A N A K  M O D E L
$                               Final Project
$                               Department of Ocean Engineering - ITS
$
$ Title       : Keandalan Crane Pedestal's Scantling FPSO Belanak terhadap Beban Kelelahan
$
$ Name : Dhani Trie Prasetyo
$ NRP  : 4305 100 054
$
$ =====
$
$ ===== BASIC PARAMETERS
$
&DIMENSION -SAVE -DIMEN METERS M-TONS
$
$ ===== DEFINE FPSO BELANAK
$
&DESCRIBE -BODY belanak
PGEN -PERM 1.0 -DIFTYP STRIP
PLANE      0.000 -cart      0.000  27.000  \
          3.000  27.000  \
          4.750  27.000  \
          6.000  26.948  \
          7.500  26.887  \
          9.000  26.825  \
          10.500 26.763  \
          12.000 26.701  \
          14.000 26.619  \
PLANE      4.833 -cart      0.000  18.000  \
          6.000  18.000  \
          9.000  18.000  \
          12.000 18.000  \
          14.000 18.000  \
          15.000 19.831  \
          15.638 21.000  \
          18.000 25.425  \
          18.603 26.429  \
PLANE      14.500 -cart      0.000   0.000  \
          6.000   0.000  \
          9.000   0.000  \
          12.000   0.000  \
          14.000   0.000  \
          15.000   1.830  \
          18.000   7.324  \
          23.121  16.700  \
          28.228  26.032  \
PLANE      15.287 -cart      0.000   0.000  \
          6.000   0.000  \
          9.000   0.000  \
          12.000   0.000  \
          14.801   0.000  \
          18.000   5.858  \
          21.000  11.351  \
          23.921  16.700  \
          29.000  26.000  \
PLANE      29.250 75.000 142.500 210.000 255.750  \
          -cart 0.000   0.000  \
          26.470   0.000  \
          27.125   0.086  \
          27.735   0.339  \
          28.259   0.741  \
          28.661   1.265  \
          28.914   1.875  \
          29.000   2.530  \
          29.000  26.000  \
PLANE      269.713 -cart      0.000   0.000  \
          6.000   0.000  \
          9.000   0.000  \
          12.000   0.000  \
          14.801   0.000  \
          18.000   5.858  \
          21.000  11.351  \
          23.921  16.700  \
          29.000  26.000  \
PLANE      270.500 -cart      0.000   0.000  \
          6.000   0.000  \
          9.000   0.000  \
          12.000   0.000  \
          14.000   0.000  \
          15.000   1.830  \
          18.000   7.324  \
          23.121  16.700  \
          28.228  26.032  \
PLANE      280.167 -cart      0.000  18.000  \

```

```
6.000 18.000 \  
9.000 18.000 \  
12.000 18.000 \  
14.000 18.000 \  
15.000 19.831 \  
15.638 21.000 \  
18.000 25.425 \  
18.603 26.429 \  
PLANE      285.000 -cart  0.000 27.000 \  
3.000 27.000 \  
4.750 27.000 \  
6.000 26.948 \  
7.500 26.887 \  
9.000 26.825 \  
10.500 26.763 \  
12.000 26.701 \  
14.000 26.619
```

```
END PGEN  
$  
&DIMENSION      -REMEMBER  
$  
$ ===== ALL DONE  
$  
$
```

Input analisis RAO dan Max. Acc. pada FPSO Belanak dengan Moses 6 pada Heading arah 0°

```

=====
$
$
$          F P S O  B E L A N A K  M O D E L
$                   Final Project
$       Department of Ocean Engineering - ITS
$
$ Title       : Keandalan Crane Pedestal's Scantling FPSO Belanak terhadap Beban Kelelahan
$
$ Name : Dhani Trie Prasetyo
$ NRP  : 4305 100 054
$
=====
$
$                   R           A           O
$
=====
$
$                   ===== BASIC PARAMETERS
$
&DIMEN -DIMEN METERS M-TONS
&DEVICE -DECHO NO -QUERY NO -PRIMARY DEVICE -AUXIN belanak.dat
&TITLE Response Amplitude Operators and Wave Drift Force on FPSO Belanak
$
$
$
$
=====
$
$                   ===== READ MODEL =====
$
$
&SET arah           = 0
&SET iterasi        = 1e3
&SET draft          = 13.9
$
INMODEL
$
$
$
$
$
$
$                   ===== SET INITIAL CONDITION
$
&INSTATE -CONDITION %draft%
$
$
$                   ===== PLOT MODEL
$
&PLTMODEL VESSEL
  PIC ISO
  PIC SIDE
  PIC TOP
END
$
$
$                   ===== COMPUTE WEIGHT FOR CONDITION
$
&WEIGHT -COMPUTE belanak      0.8*%draft%      0.32*58 0.29*285 0.29*285
$
&EQUI -iter_max %iterasi%
&status b_w hard
&status F_connect
&status force
&dcptime Time for Equilibrium
$
$
$                   ===== FREQUENCY DOMAIN
$
HYDRODYNAMICS
  g_pressure fpso -heading %arah%
  V_MDRIFT
  REPORT
END
$
$
$                   ===== ENVIRONMENTAL LOAD
$
&set gma      = 2.5      $gamma
$
&env sea_1 -depth 90 -sea jonswap %arah% 0.27           5.25/1.2958 %gma% \
  -wind 19.6 %arah% \
  -current 0.5 %arah%
&env sea_2 -depth 90 -sea jonswap %arah% 0.54           6.25/1.2958 %gma% \
  -wind 22.4 %arah% \
  -current 0.5 %arah%
&env sea_3 -depth 90 -sea jonswap %arah% 0.81           7.37/1.2958 %gma% \
  -wind 28 %arah% \
  -current 0.5 %arah%
&env sea_4 -depth 90 -sea jonswap %arah% 1.08           8.64/1.2958 %gma% \
  -wind 19.6 %arah% \
  -current 0.5 %arah%
&env sea_5 -depth 90 -sea jonswap %arah% 1.34           9.57/1.2958 %gma% \
  -wind 22.4 %arah% \
  -current 0.6 %arah%

```

```

&env sea_6 -depth 90 -sea jonswap %arah% 1.61 10.18/1.2958 %gma% \
-wind 28 %arah% \
&env sea_7 -depth 90 -sea jonswap %arah% 2.15 10.79/1.2958 %gma% \
-wind 19.6 %arah% \
&env sea_8 -depth 90 -sea jonswap %arah% 2.69 11.31/1.2958 %gma% \
-wind 22.4 %arah% \
&env sea_9 -depth 90 -sea jonswap %arah% 3.23 11.69/1.2958 %gma% \
-wind 28 %arah% \
&env sea_10 -depth 90 -sea jonswap %arah% 3.76 11.97/1.2958 %gma% \
-wind 19.6 %arah% \
&env sea_11 -depth 90 -sea jonswap %arah% 4.3 12.23/1.2958 %gma% \
-wind 22.4 %arah% \
&env sea_12 -depth 90 -sea jonswap %arah% 4.84 12.47/1.2958 %gma% \
-wind 28 %arah% \
&env sea_13 -depth 90 -sea jonswap %arah% 5.51 12.67/1.2958 %gma% \
-wind 28 %arah% \
-current 0.8 %arah%
$
end_&data
&set post_env = sea_1 sea_2 sea_3 sea_4 sea_5 sea_6 sea_7 sea_8 sea_9 sea_10 sea_11 sea_12
sea_13
$
$ ===== FREQUENCY RESPONS
$
FREQ_RESP
RAO -period 31 30.5 30 29.5 29 28.5 28 27.5 27 26.5 26 25.5 25 24.5 24 23.5 \
23 22.5 22 21.5 21 20.5 20 19.5 19 18.5 18 17.5 17 16.5 16 15.5 \
15 14.5 14 13.5 13 12.5 12 11.5 11 10.5 10 9.5 9 8.5 8 7.5 \
7 6.5 6 5.5 5 4.5 4
$
$ ===== STANDARD POST PROCESSING
$
&loop env %post_env
&describe body belanak
FR_POINT 142.50 0.00 11.12
report
END
st_point %env
REPORT
END
&endloop
END_FREQ_RESP
$
$ ===== ALL DONE
$
&FINISH

```

LAMPIRAN C

OUTPUT ANALISIS DENGAN MOSES

Output RAO dan Maximum Acceleration akibat Beban Gelombang pada Hs 5.51 meter dan heading arah 0°

Page 26 Licensee - My Company Rev 6.00.025 Ser562

 *** MOSES ***

 Response Amplitude Operators and Wave Drift Force on FPSO Belanak July 17, 2010

 * Draft = 13.9 Meters Trim Angle = 0.00 Deg. GMT = 15.89 Meters
 * Roll Gy. Radius = 18.6 Meters Pitch Gy. Radius = 82.7 Meters Yaw Gy. Radius = 82.6 Meters
 * Heading = 0.00 Deg. Forward Speed = 0.00 Knots Linearization Based on 1/ 20

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

Of Point X = 142.5 Y = 0.0 Z = 11.1 on Body BELANAK

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and N-Tons Unless Specified

ENCOUNTER			Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /
Amp1.	Frequency	Period	Wave Amp1.	Phase	Wave Amp1.	Phase	Wave Amp1.	Phase	Wave Amp1.	Phase	Wave Amp1.	Phase	Wave
--/	-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Phase			Amp1.	Phase	Amp1.	Phase	Amp1.	Phase	Amp1.	Phase	Amp1.	Phase	Amp1.
0.	0.2027	31.00	1.219	143.	0.000	0.	0.773	56.	0.000	0.	0.310	-34.	0.000
0.	0.2060	30.50	1.180	143.	0.000	0.	0.778	56.	0.000	0.	0.312	-35.	0.000
0.	0.2094	30.00	1.142	143.	0.000	0.	0.783	55.	0.000	0.	0.314	-35.	0.000
0.	0.2130	29.50	1.104	143.	0.000	0.	0.789	55.	0.000	0.	0.317	-35.	0.000
0.	0.2167	29.00	1.067	143.	0.000	0.	0.795	55.	0.000	0.	0.319	-36.	0.000
0.	0.2205	28.50	1.030	143.	0.000	0.	0.801	55.	0.000	0.	0.322	-36.	0.000
0.	0.2244	28.00	0.994	143.	0.000	0.	0.808	54.	0.000	0.	0.325	-36.	0.000
0.	0.2285	27.50	0.959	143.	0.000	0.	0.815	54.	0.000	0.	0.328	-37.	0.000
0.	0.2327	27.00	0.924	143.	0.000	0.	0.823	53.	0.000	0.	0.331	-37.	0.000
0.	0.2371	26.50	0.890	143.	0.000	0.	0.831	53.	0.000	0.	0.335	-38.	0.000
0.	0.2417	26.00	0.857	143.	0.000	0.	0.840	53.	0.000	0.	0.339	-38.	0.000
0.	0.2464	25.50	0.824	143.	0.000	0.	0.850	52.	0.000	0.	0.343	-38.	0.000
0.	0.2513	25.00	0.792	143.	0.000	0.	0.860	52.	0.000	0.	0.348	-39.	0.000
0.	0.2565	24.50	0.768	146.	0.000	0.	0.841	53.	0.000	0.	0.353	-36.	0.000
0.	0.2618	24.00	0.747	149.	0.000	0.	0.823	55.	0.000	0.	0.361	-33.	0.000
0.	0.2674	23.50	0.728	153.	0.000	0.	0.804	57.	0.000	0.	0.370	-30.	0.000
0.	0.2732	23.00	0.712	156.	0.000	0.	0.787	59.	0.000	0.	0.381	-28.	0.000
0.	0.2793	22.50	0.697	159.	0.000	0.	0.770	62.	0.000	0.	0.395	-25.	0.000
0.	0.2856	22.00	0.684	162.	0.000	0.	0.754	64.	0.000	0.	0.411	-22.	0.000
0.	0.2922	21.50	0.673	165.	0.000	0.	0.740	68.	0.000	0.	0.429	-19.	0.000
0.	0.2992	21.00	0.664	168.	0.000	0.	0.730	71.	0.000	0.	0.451	-17.	0.000
0.	0.3065	20.50	0.656	171.	0.000	0.	0.723	75.	0.000	0.	0.476	-14.	0.000
0.	0.3142	20.00	0.649	174.	0.000	0.	0.721	79.	0.000	0.	0.504	-12.	0.000
0.	0.3222	19.50	0.623	178.	0.000	0.	0.694	83.	0.000	0.	0.520	-8.	0.000
0.	0.3307	19.00	0.601	-177.	0.000	0.	0.670	87.	0.000	0.	0.541	-4.	0.000
0.	0.3396	18.50	0.568	-172.	0.000	0.	0.636	92.	0.000	0.	0.556	0.	0.000
0.	0.3491	18.00	0.541	-167.	0.000	0.	0.606	97.	0.000	0.	0.578	5.	0.000
0.	0.3590	17.50	0.502	-161.	0.000	0.	0.563	102.	0.000	0.	0.589	10.	0.000
0.	0.3696	17.00	0.470	-154.	0.000	0.	0.525	108.	0.000	0.	0.610	15.	0.000
0.	0.3808	16.50	0.422	-147.	0.000	0.	0.472	113.	0.000	0.	0.615	21.	0.000
0.	0.3927	16.00	0.383	-139.	0.000	0.	0.423	121.	0.000	0.	0.633	27.	0.000
0.	0.4054	15.50	0.326	-131.	0.000	0.	0.360	126.	0.000	0.	0.625	34.	0.000
0.	0.4189	15.00	0.281	-121.	0.000	0.	0.297	136.	0.000	0.	0.634	41.	0.000
0.	0.4333	14.50	0.223	-110.	0.000	0.	0.224	144.	0.000	0.	0.622	48.	0.000
0.	0.4488	14.00	0.163	-98.	0.000	0.	0.145	154.	0.000	0.	0.596	56.	0.000
0.	0.4654	13.50	0.101	-84.	0.000	0.	0.060	165.	0.000	0.	0.552	65.	0.000
0.	0.4833	13.00	0.038	-65.	0.000	0.	0.028	-18.	0.000	0.	0.485	73.	0.000
0.	0.5027	12.50	0.023	112.	0.000	0.	0.112	-1.	0.000	0.	0.389	82.	0.000
0.	0.5236	12.00	0.077	139.	0.000	0.	0.183	10.	0.000	0.	0.265	90.	0.000
0.	0.5464	11.50	0.121	161.	0.000	0.	0.223	20.	0.000	0.	0.123	100.	0.000
0.	0.5712	11.00	0.149	-174.	0.000	0.	0.211	31.	0.000	0.	0.007	-130.	0.000

0.	0.5984	10.50	0.154	-147.	0.000	0.	0.146	46.	0.000	0.	0.080	-59.	0.000
0.	0.6283	10.00	0.130	-115.	0.000	0.	0.063	76.	0.000	0.	0.095	-32.	0.000
0.	0.6614	9.50	0.077	-78.	0.000	0.	0.015	-173.	0.000	0.	0.069	7.	0.000
0.	0.6981	9.00	0.007	-8.	0.000	0.	0.027	-63.	0.000	0.	0.034	76.	0.000
0.	0.7392	8.50	0.056	-170.	0.000	0.	0.025	31.	0.000	0.	0.023	-177.	0.000
0.	0.7854	8.00	0.073	-108.	0.000	0.	0.033	139.	0.000	0.	0.016	-84.	0.000
0.	0.8378	7.50	0.027	-29.	0.000	0.	0.042	-135.	0.000	0.	0.006	-31.	0.000
0.	0.8976	7.00	0.036	-133.	0.000	0.	0.047	-50.	0.000	0.	0.019	22.	0.000
0.	0.9666	6.50	0.021	-10.	0.000	0.	0.095	55.	0.000	0.	0.030	144.	0.000
0.	1.0472	6.00	0.026	-64.	0.000	0.	0.077	-168.	0.000	0.	0.036	97.	0.000
0.	1.1424	5.50	0.015	-78.	0.000	0.	0.031	-176.	0.000	0.	0.025	-79.	0.000
0.	1.2566	5.00	0.011	-24.	0.000	0.	0.026	-126.	0.000	0.	0.028	-33.	0.000
0.	1.3963	4.50	0.003	-159.	0.000	0.	0.015	180.	0.000	0.	0.004	90.	0.000
0.	1.5708	4.00	0.003	-49.	0.000	0.	0.002	85.	0.000	0.	0.006	-14.	0.000

```

*****
*                                     *** MOSES ***                             *
*                                     July 17, 2010                               *
* Response Amplitude Operators and Wave Drift Force on FPSO Belanak             *
* Draft = 13.9 Meters                    Trim Angle = 0.00 Deg.                GMT = 15.89 Meters
* Roll Gy. Radius = 18.6 Meters           Pitch Gy. Radius = 82.7 Meters       Yaw Gy. Radius = 82.6 Meters
* JONSWAP Height = 5.5 Meters             Period = 9.8 Sec.                    M. Heading = 0.0 Deg.
* S. Coef.=200.0                          Gamma = 2.50
*****

```

+++ MOTION STATISTICS +++

Of Point X = 142.5 Y = 0.0 Z = 11.1 on Body BELANAK

Maximum Responses Based on a Multiplier of 3.720

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

Single Amplitude Motions

	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw	Mag
Root Mean Square	0.204	0.000	0.241	0.000	0.501	0.000	0.315
Ave of 1/3 Highest	0.407	0.000	0.482	0.000	1.002	0.000	0.631
Ave of 1/10 Highest	0.519	0.000	0.614	0.000	1.277	0.000	0.804
Maximum	0.757	0.000	0.896	0.001	1.863	0.000	1.173

Single Amplitude Velocities

	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw	Mag
Root Mean Square	0.094	0.000	0.114	0.000	0.232	0.000	0.148
Ave of 1/3 Highest	0.187	0.000	0.228	0.000	0.463	0.000	0.295
Ave of 1/10 Highest	0.239	0.000	0.291	0.000	0.591	0.000	0.376
Maximum	0.348	0.000	0.424	0.000	0.862	0.000	0.549

Single Amplitude Accelerations

	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw	Mag
Root Mean Square	0.048	0.000	0.061	0.000	0.110	0.000	0.077
Ave of 1/3 Highest	0.096	0.000	0.122	0.000	0.219	0.000	0.155
Ave of 1/10 Highest	0.122	0.000	0.155	0.000	0.280	0.000	0.197
Maximum	0.178	0.000	0.226	0.000	0.408	0.000	0.288

LAMPIRAN D
OUTPUT ANALISIS DENGAN ANSYS

Output analisis stress pada Crane Pedestal's Scantling FPSO Belanak dengan ANSYS 11

Akibat beban angkat crane 40 ton dengan lengan 62.4 meter

PRINT 5 NODAL SOLUTION PER NODE

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
1	-0.26332E+06	-0.39408E+08	-0.11756E+09	0.11493E+09	0.10166E+09
2	0.71203E+06	-0.19606E+08	-0.16392E+09	0.17104E+09	0.15937E+09
4	9835.3	-0.36520E+08	-0.80933E+08	0.81032E+08	0.70284E+08
6	-12075.	-0.53888E+08	-0.11624E+08	0.11612E+08	0.10065E+08
8	-12047.	-0.58943E+07	-0.10035E+08	0.10023E+08	0.87241E+08
10	-9846.2	-0.58304E+07	-0.92495E+07	0.92396E+07	0.80914E+08
12	-6238.7	-0.50263E+07	-0.78200E+07	0.78138E+07	0.68579E+08
14	1717.9	-0.34084E+07	-0.61836E+07	0.61853E+07	0.53660E+07
16	34898.	-0.86866E+06	-0.41803E+08	0.42152E+09	0.20439E+08
18	0.35410E+07	-1462.5	-0.14611E+07	0.50021E+07	0.44554E+07
20	0.11859E+06	-20335.	-0.19218E+06	0.31077E+06	0.26964E+06
22	0.73871E+07	0.14500E+06	-0.94685E+06	0.83339E+07	0.78452E+07
24	0.32701E+07	-0.11175E+06	-0.23668E+07	0.56369E+07	0.49141E+07
26	0.25036E+07	-70125.	-0.18058E+07	0.43094E+07	0.37555E+07
28	0.23465E+06	-0.19753E+06	-0.17512E+07	0.19859E+07	0.18089E+07
30	0.11781E+07	3933.4	-0.38727E+06	0.15654E+07	0.14111E+07
32	0.46056E+06	-26332.	-0.53285E+06	0.99341E+06	0.86037E+06
34	0.36031E+06	-6645.9	-0.25347E+06	0.61378E+06	0.53493E+06
36	0.16081E+06	-7556.8	-0.14300E+06	0.30381E+06	0.26362E+06
38	0.50573E+06	0.28764E+06	20708.	0.48502E+06	0.42075E+06
40	0.70835E+06	11873.	-0.74430E+06	0.14526E+07	0.12584E+07
42	0.13051E+07	5011.7	-0.13255E+07	0.26307E+07	0.22783E+07
44	0.19567E+07	3626.0	-0.17217E+07	0.36783E+07	0.31876E+07
46	0.26280E+07	7534.9	-0.21058E+07	0.47338E+07	0.41074E+07
48	0.26758E+07	12154.	-0.21231E+07	0.47989E+07	0.41644E+07
50	0.21364E+07	-5858.8	-0.20423E+07	0.41786E+07	0.36192E+07
52	0.14785E+07	-10093.	-0.14615E+07	0.29400E+07	0.25461E+07
54	0.92578E+06	-6126.4	-0.56867E+06	0.14945E+07	0.13073E+07
57	0.17107E+07	0.14207E+07	-0.57327E+06	0.22839E+07	0.21536E+07
59	0.13370E+07	18166.	-0.11483E+08	0.14519E+07	0.13902E+07
61	0.83142E+06	-651.55	-53636.	0.88506E+08	0.85979E+08
63	0.69832E+06	-2705.0	-0.10616E+08	0.80447E+08	0.75806E+08
65	0.44743E+06	28913.	-19412.	0.46685E+06	0.44466E+06
67	0.38766E+06	-17463.	-43601.	0.43126E+06	0.41880E+06
69	0.37409E+06	-22724.	-0.14337E+06	0.51746E+06	0.46892E+06
71	0.37721E+06	-23413.	-98525.	0.47573E+06	0.44298E+06
82	0.21446E+07	0.14368E+07	-91506.	0.22361E+07	0.19795E+07
84	0.11361E+07	0.34141E+06	-27887.	0.11640E+07	0.10303E+07

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
3033	-371.11	-0.13040E+06	-0.17011E+08	0.17007E+08	0.16396E+08
3034	42292.	112.19	-0.17806E+08	0.18229E+08	0.18022E+08
3035	0.11211E+06	365.71	-0.19253E+07	0.20374E+07	0.19839E+07
3036	-2033.3	-0.59342E+06	-0.17415E+07	0.17395E+07	0.15320E+07
3037	0.13417E+06	-134.13	-0.18173E+07	0.19515E+07	0.18879E+07
3038	-416.06	-0.20711E+06	-0.25822E+07	0.25818E+07	0.24849E+07
3039	0.11355E+06	407.45	-0.18086E+07	0.19222E+07	0.18682E+07
3040	-104.54	-57462.	-0.17168E+07	0.17167E+07	0.16888E+07
3041	0.13572E+06	578.64	-0.18556E+07	0.19913E+07	0.19273E+07
3042	16367.	158.60	-0.17710E+07	0.17874E+07	0.17793E+07
3043	2955.0	-82633.	-0.16616E+07	0.16646E+07	0.16235E+07
3044	95936.	291.99	-0.17500E+07	0.18459E+07	0.18000E+07
3045	31803.	-330.17	-0.17700E+07	0.18018E+07	0.17860E+07
3046	-926.54	-0.23019E+06	-0.16899E+07	0.16890E+07	0.15868E+07
3047	70831.	152.31	-0.17002E+07	0.17710E+07	0.17368E+07
3048	-338.61	-95200.	-0.17486E+07	0.17483E+07	0.17028E+07
3049	11783.	-100.17	-0.17518E+07	0.17636E+07	0.17577E+07
3050	-409.03	-57315.	-0.16810E+07	0.16806E+07	0.16529E+07
3051	10.316	-0.14749E+06	-0.17219E+07	0.17219E+07	0.16531E+07
3052	-172.38	-69338.	-0.17515E+07	0.17513E+07	0.17178E+07
3053	-365.83	-56706.	-0.17464E+07	0.17460E+07	0.17186E+07
3054	0.19880E+06	448.23	-0.27208E+07	0.29196E+07	0.28256E+07
3055	0.15321E+06	258.11	-0.27520E+07	0.29052E+07	0.28319E+07
3056	-576.21	-0.20986E+06	-0.25689E+07	0.25683E+07	0.24704E+07
3057	77458.	8.4392	-0.26163E+07	0.26938E+07	0.26559E+07
3058	48571.	-590.77	-0.25661E+07	0.26147E+07	0.25904E+07

3059	-374.54	-22110.	-0.17295E+07	0.17291E+07	0.17183E+07
3060	9393.1	-22.102	-0.17230E+07	0.17324E+07	0.17277E+07
3061	97.000	-27964.	-0.17482E+07	0.17483E+07	0.17345E+07
3062	1301.8	-33294.	-0.17575E+07	0.17588E+07	0.17417E+07
3063	57313.	462.28	-0.18183E+07	0.18756E+07	0.18479E+07
3064	0.16729E+06	452.21	-0.27715E+07	0.29388E+07	0.28591E+07
3065	38080.	206.43	-0.16483E+07	0.16864E+07	0.16678E+07
3066	141.67	-18701.	-0.17023E+07	0.17025E+07	0.16931E+07
3067	1689.7	-30796.	-0.25027E+07	0.25044E+07	0.24883E+07
3068	72147.	892.91	-0.17290E+07	0.18011E+07	0.17666E+07
3069	530.81	-25510.	-0.17370E+07	0.17375E+07	0.17246E+07
3070	0.11714E+06	767.76	-0.25885E+07	0.27057E+07	0.26494E+07

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
3071	0.13720E+06	384.03	-0.27267E+07	0.28639E+07	0.27980E+07
3072	93949.	327.73	-0.26761E+07	0.27700E+07	0.27244E+07
3073	-154.77	-60479.	-0.17426E+07	0.17424E+07	0.17131E+07
3074	4229.2	-15323.	-0.21209E+07	0.21252E+07	0.21154E+07
3075	0.20949E+06	-110.60	-0.20658E+07	0.22752E+07	0.21780E+07
3076	0.23783E+06	1047.9	-0.26500E+07	0.28878E+07	0.27770E+07
3077	0.13615E+06	97.173	-0.27052E+07	0.28413E+07	0.27758E+07
3078	0.11033E+06	-52.588	-0.27154E+07	0.28257E+07	0.27722E+07
3079	0.10173E+06	-989.62	-0.27296E+07	0.28314E+07	0.27814E+07
3080	-0.26332E+06	-0.39408E+08	-0.11756E+09	0.11493E+09	0.10166E+09
3081	0.71203E+06	-0.19606E+08	-0.16392E+09	0.17104E+09	0.20437E+09
3082	6672.0	-2405.9	-0.20224E+07	0.20290E+07	0.20245E+07
3083	32453.	261.39	-0.19009E+07	0.19334E+07	0.19175E+07
3084	1528.9	-1147.1	-0.18227E+07	0.18242E+07	0.18229E+07
3085	51912.	-363.75	-0.21179E+07	0.21698E+07	0.21441E+07
3086	374.18	-93714.	-0.21171E+07	0.21174E+07	0.20720E+07
3087	395.04	-98543.	-0.20318E+07	0.20322E+07	0.19846E+07
3088	29872.	-4952.0	-0.17706E+07	0.18005E+07	0.17833E+07
3089	0.73070E+06	-279.55	-0.14150E+07	0.21457E+07	0.18894E+07
3090	0.51826E+06	-688.07	-0.28325E+07	0.33507E+07	0.31238E+07
3091	0.31526E+06	1496.5	-0.23614E+07	0.26767E+07	0.25344E+07
3092	0.10856E+06	-25865.	-0.27308E+07	0.28393E+07	0.27746E+07
3093	0.20470E+06	-968.74	-0.28680E+07	0.30727E+07	0.29752E+07
3094	0.19541E+06	95.109	-0.26816E+07	0.28770E+07	0.27845E+07
3095	9285.8	-106.94	-0.17276E+07	0.17369E+07	0.17322E+07
3096	0.71218E+06	1177.1	-0.25673E+07	0.32795E+07	0.29882E+07
3097	0.40218E+06	3683.7	-0.24937E+07	0.28959E+07	0.27186E+07
3098	82995.	-0.21343E+06	-0.11435E+07	0.12265E+07	0.11084E+07
3099	-46346.	-70440.	-0.97713E+06	0.93079E+06	0.91898E+06
3101	11535.	-0.11364E+06	-0.71114E+06	0.72268E+06	0.66893E+06
3103	12674.	-0.10335E+06	-0.66013E+06	0.67281E+06	0.62295E+06
3105	23374.	-88243.	-0.65161E+06	0.67498E+06	0.62667E+06
3107	26236.	-72499.	-0.65224E+06	0.67848E+06	0.63489E+06
3109	23396.	-83664.	-0.64271E+06	0.66610E+06	0.61955E+06
3111	8880.0	-59687.	-0.60556E+06	0.61444E+06	0.58319E+06
3113	1511.8	-69012.	-0.69786E+06	0.69937E+06	0.66691E+06
3115	63265.	-85370.	-0.16241E+07	0.16874E+07	0.16182E+07
3117	0.17065E+06	22294.	-0.13103E+07	0.14810E+07	0.14126E+07

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
8289	0.20590E+06	25577.	-0.42302	0.20590E+06	0.19438E+06
8290	0.17312E+06	0.11356E+06	-13.165	0.17314E+06	0.15235E+06
8291	0.18452E+06	0.10010E+06	-3.0838	0.18452E+06	0.15999E+06
8292	15958.	4719.8	-0.44841	15959.	14200.
8293	13094.	7396.0	-12567.	25661.	23339.
8295	16725.	3155.1	-0.22603E-01	16725.	15391.
8297	17447.	2259.6	-0.13434E-01	17447.	16434.
8299	18241.	2021.8	-0.12851E-01	18241.	17318.
8301	19146.	2398.6	-0.80837E-01	19146.	18067.
8303	19957.	3398.7	-0.78217	19958.	18494.
8305	20353.	4787.2	-5.2969	20359.	18436.
8307	19996.	9512.2	-39.432	20035.	17357.
8310	0.16084E+06	26881.	-9845.8	0.17068E+06	0.15560E+06
8312	1152.4	-8.6156	-2590.2	3742.6	3318.1
8314	0.51898	-1089.2	-16120.	16120.	15604.
8316	2187.1	-0.13736E-01	-41339.	43527.	42475.
8318	1.5625	-29382.	-98245.	98247.	87344.
8320	0.17806	-42.162	-114.96	115.14	100.87
8322	194.85	-405.22	-4015.8	4210.7	3945.0
8324	1.7496	-739.60	-5263.8	5265.6	4936.8
8326	5.0576	-542.70	-6840.3	6845.3	6588.5
8328	228.88	-10.005	-5335.7	5564.6	5449.0
8330	737.94	-0.85663E-01	-4361.2	5099.1	4773.1

8332	885.84	-0.74164E-02	-3730.9	4616.7	4243.7
8334	911.89	-0.23220E-03	-3155.1	4067.0	3696.4
8336	743.33	-0.47039E-01	-2582.3	3325.6	3023.3
8338	471.35	-0.26119E-01	-2059.7	2531.0	2331.3
8340	183.10	-0.48842E-01	-1559.8	1742.9	1658.9
8342	0.21662	-48.644	-1121.7	1121.9	1098.3
8345	0.24296E-02	-257.28	-1206.0	1206.0	1100.2
8347	0.43259E-01	-372.17	-1433.6	1433.7	1288.5
8349	1.7163	-343.70	-1245.0	1246.7	1114.8
8351	113.28	-1.4348	-791.12	904.39	852.84
8353	1262.3	0.91050E-01	-401.34	1663.7	1503.7
8355	2984.1	3.9687	-13.293	2997.4	2988.8
8357	5213.2	500.65	-0.22046E-01	5213.2	4981.8
8359	7886.7	1182.8	-0.27202	7886.9	7367.0
8361	10856.	2020.7	-0.19861E-01	10856.	10000.

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
8363	14066.	3001.7	-0.21541	14066.	12831.
8365	17388.	4128.6	-0.10798	17388.	15736.
8367	20625.	5332.4	-0.13737E-01	20625.	18543.
8369	23585.	6488.5	-0.89298E-01	23586.	21103.
8371	26036.	7473.7	-0.11981	26036.	23220.
8373	27701.	8204.4	-3.1261	27704.	24648.
8614	63000.	0.43561	-42500.	0.10550E+06	91939.
8615	0.26271E-01	-2577.3	-19978.	19978.	18822.
8616	2231.5	0.33140E-03	-1054.4	3285.9	2905.9
8617	518.70	-0.19631E-01	-1624.5	2143.2	1936.7
8618	1168.9	-0.71274	-12089.	13257.	12713.
8619	224.32	0.22567	-4274.1	4498.4	4390.7
8620	868.42	0.15841E-04	-1425.2	2293.6	2005.7
8621	0.48428E-01	-416.55	-2574.5	2574.5	2393.5
8622	231.33	-0.15899E-01	-2854.7	3086.0	2977.1
8623	0.40599E-01	-368.32	-7804.8	7804.9	7627.4
8624	0.62634E-01	-682.53	-4374.6	4374.6	4076.4
8625	2124.9	0.12858E-02	-1464.2	3589.1	3125.8
8626	0.68963E-02	-437.42	-2678.5	2678.5	2488.8
8627	405.94	-0.26738E-01	-1987.0	2392.9	2218.0
8628	7094.7	718.51	-0.16584E-01	7094.8	6764.2
8629	1727.6	-0.18880E-03	-988.89	2716.5	2381.3
8630	0.49306	-322.98	-3914.3	3914.8	3763.5
8631	3059.7	0.10094E-02	-379.54	3439.2	3266.1
8632	3883.8	0.11275	-132.14	4016.0	3951.5
8633	5066.4	105.71	-0.35317	5066.7	5014.6
8634	4483.9	-0.10530E-01	-141.70	4625.6	4556.4
8635	8632.9	681.04	-0.56091E-01	8633.0	8313.4
8636	702.23	-0.39301E-02	-1433.4	2135.6	1885.3
8637	1292.8	-0.64756E-02	-1221.3	2514.1	2177.6
8638	2132.8	0.30485E-02	-820.67	2953.5	2640.6
8639	2233.9	-0.71398E-01	-1142.1	3376.0	2974.3
8640	76.460	-0.19537E-02	-1767.0	1843.5	1806.4
8641	204.62	-0.46554E-02	-1520.6	1725.2	1632.5
8642	664.58	-0.20540E-01	-1301.1	1965.7	1731.8
8643	1296.5	-0.27875E-02	-1042.8	2339.3	2029.9
8644	2200.6	0.16144E-01	-566.67	2767.3	2532.0
8645	3420.7	0.16686E-01	-34.839	3455.5	3438.3

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
8646	4903.6	504.31	-0.14916E-02	4903.6	4671.9
8647	6568.2	1012.0	-0.33563E-01	6568.2	6125.3
8648	8729.3	1376.8	-0.23429E-01	8729.3	8128.8
8649	11464.	2054.7	-0.27521E-01	11464.	10587.
8650	10115.	1211.3	-0.12742	10115.	9567.4
8651	185.63	-0.15820E-01	-1331.7	1517.3	1433.5
8652	12291.	1220.1	-0.12346	12291.	11728.
8653	14982.	2727.5	-0.84464E-02	14982.	13821.
8654	11387.	1448.7	-0.48015E-01	11387.	10737.
8655	15326.	2026.2	-0.84302	15327.	14421.
8656	9677.4	1403.2	-0.65119	9678.1	9058.1
8657	0.36200	-651.12	-5700.7	5701.1	5404.9
8658	2.3195	-2.4416	-2480.7	2483.0	2480.7
8659	85.225	0.80833E-04	-2000.4	2085.6	2044.3
8660	60.935	-0.17345E-01	-1598.5	1659.5	1629.8
8661	0.45840E-01	-62.570	-1276.3	1276.4	1246.2
8662	0.12933E-02	-189.50	-1039.6	1039.6	958.99
8663	348.84	-0.33636E-01	-1201.2	1550.0	1408.4
8664	940.89	-0.14969E-01	-879.33	1820.2	1576.7
8665	1922.9	-0.45025E-03	-394.24	2317.1	2147.3
8666	3408.8	184.70	-0.43371E-01	3408.9	3320.3
8667	5232.2	795.57	-0.57538E-01	5232.3	4883.3

8668	7357.2	1408.1	-0.74761E-01	7357.2	6764.0
8669	9780.5	2050.7	-0.32203E-01	9780.5	8933.5
8670	12698.	2679.3	-0.93419E-02	12698.	11593.
8671	15932.	3402.5	-0.25701E-01	15932.	14533.
8672	19163.	4121.9	-0.11256E-01	19163.	17471.
8673	21982.	4785.6	-0.17379E-01	21982.	20022.
8674	18052.	3147.7	-0.79517E-02	18052.	16702.
8675	20626.	3472.0	-0.17614E-01	20626.	19128.
8676	14351.	2201.9	-0.57563E-02	14351.	13387.
8677	14225.	1563.9	-0.37432E-01	14225.	13511.
8678	17114.	2382.7	-0.11476E-01	17114.	16055.
8679	15989.	1876.6	-0.14371E-01	15989.	15138.
8680	19293.	3282.3	-4.4566	19297.	17882.
8681	24202.	5303.8	-0.99077E-02	24202.	22034.
8682	19436.	2457.5	-0.77000E-02	19436.	18331.
8683	18243.	1761.5	-0.18795E-01	18243.	17429.

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
28369	52.382	-7.4888	-19942.	19994.	19964.
28371	58.826	-1.0393	-20569.	20628.	20598.
28373	62.630	-0.36074	-21161.	21224.	21192.
28375	53.764	-3.5807	-21789.	21843.	21814.
28377	64.446	2.2310	-22420.	22484.	22453.
28379	53.754	-3.8464	-22986.	23040.	23011.
28381	50.567	-0.11969	-23629.	23680.	23655.
28383	63.377	3.8848	-24254.	24318.	24288.
28385	45.166	-7.7101	-24787.	24832.	24805.
28387	39.405	-2.8250	-25431.	25470.	25449.
28389	50.107	2.5815	-25988.	26038.	26015.
28391	23.783	-16.455	-26410.	26434.	26414.
28393	15.194	-9.5804	-26892.	26907.	26895.
28395	6.9333	-19.413	-27084.	27091.	27078.
28398	369.41	-2.1468	-16423.	16793.	16610.
28402	517.57	0.71534E-01	-12607.	13124.	12873.
28406	499.78	0.51546E-01	-12960.	13460.	13217.
28410	493.03	-0.69653E-01	-13331.	13824.	13584.
28414	489.77	0.17415	-13654.	14144.	13906.
28418	439.92	-0.77193	-14055.	14495.	14280.
28422	483.00	0.49943	-14373.	14856.	14621.
28426	402.15	0.19427	-14763.	15165.	14968.
28430	422.20	-0.93623	-15135.	15557.	15350.
28434	476.56	0.49486	-15396.	15872.	15640.
28438	342.59	0.23537	-15793.	16136.	15967.
28442	389.23	-0.11140	-16082.	16471.	16280.
28446	423.63	0.24322	-16248.	16672.	16464.
28450	318.24	0.40766	-16449.	16767.	16611.
28454	393.99	-0.40603	-16420.	16813.	16620.
28458	53.116	-6.7066	-19949.	20003.	19973.
28460	57.542	-1.8763	-20570.	20627.	20597.
28462	62.231	-0.55601E-01	-21175.	21238.	21206.
28464	61.120	-0.66692	-21805.	21866.	21835.
28466	54.796	-3.3074	-22366.	22421.	22392.
28468	59.190	2.4453	-23059.	23118.	23090.
28470	49.060	-3.5479	-23622.	23671.	23645.
28472	61.121	2.9722	-24240.	24302.	24273.
28474	53.954	-0.49807	-24836.	24890.	24863.

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
28590	5407.7	0.11036	-952.19	6359.9	5941.2
28594	5426.7	-0.29940	-946.15	6372.8	5956.5
28598	5389.2	-0.64296	-1132.5	6521.7	6035.9
28602	5391.6	0.80638	-1107.9	6499.5	6022.2
28606	5276.0	-0.32408	-1096.2	6372.2	5901.1
28610	5230.6	-0.54542	-1194.7	6425.3	5919.3
28614	5147.7	0.68845	-1151.7	6299.4	5809.6
28618	5005.4	-0.29060	-1220.5	6225.9	5714.3
28622	4995.2	0.79925E-01	-1245.5	6240.7	5720.5
28626	4866.9	-0.13022	-1246.0	6112.9	5595.0
28630	4800.0	-0.78520E-01	-1287.1	6087.1	5556.5
28634	11429.	2.5656	-113.01	11543.	11485.
28636	11780.	1.2413	-109.50	11889.	11834.
28638	12126.	-0.51210	-111.00	12237.	12182.
28640	12492.	1.0356	-109.11	12601.	12546.
28642	12767.	3.2681	-99.174	12866.	12815.
28644	13219.	-3.4635	-100.60	13319.	13271.
28646	13506.	4.9497	-91.925	13598.	13550.
28648	13836.	-2.3936	-98.570	13934.	13887.

28650	14202.	-1.9765	-92.417	14295.	14250.
28652	14480.	10.350	-66.017	14546.	14508.
28654	14784.	-2.9961	-81.064	14865.	14826.
28656	14965.	14.139	-46.842	15012.	14981.
28658	15131.	12.069	-25.213	15156.	15137.
28660	15181.	13.944	-12.098	15193.	15180.
28664	4798.1	-0.27806E-01	-1282.1	6080.1	5551.3
28668	4874.4	-0.14981	-1255.1	6129.8	5608.6
28672	4974.4	-0.21766E-01	-1232.7	6207.1	5691.8
28676	5084.6	0.13847	-1219.2	6303.8	5791.2
28680	5051.0	-0.36318	-1228.7	6279.7	5764.5
28684	5249.2	0.49489	-1079.1	6328.2	5863.5
28688	5317.0	-0.73200	-1154.1	6471.1	5978.5
28692	5303.5	0.25606	-1105.8	6409.3	5934.1
28696	5465.7	0.12464	-1092.2	6557.9	6085.7
28700	5407.2	-1.1078	-990.31	6397.5	5964.8
28704	5377.6	0.39493	-916.80	6294.4	5889.6
28708	5234.1	-0.80405	-889.78	6123.8	5731.3
28712	4946.4	-1.1360	-597.05	5543.5	5270.8

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
28716	4604.0	0.45518E-02	-492.70	5096.7	4869.0

MINIMUM VALUES

NODE	3379	8	7198	16613	16613
VALUE	-0.94102E+06	-0.58943E+07	-0.30930E+08	19.107	16.614

MAXIMUM VALUES

NODE	7611	293	281	7198	3081
VALUE	0.14774E+08	0.60972E+08	0.26825E+07	0.43147E+08	0.20411E+09

Akibat beban angin dengan kecepatan 11.64 m/s pada ketinggian 37.9meter

PRINT S NODAL SOLUTION PER NODE

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
1	120.46	-3106.1	-13193.	13314.	12030.
2	24790.	5693.6	40.457	24750.	22463.
4	-18.698	-2169.5	-22319.	22300.	21306.
6	-12.597	-1727.3	-22006.	21993.	21188.
8	-8.2685	-1211.7	-18610.	18602.	18030.
10	1.0295	-477.10	-12217.	12218.	11986.
12	854.03	9.2207	-3452.8	4306.8	3952.7
14	9182.2	707.18	-5.5790	9187.8	8853.0
16	19494.	7.9252	-926.36	20421.	19970.
18	28752.	25.758	-702.62	29455.	29097.
20	17084.	7826.1	250.50	16833.	14602.
22	20638.	6197.1	-118.13	20756.	18428.
24	23908.	6514.2	22.929	23885.	21391.
26	17732.	4750.6	3.3997	17729.	15896.
28	19562.	5930.3	47.244	19515.	17339.
30	17900.	6838.9	31.197	17868.	15620.
32	14971.	8385.7	19.449	14951.	12979.
34	12134.	11007.	-105.68	12240.	11717.
36	13983.	6617.9	-73.974	14057.	12178.
38	147.82	-3714.6	-6823.2	6971.0	6048.8
40	-23.490	-8044.0	-13578.	13555.	11804.
42	-40.582	-8086.6	-14948.	14908.	12924.
44	-34.916	-5077.4	-12156.	12121.	10547.
46	258.29	-144.67	-6798.4	7056.7	6864.1
48	6445.8	8.7239	-520.49	6966.3	6717.3
50	12246.	5364.5	-9.6332	12256.	10641.
52	15875.	9969.5	-9.4677	15885.	13907.
54	16361.	12795.	-10.167	16371.	14911.
57	38.904	-3342.0	-11219.	11258.	10006.
59	-46.551	-3311.8	-11264.	11217.	9993.2
61	-79.546	-2574.1	-8297.8	8218.3	7298.1
63	-90.305	-3013.6	-8429.3	8339.0	7328.5
65	-97.388	-3242.9	-6470.0	6372.6	5519.0
67	-49.009	-4036.6	-5382.1	5333.0	4803.8
69	-6.1061	-5376.1	-6862.4	6856.3	6247.2
71	216.16	-2892.8	-6671.2	6887.3	5974.0
82	-28.360	-7431.2	-22459.	22431.	19796.
84	-27.427	-5538.0	-19760.	19732.	17635.

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
86	-25.120	-4636.3	-17654.	17629.	15835.
88	-21.407	-4205.8	-15687.	15666.	14049.
90	-18.099	-4151.8	-13729.	13711.	12182.
92	-14.923	-4540.8	-11954.	11939.	10440.
94	-10.573	-5030.4	-10789.	10778.	9341.6
96	-11.112	-4685.9	-10921.	10909.	9480.0
107	-30.808	-7629.4	-22931.	22900.	20202.
109	-34.015	-5451.6	-21033.	20999.	18883.
111	-27.582	-4627.0	-19649.	19621.	17774.
113	-24.425	-4070.7	-17984.	17960.	16317.
115	-21.521	-3636.8	-15913.	15891.	14427.
117	-19.511	-3492.4	-13605.	13586.	12225.
119	-6.9649	-3652.7	-11823.	11817.	10481.
121	-10.985	-3794.7	-11653.	11642.	10286.
132	-27.907	-6727.7	-20614.	20586.	18186.
134	-31.345	-4943.6	-20107.	20075.	18125.
136	-26.103	-4315.1	-19637.	19611.	17857.
138	-24.899	-3660.9	-18599.	18574.	17049.
140	-22.480	-2874.0	-16915.	16893.	15663.
142	-20.580	-2113.8	-14697.	14677.	13750.
144	-9.2769	-1600.7	-12425.	12416.	11701.
146	-10.280	-1397.9	-11032.	11022.	10398.
157	-17.844	-4770.8	-15137.	15120.	13391.
159	-23.397	-3820.1	-16186.	16162.	14638.
161	-20.543	-3398.1	-16712.	16691.	15285.
163	-20.736	-2717.2	-16575.	16554.	15384.
165	-19.296	-1684.2	-15729.	15710.	14947.
167	-10.776	-348.07	-14201.	14191.	14025.
169	1133.8	-13.357	-11944.	13078.	12544.
171	2452.7	-10.451	-9242.5	11695.	10679.

182	9.7086	-1745.8	-6441.7	6451.4	5777.3
184	-1.8147	-1830.4	-8610.1	8608.2	7855.2
186	-4.0057	-1541.5	-10033.	10029.	9355.1
188	-3.2327	-886.03	-10949.	10946.	10532.
190	320.10	-30.584	-11275.	11595.	11424.
192	2126.3	-12.216	-10928.	13054.	12127.
194	4529.8	-12.623	-9559.0	14089.	12455.
196	7383.0	-5.8482	-6122.0	13505.	11713.

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
207	5654.6	2291.0	-28.419	5683.0	4949.3
209	3622.3	952.02	-68.970	3691.2	3301.4
211	2917.7	168.06	-398.75	3316.4	3072.5
213	3084.3	42.477	-1680.8	4765.1	4179.0
215	4140.6	21.088	-3098.8	7239.4	6289.4
217	6047.9	20.731	-3905.9	9953.8	8684.0
219	8817.8	1.3262	-4137.5	12955.	11461.
221	12573.	3.0793	-1559.4	14132.	13420.
232	21812.	8339.2	10.716	21801.	19055.
234	20440.	5955.7	15.342	20425.	18197.
236	18761.	5303.7	2.5643	18758.	16749.
238	16969.	5234.1	-3.3637	16973.	15053.
240	15459.	5309.7	-6.7101	15466.	13610.
242	14686.	5752.0	-5.1706	14691.	12821.
244	15583.	5953.0	-16.925	15600.	13634.
246	16393.	3984.9	8.1267	16385.	14803.
257	33391.	12026.	33.191	33358.	29266.
259	32346.	9582.5	40.881	32305.	28748.
261	30993.	8860.8	37.201	30956.	27622.
263	29045.	8825.1	32.598	29013.	25767.
265	26382.	9308.5	27.466	26355.	23154.
267	23113.	10438.	20.152	23093.	20031.
269	19623.	11902.	9.0035	19614.	17114.
271	17281.	9004.9	16.002	17265.	14957.
281	51.983	-3126.5	-13196.	13248.	11979.
283	28405.	24.301	-726.55	29132.	28764.
285	18797.	6.6080	-984.49	19782.	19305.
287	8262.5	591.90	-9.9968	8272.5	7988.6
289	592.11	6.3953	-4376.6	4968.7	4703.3
291	-0.48133	-596.03	-13285.	13284.	12997.
293	-9.1487	-1306.2	-19556.	19547.	18932.
295	-13.227	-1786.3	-22700.	22687.	21855.
297	-19.018	-2199.9	-22665.	22646.	21638.
299	177.07	-3204.1	-6798.3	6975.4	6041.8
301	227.34	-2908.2	-6668.7	6896.1	5980.3
303	-9.2607	-5423.9	-6833.8	6824.6	6240.2
305	-55.619	-4288.9	-6070.7	6015.1	5351.5
307	-42.283	-3295.6	-6466.2	6423.9	5563.4

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
27902	0.43127	0.12873E-04	-0.64378E-02	0.43771	0.43452
27906	0.42829	0.26967E-06	-0.44761E-02	0.43277	0.43055
27910	0.42336	-0.45748E-05	-0.34927E-02	0.42685	0.42512
27914	0.41694	-0.82114E-05	-0.33666E-02	0.42031	0.41864
27918	0.41030	-0.61604E-05	-0.32451E-02	0.41354	0.41193
27922	0.40378	-0.51514E-05	-0.28393E-02	0.40662	0.40521
27926	0.39626	-0.44810E-05	-0.35679E-02	0.39983	0.39806
27930	0.27504	0.14400E-02	-0.27827E-04	0.27507	0.27434
27932	0.28871	0.47321E-03	-0.40786E-04	0.28875	0.28850
27934	0.30533	-0.19792E-04	-0.35004E-03	0.30568	0.30552
27936	0.31860	-0.12872E-04	-0.38468E-03	0.31899	0.31880
27938	0.33376	0.51625E-04	-0.46700E-03	0.33422	0.33396
27940	0.34962	0.19269E-06	-0.13636E-03	0.34975	0.34969
27942	0.36656	0.30737E-03	-0.44120E-04	0.36661	0.36643
27944	0.37521	0.17609E-04	-0.10815E-02	0.37629	0.37574
27946	0.40923	-0.10098E-03	-0.51219E-02	0.41435	0.41187
27948	0.42769	-0.83182E-03	-0.71325E-02	0.43482	0.43171
27950	0.49217	-0.19161E-02	-0.13452E-01	0.50562	0.49995
27952	0.55333	-0.11911E-02	-0.34102E-01	0.58743	0.57169
27954	0.67336	-0.29518E-02	-0.73682E-01	0.74704	0.71431
27956	0.72864	-0.19406E-02	-0.12688	0.85552	0.80040
27960	0.36120	0.21654E-03	-0.40035E-05	0.36120	0.36109
27964	0.37857	0.11297E-03	-0.14434E-04	0.37859	0.37852
27968	0.39662	0.91741E-03	-0.14165E-04	0.39664	0.39617
27972	0.41476	0.93996E-03	-0.15375E-04	0.41478	0.41430
27976	0.42891	0.54561E-03	-0.13196E-03	0.42904	0.42870
27980	0.44663	0.20233E-02	-0.36614E-04	0.44667	0.44564
27984	0.46727	0.39734E-02	-0.43003E-04	0.46731	0.46531

27988	0.48627	0.56014E-02	-0.68663E-05	0.48628	0.48350
27992	0.52377	0.13567E-01	-0.10992E-04	0.52378	0.51712
27996	0.56067	0.12896E-01	-0.77300E-04	0.56074	0.55437
28000	0.63138	0.18132E-02	-0.15220E-03	0.63153	0.63055
28004	0.72406	-0.12134E-03	-0.68068E-01	0.79213	0.76044
28008	0.90715	0.52985E-03	-0.15754	1.0647	0.99511
28012	1.0349	0.56445E-03	-0.35312	1.3880	1.2493
28015	0.89376	-0.46115E-04	-0.45563	1.3494	1.1890
28017	0.83139	0.10708E-02	-0.83246E-04	0.83148	0.83090
28019	0.85723	0.16233E-03	-0.79105E-04	0.85731	0.85718

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
28021	0.88110	0.12645E-03	-0.92329E-04	0.88120	0.88109
28023	0.91078	-0.51224E-04	-0.28419E-03	0.91106	0.91095
28025	0.93317	0.96415E-05	-0.21838E-03	0.93339	0.93328
28027	0.96013	0.14643E-03	-0.38469E-04	0.96016	0.96007
28029	0.98646	0.68865E-03	-0.47094E-04	0.98651	0.98614
28031	1.0066	0.31067E-02	-0.10174E-03	1.0067	1.0051
28033	1.0196	0.55443E-02	-0.51761E-03	1.0201	1.0171
28035	1.0251	0.46623E-02	-0.27318E-02	1.0278	1.0241
28037	0.99926	0.37878E-02	-0.14210E-01	1.0135	1.0046
28039	0.98761	0.30586E-02	-0.51479E-01	1.0391	1.0129
28041	0.91461	0.85594E-02	-0.15743	1.0720	0.99944
28043	0.92762	0.56870E-02	-0.34331	1.2709	1.1373
28046	1.6484	0.16081E-04	-1.1972	2.8456	2.4747
28050	0.63848	-0.12232E-05	-0.19465E-02	0.64043	0.63945
28054	0.65977	0.50155E-05	-0.24973E-02	0.66227	0.66102
28058	0.67999	0.37974E-05	-0.33487E-02	0.68334	0.68167
28062	0.70468	0.32299E-05	-0.11143E-02	0.70579	0.70523
28066	0.72285	0.49542E-05	-0.34674E-02	0.72632	0.72459
28070	0.74209	0.69106E-06	-0.42477E-02	0.74634	0.74422
28074	0.76181	0.28959E-05	-0.71457E-02	0.76895	0.76540
28078	0.77454	0.22937E-04	-0.11461E-01	0.78600	0.78032
28082	0.77660	0.22391E-04	-0.25678E-01	0.80228	0.78975
28086	0.79741	-0.30776E-05	-0.58079E-01	0.85549	0.82798
28090	0.82931	-0.58861E-05	-0.15148	0.98079	0.91451
28094	0.96492	-0.91344E-05	-0.31288	1.2778	1.1536
28098	1.1280	-0.69157E-03	-0.71072	1.8387	1.6061
28102	1.4976	-0.78411E-03	-1.0967	2.5942	2.2557
28106	0.25050E-02	0.17953E-05	-0.21389	0.21639	0.21515
28108	0.24572E-02	0.67912E-04	-0.22084	0.22329	0.22211
28110	0.23282E-02	0.50843E-04	-0.22687	0.22920	0.22807
28112	0.21295E-02	0.70209E-04	-0.23333	0.23546	0.23444
28114	0.19958E-02	0.12264E-03	-0.23961	0.24160	0.24067
28116	0.14015E-02	-0.62991E-04	-0.24538	0.24678	0.24605
28118	0.86566E-03	-0.19223E-03	-0.25080	0.25167	0.25114
28120	0.26796E-03	-0.22953E-02	-0.25463	0.25490	0.25363
28122	0.52020E-03	-0.59833E-02	-0.24373	0.24425	0.24107
28124	0.85193E-02	-0.43465E-02	-0.23908	0.24760	0.24142
28126	0.59129E-01	-0.33304E-02	-0.22922	0.28835	0.26275

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
28369	0.50092E-02	-0.95422E-03	-2.7839	2.7889	2.7859
28371	0.54839E-02	-0.31189E-03	-2.8598	2.8652	2.8624
28373	0.50017E-02	-0.68893E-03	-2.9285	2.9335	2.9307
28375	0.47449E-02	-0.14914E-03	-3.0074	3.0121	3.0097
28377	0.42581E-02	-0.54821E-03	-3.0730	3.0772	3.0748
28379	0.14544E-02	-0.62009E-02	-3.1335	3.1350	3.1311
28381	0.39015E-02	-0.51401E-03	-3.1453	3.1492	3.1469
28383	0.22975E-02	-0.42096E-02	-3.1865	3.1888	3.1855
28385	0.14845E-01	-0.17006E-01	-3.1698	3.1846	3.1688
28387	0.56332E-01	-0.38081E-01	-3.1523	3.2086	3.1625
28389	0.35366	-0.21867E-02	-2.9435	3.2972	3.1345
28391	0.79741	-0.37206E-01	-2.9744	3.7719	3.4315
28393	2.2429	-0.56382E-01	-3.3862	5.6291	4.9021
28395	3.1270	-0.95377E-02	-3.6832	6.8102	5.9039
28398	8.2846	0.21631E-03	-7.7778	16.062	13.913
28402	0.61800E-01	-0.98826E-05	-1.5148	1.5766	1.5466
28406	0.59918E-01	0.20186E-04	-1.5554	1.6153	1.5862
28410	0.55621E-01	0.29190E-04	-1.5976	1.6532	1.6261
28414	0.52433E-01	0.45628E-06	-1.6358	1.6883	1.6627
28418	0.50711E-01	0.32920E-04	-1.6714	1.7221	1.6973
28422	0.50702E-01	-0.20259E-04	-1.6903	1.7410	1.7162
28426	0.86143E-01	-0.45983E-04	-1.6677	1.7539	1.7124
28430	0.13363	0.12225E-04	-1.7023	1.8359	1.7729
28434	0.29574	0.95452E-04	-1.8078	2.1035	1.9724
28438	0.70489	0.94208E-03	-2.0627	2.7676	2.4913
28442	1.9898	0.21424E-02	-2.6322	4.6220	4.0158

28446	3.2265	0.14660E-01	-3.4923	6.7188	5.8205
28450	6.5096	0.59993E-02	-5.7300	12.240	10.607
28454	7.5306	-0.35137E-05	-7.2527	14.783	12.803
28458	3.4673	0.12202E-02	-0.31806E-02	3.4705	3.4683
28460	3.5640	0.39737E-03	-0.35206E-02	3.5675	3.5656
28462	3.6582	0.11595E-03	-0.39303E-02	3.6622	3.6601
28464	3.7511	0.21723E-03	-0.35816E-02	3.7547	3.7528
28466	3.8395	0.37008E-02	-0.17561E-02	3.8413	3.8386
28468	3.9281	0.44482E-03	-0.27097E-02	3.9308	3.9292
28470	3.9694	0.87380E-02	-0.37100E-03	3.9698	3.9653
28472	4.0205	0.17508E-03	-0.91419E-02	4.0297	4.0250
28474	3.9950	0.14075E-01	-0.10611E-01	4.0056	3.9933

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
28590	2.2277	-0.13510E-02	-2.2454	4.4731	3.8738
28594	1.5801	-0.77313E-03	-0.87475	2.4549	2.1552
28598	1.2828	-0.41929E-03	-0.37383	1.6566	1.5050
28602	1.1594	-0.15974E-03	-0.15019	1.3096	1.2414
28606	1.1559	0.57073E-04	-0.91255E-01	1.2471	1.2041
28610	1.2404	-0.16790E-04	-0.54706E-01	1.2951	1.2686
28614	1.2591	-0.52031E-04	-0.55651E-01	1.3147	1.2878
28618	1.2598	-0.74561E-04	-0.59625E-01	1.3194	1.2907
28622	1.2667	-0.57195E-04	-0.62301E-01	1.3290	1.2990
28626	1.2610	-0.42228E-04	-0.66591E-01	1.3276	1.2956
28630	1.2603	-0.80649E-05	-0.67605E-01	1.3279	1.2954
28634	0.11295E-01	0.17346E-03	-1.8195	1.8308	1.8253
28636	0.87136E-02	0.59834E-03	-1.8329	1.8416	1.8370
28638	0.79642E-02	-0.35620E-03	-1.8462	1.8542	1.8500
28640	0.70347E-02	-0.56549E-03	-1.8553	1.8624	1.8586
28642	0.33518E-02	-0.33188E-02	-1.8521	1.8555	1.8521
28644	0.36436E-02	0.61217E-04	-1.8675	1.8711	1.8693
28646	0.47356E-03	-0.96219E-02	-1.8171	1.8176	1.8125
28648	0.12040E-01	-0.38410E-03	-1.7847	1.7967	1.7905
28650	0.28807E-01	-0.11621E-01	-1.7095	1.7383	1.7184
28652	0.12748	-0.43898E-01	-1.7297	1.8572	1.7777
28654	0.60980	-0.27044E-02	-1.6776	2.2874	2.0509
28656	1.2467	-0.37048E-01	-1.9670	3.2137	2.8018
28658	2.8298	-0.54491E-01	-2.7490	5.5788	4.8323
28660	3.4899	-0.51725E-02	-3.3204	6.8103	5.8986
28664	0.12509	0.76671E-05	-0.61051	0.73559	0.68171
28668	0.12344	0.46584E-04	-0.59029	0.71373	0.66073
28672	0.11642	0.26319E-04	-0.57135	0.68777	0.63759
28676	0.11074	0.76014E-04	-0.54560	0.65634	0.60860
28680	0.10282	0.27475E-03	-0.48934	0.59216	0.54813
28684	0.63010E-01	0.11861E-04	-0.44137	0.50438	0.47602
28688	0.72076E-01	-0.64766E-03	-0.34726	0.41933	0.38812
28692	0.23275	0.81691E-04	-0.38098	0.61373	0.53666
28696	0.56309	0.33641E-02	-0.53544	1.0985	0.95141
28700	1.1962	0.83224E-03	-1.0754	2.2717	1.9682
28704	2.6145	0.75692E-03	-1.6729	4.2874	3.7426
28708	3.8264	0.14060E-01	-2.5848	6.4113	5.5854
28712	7.0469	0.54495E-02	-5.0151	12.062	10.495

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
28716	7.7190	0.19776E-03	-6.7267	14.446	12.520
MINIMUM VALUES					
NODE	3379	3379	3379	20999	20999
VALUE	-7312.4	-10575.	-32424.	0.54773E-03	0.50003E-03
MAXIMUM VALUES					
NODE	257	54	4132	257	257
VALUE	33391.	12795.	2095.3	29266.	33358.

Akibat Beban Gelombang pada Hs = 5.51 meter

PRINT 5 NODAL SOLUTION PER NODE

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 0 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
1	-497.03	-9014.4	-38259.	37762.	34306.
2	37128.	8083.6	-925.49	38054.	34444.
4	-50.797	-6294.6	-58447.	58396.	55538.
6	-33.248	-4355.2	-51243.	51210.	49191.
8	-18.896	-2135.8	-37632.	37613.	36601.
10	1439.8	-26.078	-20923.	22363.	21667.
12	9350.1	3.0184	-6595.0	15945.	13877.
14	24927.	129.66	-210.47	25137.	24969.
16	41096.	3154.2	19.697	41076.	39602.
18	52611.	5681.5	42.952	52568.	49988.
20	923.05	-15035.	-16861.	17784.	16945.
22	29454.	8415.1	61.297	29393.	26233.
24	26803.	5759.6	6.4391	26797.	24434.
26	14111.	618.99	-1374.5	15485.	14591.
28	8883.4	37.488	-5932.4	14816.	12911.
30	710.24	77.357	-11566.	12277.	11973.
32	-43.388	-8456.7	-18064.	18021.	15618.
34	63.406	-19566.	-24401.	24464.	22441.
36	562.29	-15583.	-25469.	26031.	22760.
38	17882.	14236.	-1927.7	19810.	18262.
40	0.10048E+06	53392.	361.92	0.10011E+06	86752.
42	0.10716E+06	60826.	414.69	0.10674E+06	92711.
44	79631.	43271.	297.13	79334.	68784.
46	36478.	10831.	-120.08	36598.	32536.
48	187.12	-5512.9	-30922.	31109.	28687.
50	-281.54	-35871.	-70709.	70427.	60993.
52	-358.83	-51503.	-92446.	92087.	79913.
54	-290.64	-45511.	-83369.	83078.	72042.
57	-38.574	-8524.0	-30285.	30247.	27022.
59	-65.950	-5652.6	-27467.	27401.	25079.
61	745.49	-192.09	-16319.	17065.	16616.
63	6020.7	32.270	-9808.3	15829.	13843.
65	13313.	883.39	137.51	13175.	12819.
67	20195.	10322.	283.81	19912.	17244.
69	27680.	25557.	114.26	27565.	26568.
71	27791.	21656.	-327.26	28119.	25608.
82	-63.964	-17257.	-51878.	51814.	45711.
84	-58.583	-9790.3	-39972.	39913.	36046.

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 0 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
86	-41.776	-3064.1	-28257.	28215.	26832.
88	3912.9	-26.300	-16312.	20224.	18571.
90	11489.	-4.9393	-3446.9	14936.	13547.
92	19656.	10809.	5.6544	19651.	17046.
94	28008.	25501.	9.9327	27998.	26832.
96	42654.	26668.	57.128	42597.	37271.
107	-58.076	-15293.	-45085.	45027.	39668.
109	-58.015	-7935.7	-34318.	34260.	31080.
111	-32.082	-2445.3	-24660.	24628.	23514.
113	3063.4	-22.440	-15234.	18297.	16966.
115	9057.9	-6.4156	-5776.7	14835.	12952.
117	15915.	4108.8	9.9570	15905.	14303.
119	22785.	16616.	-28.514	22813.	20440.
121	35784.	27124.	36.478	35748.	32300.
132	-37.849	-10750.	-33153.	33115.	29268.
134	-34.508	-5234.5	-25170.	25135.	22981.
136	-15.176	-1497.6	-18254.	18239.	17545.
138	2269.7	-16.347	-11799.	14068.	13076.
140	6366.0	-6.0133	-5732.2	12098.	10482.
142	11097.	314.74	-33.411	11130.	10960.
144	17085.	8398.6	-29.281	17114.	14822.
146	27290.	17718.	13.667	27277.	23970.
157	4.4196	-4123.1	-17795.	17799.	16137.
159	9.8886	-1429.3	-13681.	13691.	13031.
161	321.58	-52.916	-10136.	10458.	10276.
163	2005.7	-8.5651	-7015.3	9021.0	8201.5
165	3907.2	-3.6520	-4338.9	8246.1	7144.5
167	5920.4	7.6551	-1797.7	7718.1	6992.5
169	9558.9	701.94	-21.103	9580.0	9239.8
171	16824.	1560.4	-166.32	16990.	16196.
182	6121.9	16.650	-3284.4	9406.3	8265.9
184	5312.3	7.4725	-3314.3	8626.6	7536.4

186	4446.9	1.7866	-3165.1	7612.0	6623.1
188	3653.3	0.40686	-3220.4	6873.7	5956.7
190	2924.4	-0.25058	-3607.3	6531.7	5666.9
192	1878.6	-6.0086	-4195.8	6074.3	5385.3
194	1264.5	4.2299	-6653.7	7918.3	7369.4
196	2351.4	-69.687	-13788.	16139.	15075.

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 0 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
2566	4636.1	-2138.8	-0.12072E+07	0.12118E+07	0.12085E+07
2568	4441.6	-3036.5	-0.13472E+07	0.13516E+07	0.13479E+07
2570	6080.3	-7904.4	-0.14936E+07	0.14997E+07	0.14927E+07
2572	10657.	-13122.	-0.16430E+07	0.16537E+07	0.16419E+07
2574	43624.	-11798.	-0.18011E+07	0.18447E+07	0.18177E+07
2576	-0.17592E+06	-0.21938E+06	-0.16880E+07	0.15121E+07	0.14908E+07
2578	692.37	-0.34042E+06	-0.19564E+07	0.19571E+07	0.18108E+07
2580	1553.6	-0.30110E+06	-0.17905E+07	0.17920E+07	0.16615E+07
2582	100.60	-0.24638E+06	-0.14044E+07	0.14045E+07	0.12989E+07
2584	3133.8	-0.33710E+06	-0.13862E+07	0.13893E+07	0.12543E+07
2586	3270.4	-0.37020E+06	-0.14089E+07	0.14122E+07	0.12674E+07
2588	1841.8	-0.40114E+06	-0.13785E+07	0.13804E+07	0.12295E+07
2590	726.54	-0.40670E+06	-0.15160E+07	0.15167E+07	0.13596E+07
2592	0.30046E+06	0.27303E+06	-0.14287E+07	0.17292E+07	0.17156E+07
2594	0.15640E+06	29.460	-0.22321E+07	0.23885E+07	0.23143E+07
2596	39358.	126.56	-0.22121E+07	0.22515E+07	0.22321E+07
2598	83757.	-28.850	-0.21897E+07	0.22735E+07	0.22328E+07
2600	0.11593E+06	521.61	-0.22019E+07	0.23178E+07	0.22623E+07
2602	0.16035E+06	-0.16406E+06	-0.18377E+07	0.19981E+07	0.18572E+07
2604	0.12383E+06	2782.3	-0.21301E+07	0.22539E+07	0.21959E+07
2606	0.14774E+06	-526.61	-0.21084E+07	0.22562E+07	0.21858E+07
2608	0.17420E+06	-110.08	-0.22070E+07	0.23812E+07	0.22990E+07
2610	0.16264E+06	-0.62688E+06	-0.14891E+07	0.16518E+07	0.14309E+07
2612	0.70346E+06	27481.	-0.27254E+07	0.34288E+07	0.31458E+07
2614	0.45393E+06	-0.42442E+07	-0.10296E+08	0.10750E+08	0.93344E+07
2616	0.26328E+06	-0.96050E+06	-0.13196E+07	0.15828E+07	0.14373E+07
2618	0.11054E+07	-0.44607E+06	-0.30399E+07	0.41453E+07	0.36275E+07
2620	0.11228E+07	-0.33149E+06	-0.54377E+07	0.65605E+07	0.59677E+07
2622	0.20527E+07	-0.12546E+07	-0.12212E+08	0.42651E+08	0.77321E+08
2624	0.10352E+07	0.72957E+06	0.12003E+06	0.91515E+06	0.80698E+06
2626	0.16021E+07	0.48130E+06	72121.	0.15300E+07	0.13719E+07
2628	0.33106E+07	-6042.4	-0.20168E+06	0.35122E+07	0.34186E+07
2630	0.83651E+07	0.84561E+06	-0.94867E+06	0.93137E+07	0.85588E+07
2633	2079.0	-193.19	-75262.	77341.	76230.
2635	6882.4	-364.45	-95237.	0.10212E+06	98695.
2637	7331.2	-462.18	-0.12335E+06	0.13068E+06	0.12697E+06
2639	10831.	-912.00	-0.17767E+06	0.18851E+06	0.18292E+06
2641	17220.	-1066.9	-0.23302E+06	0.25024E+06	0.24162E+06



***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 0 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
8289	0.47810E+06	7.4698	-13324.	0.49143E+06	0.48490E+06
8290	0.43220E+06	0.27290E+06	-10.516	0.43221E+06	0.37859E+06
8291	0.41443E+06	0.23876E+06	-6.4878	0.41443E+06	0.36029E+06
8292	0.17649E+06	52472.	-0.13121	0.17649E+06	0.15698E+06
8293	0.22398E+06	28208.	-23117.	0.24710E+06	0.22585E+06
8295	0.18458E+06	35640.	-0.67677E-02	0.18458E+06	0.16959E+06
8297	0.19249E+06	23473.	-0.42110E-02	0.19249E+06	0.18189E+06
8299	0.20113E+06	15091.	-0.74399E-02	0.20113E+06	0.19403E+06
8301	0.21104E+06	9967.1	-0.66727E-01	0.21104E+06	0.20624E+06
8303	0.22260E+06	7695.1	-0.87644	0.22260E+06	0.21886E+06
8305	0.23557E+06	9083.6	-9.5883	0.23558E+06	0.23116E+06
8307	0.25142E+06	18059.	-27.777	0.25144E+06	0.24291E+06
8310	0.37872E+06	0.10797E+06	78101.	0.30062E+06	0.28686E+06
8312	6.1733	-4899.4	-33369.	33375.	31213.
8314	0.10973	-1976.1	-76306.	76306.	75338.
8316	4042.9	-0.45756	-0.13907E+08	0.14312E+06	0.14114E+08
8318	3.8647	-38370.	-0.28722E+08	0.28722E+06	0.27009E+08
8320	1133.0	532.57	-0.91135E-01	1133.1	981.84
8322	28.897	-4523.9	-29824.	29853.	27857.
8324	0.34160	-4962.8	-24054.	24054.	21997.
8326	886.08	-4.0339	-17626.	18512.	18083.
8328	6185.4	-0.18466	-8711.8	14897.	12963.
8330	10965.	0.50206	-2153.3	13118.	12185.
8332	14862.	2014.4	-0.31968E-02	14862.	13964.
8334	17878.	4418.6	-0.50632E-03	17878.	16130.
8336	19505.	5356.6	-0.36219E-01	19505.	17454.
8338	19450.	5039.1	-0.20957E-01	19450.	17484.
8340	17324.	3746.7	-0.14360E-01	17324.	15788.
8342	13454.	2421.6	-0.16102E-01	13454.	12421.
8345	12851.	632.21	-0.19346E-02	12851.	12546.

8347	18362.	0.11738E-01	-1071.3	19433.	18920.
8349	26049.	0.15133	-2185.8	28235.	27208.
8351	35422.	0.96545E-01	-2684.9	38107.	36838.
8353	46755.	0.11791	-2176.4	48932.	47880.
8355	60008.	0.22044	-531.46	60540.	60276.
8357	75126.	2426.8	-0.65241E-02	75126.	73943.
8359	91879.	6894.4	-0.17341	91879.	88633.
8361	0.10966E+06	12798.	-0.42293E-02	0.10966E+06	0.10386E+06

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 0 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
8363	0.12788E+06	19968.	-0.84604E-01	0.12789E+06	0.11916E+06
8365	0.14586E+06	28236.	-0.55966E-01	0.14586E+06	0.13400E+06
8367	0.16245E+06	37010.	-0.50336E-02	0.16245E+06	0.14747E+06
8369	0.17683E+06	45433.	-0.35765E-01	0.17683E+06	0.15906E+06
8371	0.18806E+06	52497.	-0.62333E-01	0.18806E+06	0.16808E+06
8373	0.19531E+06	57327.	-1.6880	0.19531E+06	0.17388E+06
8614	0.43513E+06	0.35111	-0.11459E+06	0.54972E+06	0.50233E+06
8615	0.41419E-02	-5526.0	-26853.	26853.	24560.
8616	64399.	10124.	-0.30653E-02	64399.	59981.
8617	30030.	4418.8	-0.59967E-03	30030.	28082.
8618	3573.9	-0.38853	-38938.	42512.	40842.
8619	347.77	0.25940	-11096.	11444.	11274.
8620	37656.	7603.4	-0.23373E-03	37656.	34489.
8621	25847.	3617.6	-0.36741E-01	25847.	24241.
8622	38615.	7130.7	-0.16886E-02	38615.	35590.
8623	31797.	2039.9	-0.13097E-01	31797.	30827.
8624	18849.	3253.5	-0.27317E-01	18849.	17451.
8625	80451.	7334.0	-0.79869E-02	80451.	77046.
8626	19231.	316.69	-0.94206E-03	19231.	19075.
8627	38459.	7647.2	-0.38331E-02	38459.	35263.
8628	0.10253E+06	13198.	-0.45943E-02	0.10253E+06	96613.
8629	42935.	9333.6	-0.38375E-03	42935.	39113.
8630	8845.3	0.14278E-01	-2742.4	11588.	10489.
8631	54684.	11615.	-0.60569E-03	54684.	49900.
8632	65784.	13249.	-0.47494E-02	65784.	60262.
8633	80246.	13666.	-0.22123E-02	80246.	74361.
8634	0.11210E+06	6314.6	-0.19235E-01	0.11210E+06	0.10908E+06
8635	0.12435E+06	10295.	-0.10639E-01	0.12435E+06	0.11954E+06
8636	29435.	5079.0	-0.36317E-03	29435.	27253.
8637	35690.	7031.9	-0.18924E-02	35690.	32745.
8638	44522.	9163.0	-0.38028E-02	44522.	40721.
8639	0.11765E+06	888.39	-1.1482	0.11765E+06	0.11721E+06
8640	25352.	2199.6	-0.63691E-03	25352.	24327.
8641	24822.	3387.6	-0.28570E-03	24822.	23313.
8642	27824.	5142.8	-0.10343E-02	27824.	25642.
8643	35508.	6250.4	-0.28739E-02	35508.	32832.
8644	45447.	8016.9	-0.42009E-02	45447.	42016.
8645	57330.	10582.	-0.37188E-03	57330.	52840.

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 0 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
28021	40.028	-7.4938	-45357.	45397.	45373.
28023	57.420	6.8209	-46808.	46865.	46840.
28025	46.184	-3.5672	-47979.	48025.	48000.
28027	33.187	-6.8726	-49488.	49521.	49501.
28029	42.591	0.10948	-50747.	50789.	50768.
28031	33.893	-16.273	-51963.	51997.	51972.
28033	55.859	4.8349	-53496.	53552.	53527.
28035	38.792	4.1540	-54675.	54714.	54696.
28037	41.220	4.0507	-56135.	56176.	56157.
28039	26.815	-10.042	-57209.	57236.	57217.
28041	21.502	-15.401	-58309.	58331.	58312.
28043	9.0295	-37.542	-58806.	58815.	58792.
28046	640.74	-2.4484	-37569.	38210.	37893.
28050	415.29	0.86506E-01	-27689.	28105.	27899.
28054	432.10	-0.41700	-28494.	28926.	28713.
28058	457.84	0.45706	-29309.	29766.	29540.
28062	291.51	-1.5246	-30289.	30581.	30435.
28066	470.38	0.56628	-30953.	31424.	31191.
28070	263.36	-1.0735	-31917.	32181.	32049.
28074	424.82	-1.6575	-32665.	33090.	32879.
28078	433.21	0.43381	-33470.	33903.	33689.
28082	273.65	-0.16956E-01	-34449.	34722.	34586.
28086	341.26	0.52020	-35222.	35564.	35395.
28090	262.51	-0.39510	-36099.	36361.	36231.
28094	383.69	0.32795	-36798.	37182.	36992.
28098	528.79	0.34259	-37288.	37816.	37555.
28102	606.18	-0.54648	-37523.	38129.	37829.
28106	27.420	-26.308	-42693.	42720.	42693.
28108	38.273	-5.0251	-44043.	44081.	44060.

28110	43.137	-3.0159	-45371.	45414.	45391.
28112	46.695	-0.24952	-46703.	46750.	46727.
28114	47.052	0.41932	-48052.	48100.	48076.
28116	38.072	-3.8733	-49377.	49415.	49394.
28118	41.410	-1.7178	-50714.	50755.	50733.
28120	43.036	-3.2136	-52036.	52079.	52056.
28122	45.367	0.53940	-53357.	53402.	53380.
28124	35.495	1.0527	-54660.	54696.	54678.
28126	41.380	4.6777	-56101.	56143.	56124.

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 0 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
28128	28.546	-7.8663	-57174.	57203.	57185.
28130	22.886	-13.816	-58291.	58314.	58295.
28132	9.7287	-36.190	-58798.	58808.	58785.
28136	603.98	-0.48412	-37529.	38133.	37834.
28140	522.63	0.39249	-37290.	37813.	37554.
28144	381.00	0.35816	-36789.	37170.	36981.
28148	250.50	-0.36578	-36088.	36339.	36214.
28152	335.58	0.41232	-35186.	35522.	35355.
28156	367.99	0.26354	-34346.	34714.	34532.
28160	366.98	-0.39429E-01	-33552.	33919.	33737.
28164	368.24	-0.44186	-32680.	33048.	32865.
28168	369.83	0.44798E-01	-31844.	32214.	32030.
28172	376.27	-0.17912E-01	-31022.	31398.	31212.
28176	402.22	0.42733E-01	-30168.	30570.	30371.
28180	410.56	0.17593E-01	-29334.	29744.	29541.
28184	404.76	-0.15524	-28507.	28912.	28712.
28188	435.07	0.35318E-01	-27632.	28068.	27853.
28191	25836.	86.923	-3.4465	25839.	25794.
28193	19210.	10.046	-106.49	19317.	19259.
28195	19755.	-0.86472	-115.85	19871.	19814.
28197	20398.	4.1906	-103.86	20502.	20448.
28199	20994.	-4.9063	-112.88	21107.	21053.
28201	21518.	4.2939	-96.596	21614.	21564.
28203	22238.	7.2074	-86.422	22324.	22277.
28205	22691.	-1.1473	-121.58	22812.	22752.
28207	23359.	-0.11885	-90.828	23449.	23404.
28209	23923.	-4.9894	-89.726	24012.	23970.
28211	24528.	6.3590	-79.228	24607.	24564.
28213	25135.	-3.4079	-82.571	25217.	25178.
28215	25600.	3.4448	-74.343	25674.	25635.
28217	25721.	21.637	-39.344	25760.	25730.
28219	25918.	32.867	-16.346	25935.	25910.
28222	4300.2	2.8517	-614.36	4914.6	4636.9
28226	4799.1	-0.55217	-899.53	5698.6	5306.6
28230	5543.3	-2.2064	-1332.4	6875.7	6316.5
28234	6221.3	-1.0382	-1540.7	7762.0	7118.1
28238	6286.3	-0.49270E-01	-1459.9	7746.3	7129.3
28242	6126.9	-0.73031	-1607.9	7734.8	7069.6

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 0 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
28246	6226.8	-0.20034	-1558.8	7785.6	7135.1
28250	6055.3	-0.28904	-1673.6	7729.0	7043.0
28254	5970.9	0.97395	-1786.2	7757.1	7035.9
28258	5989.4	0.83823	-1592.6	7582.0	6924.2
28262	5825.6	-0.91323	-1877.2	7702.8	6957.1
28266	5784.3	0.89086	-1679.3	7463.6	6781.5
28270	5669.8	-0.61991	-1865.9	7535.8	6797.8
28274	5559.3	0.21716	-1851.8	7411.0	6680.4
28278	5554.1	-0.17451	-1901.6	7455.7	6710.2
28282	19147.	5.9136	-108.59	19256.	19199.
28284	19789.	0.83424	-110.88	19900.	19845.
28286	20366.	1.3220	-110.19	20476.	20420.
28288	20956.	0.38289	-106.99	21063.	21009.
28290	21568.	0.88480	-102.05	21670.	21619.
28292	22141.	4.0181	-97.821	22239.	22188.
28294	22718.	-1.9498	-104.84	22823.	22771.
28296	23378.	-2.9946	-101.44	23480.	23431.
28298	23856.	3.2884	-85.772	23942.	23897.
28300	24500.	5.0538	-79.129	24580.	24538.
28302	25111.	-5.4656	-88.076	25199.	25158.
28304	25584.	3.0958	-75.427	25660.	25621.
28306	25718.	20.290	-41.824	25759.	25728.
28308	25920.	31.840	-17.961	25938.	25914.
28312	5471.8	-0.17051	-1892.1	7363.9	6623.8
28316	5619.7	0.97648E-01	-1843.6	7463.4	6733.6
28320	5696.6	-0.12236	-1841.5	7538.1	6806.8
28324	5768.3	-0.12474	-1805.7	7574.0	6852.0
28328	5875.3	-0.57061E-01	-1760.7	7635.9	6925.6

28332	5933.7	-0.10918	-1733.3	7667.0	6964.1
28336	5991.3	0.34860	-1684.3	7675.7	6987.3
28340	6168.2	0.31926	-1700.0	7868.2	7170.9
28344	6128.5	-0.47514	-1677.6	7806.1	7117.3
28348	6141.3	-0.53407	-1580.2	7721.5	7065.4
28352	6297.9	-0.20787E-01	-1451.3	7749.3	7135.2
28356	6245.5	-1.0073	-1553.9	7799.4	7150.6
28360	5590.7	-2.1609	-1357.8	6948.5	6379.6
28364	4850.8	-0.62936	-934.15	5784.9	5379.3
28367	2.3678	-102.40	-55142.	55144.	55092.

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 0 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
28369	60.288	-18.483	-40233.	40293.	40254.
28371	74.950	-2.7701	-41507.	41582.	41543.
28373	83.227	-0.47306	-42685.	42768.	42727.
28375	69.329	-4.2587	-43974.	44044.	44007.
28377	87.128	2.5699	-45238.	45325.	45283.
28379	70.711	-9.2830	-46379.	46449.	46410.
28381	66.662	1.6268	-47702.	47769.	47737.
28383	89.341	7.1365	-48941.	49031.	48990.
28385	60.746	-14.737	-50043.	50104.	50066.
28387	51.441	-4.3497	-51362.	51413.	51385.
28389	72.114	4.7288	-52504.	52576.	52543.
28391	32.740	-26.476	-53435.	53468.	53438.
28393	21.709	-14.642	-54470.	54491.	54473.
28395	10.002	-35.410	-54917.	54927.	54904.
28398	620.76	-3.4010	-37109.	37729.	37421.
28402	654.92	0.11729	-27744.	28399.	28077.
28406	634.87	0.24482E-01	-28556.	29191.	28879.
28410	627.04	-0.11028	-29378.	30005.	29696.
28414	627.19	0.20886	-30158.	30785.	30476.
28418	552.96	-1.3420	-31031.	31584.	31310.
28422	629.20	0.75386	-31756.	32385.	32076.
28426	497.09	0.22591	-32670.	33168.	32922.
28430	535.49	-1.6805	-33500.	34035.	33770.
28434	638.79	0.70154	-34138.	34777.	34463.
28438	428.87	0.34190	-35061.	35490.	35277.
28442	517.10	-0.21279	-35782.	36299.	36043.
28446	603.73	0.87172E-01	-36299.	36903.	36605.
28450	473.29	0.49436	-36900.	37374.	37139.
28454	644.27	-0.80061	-37017.	37661.	37343.
28458	61.683	-16.500	-40290.	40352.	40313.
28460	72.466	-3.8821	-41544.	41617.	41579.
28462	82.306	-0.60687	-42767.	42849.	42808.
28464	81.031	-0.77216	-44033.	44114.	44073.
28466	72.019	-5.6081	-45204.	45276.	45237.
28468	80.943	3.2558	-46555.	46636.	46598.
28470	63.676	-4.6693	-47722.	47785.	47751.
28472	86.154	5.3059	-48988.	49074.	49034.
28474	73.499	-2.8352	-50170.	50243.	50205.

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 0 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
28716	329.13	-4.3609	-2884.0	3213.2	3060.1

MINIMUM VALUES
 NODE 3379 2614 3387 16802 16802
 VALUE -0.29252E+07 -0.42442E+07 -0.13670E+08 17.781 15.744

MAXIMUM VALUES
 NODE 3395 12176 9510 2622 2622
 VALUE 0.12316E+08 0.739E+07 0.745E+06 0.4265E+08 0.77321E+08

Akibat beban gelombang pada Hs = 5.51 meter pada daerah kritis

PRINT 5 NODAL SOLUTION PER NODE

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 0 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
2546	0.33731E+06	1094.6	-0.19061E+06	0.52791E+06	0.46286E+06
2548	0.14312E+06	-5498.0	-0.29585E+06	0.43898E+06	0.38671E+06
2550	0.16760E+06	-3321.8	-0.33164E+06	0.49924E+06	0.43946E+06
2552	0.55385E+06	0.27451E-01	-0.28007E+06	0.83392E+06	0.73505E+06
3009	0.49869E+06	170.54	-0.11723E+06	0.61592E+06	0.56642E+06
3011	0.44080E+06	53.475	-0.19608E+06	0.63688E+06	0.56495E+06
3014	0.39130E+06	1957.5	-0.28494E+06	0.67623E+06	0.58787E+06
3017	2007.1	-0.18782E+06	-0.52498E+06	0.52699E+06	0.46229E+06
3019	0.30317E+06	905.36	-0.37841E+06	0.68158E+06	0.59152E+06
3021	9.3621	-0.28959E+06	-0.88781E+06	0.88782E+06	0.78420E+06
3379	-0.29252E+07	-0.40170E+07	-0.12635E+08	0.97097E+07	0.92125E+07
3381	-0.69959E+06	-0.85102E+06	-0.16781E+07	0.97853E+06	0.91229E+06
3383	-0.34065E+06	-0.53221E+06	-0.36349E+07	0.32943E+07	0.32028E+07
3385	-0.60984E+06	-0.63903E+06	-0.60100E+07	0.54002E+07	0.53857E+07
3387	-0.10358E+07	-0.12247E+07	-0.13670E+08	0.12635E+08	0.12541E+08
3391	0.10638E+07	3.1699	-0.17101E+07	0.27739E+07	0.24239E+07
3393	0.34561E+07	0.27128E+06	-0.11160E+07	0.45721E+07	0.40603E+07
3395	0.12316E+08	0.69581E+06	-0.56153E+06	0.12877E+08	0.12297E+08
3705	67.174	-0.34458E+06	-0.54427E+06	0.54434E+06	0.47695E+06
3709	121.67	-0.32630E+06	-0.59008E+06	0.59021E+06	0.51209E+06
3719	0.61765E+06	9795.6	-0.11271E+07	0.17447E+07	0.15339E+07
3720	0.92277E+06	81886.	-77.596	0.92285E+06	0.88472E+06
3721	0.10003E+07	620.64	-0.30934E+06	0.13096E+07	0.11854E+07
3814	0.65607E+06	-3005.6	-0.10633E+07	0.17194E+07	0.15025E+07
3815	0.99747E+06	307.78	-0.13865E+07	0.23840E+07	0.20737E+07
3816	0.46579E+07	0.93512E+06	-43172.	0.47011E+07	0.42963E+07
3817	0.63893E+07	70218.	-0.11608E+08	0.17997E+08	0.15815E+08
3818	0.61281E+06	-0.82754E+06	-0.10181E+08	0.10794E+08	0.10151E+08
3819	0.87273E+06	2408.2	-0.26367E+06	0.11364E+07	0.10295E+07
5361	0.17605E+07	0.29350E+06	-394.01	0.17609E+07	0.16339E+07
5372	0.58391E+06	-41267.	-0.14929E+07	0.20768E+07	0.18454E+07
5373	0.48135E+06	-1547.8	-0.21511E+07	0.26325E+07	0.24273E+07
5376	0.21193E+07	-861.32	-0.24215E+07	0.45408E+07	0.39353E+07
5397	0.15431E+07	-1639.7	-0.20867E+07	0.36298E+07	0.31551E+07
5401	0.17163E+07	-3960.1	-0.15338E+07	0.32500E+07	0.28162E+07
5404	0.98943E+06	25521.	-0.30371E+07	0.40265E+07	0.36415E+07
5410	0.36335E+07	0.45623E+06	-0.20522E+06	0.38388E+07	0.35545E+07
5411	0.34266E+07	3504.5	-0.26583E+07	0.60849E+07	0.52834E+07

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 0 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
5418	0.17679E+07	-6765.0	-0.13095E+08	0.30774E+08	0.26756E+08
5426	0.14473E+06	-88623.	-0.73207E+07	0.87681E+07	0.78653E+07
5427	0.12718E+07	0.55406E+06	-86493.	0.13583E+08	0.11770E+08
5862	0.95922E+06	-286.35	-0.26899E+07	0.36491E+08	0.32765E+08
5867	0.31504E+06	-32.999	-0.27627E+07	0.30777E+07	0.29329E+08
5874	0.87954E+06	-109.86	-0.24190E+07	0.32985E+07	0.29585E+08
5877	0.38926E+06	849.47	-0.11957E+07	0.15850E+07	0.14309E+08
5879	0.56274E+07	630.59	-0.12899E+07	0.69173E+08	0.63708E+08
5882	0.75286E+07	1542.3	-0.12457E+08	0.19985E+09	0.11085E+09
5883	3746.5	-0.41159E+06	-0.10085E+08	0.10089E+07	0.98879E+07
6519	52.113	-36.903	-0.66074E+06	0.66079E+07	0.66075E+07
6521	175.75	-10.652	-0.48119E+06	0.48137E+07	0.48128E+07
6523	243.21	0.27619	-0.33408E+06	0.33432E+07	0.33420E+07
6525	14.503	-149.56	-0.22235E+06	0.22237E+07	0.22228E+07
6613	1166.1	-25.165	-0.26032E+06	0.26149E+07	0.26090E+07
6615	1214.5	-0.75919	-0.34046E+06	0.34167E+07	0.34107E+07
6617	3660.8	-3.3235	-0.43586E+06	0.43952E+07	0.43770E+07
6619	1919.2	-0.37358	-0.55327E+06	0.55519E+07	0.55423E+07
12176	0.28980E+07	0.13739E+07	-0.23743E+07	0.52723E+07	0.13730E+08
12178	0.33659E+06	0.11665E+06	-0.41063E+07	0.44429E+07	0.43371E+07
12180	-28782.	-70753.	-0.40000E+07	0.39713E+07	0.39504E+07
12182	80826.	4891.3	-0.39220E+07	0.40028E+07	0.39654E+07
12250	0.54153E+06	-654.49	-0.32368E+07	0.37784E+08	0.35386E+08
12251	347.56	-0.22245E+06	-0.33472E+07	0.33475E+08	0.32419E+08
12256	3275.0	-75392.	-0.51734E+07	0.51767E+08	0.51378E+08
12257	0.49396E+07	-52.958	-0.86126E+08	0.13552E+09	0.11079E+09
12542	0.18477E+07	-5935.6	-0.30927E+08	0.49404E+08	0.43227E+08
12545	0.63992E+06	-10937.	-0.31042E+07	0.37441E+08	0.34649E+08
12547	41909.	-0.15829E+06	-0.42333E+07	0.42752E+08	0.41787E+08
12549	258.91	-0.13565E+06	-0.41781E+07	0.41784E+08	0.41121E+08
12551	4313.9	-0.23985E+06	-0.41675E+07	0.41718E+08	0.40552E+08
12577	0.39954E+07	-0.16797E+06	-0.14782E+07	0.54737E+08	0.49503E+08

12581	0.10042E+07	-7497.1	-0.83738E+07	0.93780E+08	0.89153E+08
12585	16505.	-0.20913E+06	-0.45720E+07	0.45885E+08	0.44800E+08
12589	58781.	-4943.8	-0.38046E+07	0.38634E+08	0.38319E+08
12593	0.10787E+06	-2847.7	-0.33333E+07	0.34412E+08	0.33872E+08
12636	0.24341E+07	7554.4	-0.40481E+07	0.64823E+08	0.56726E+08
12639	0.57539E+06	10878.	-0.22138E+07	0.27891E+08	0.25541E+08

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 0 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
 SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP

NODE	S1	S2	S3	SINT	SEQV
12641	0.54270E+06	-14198.	-0.42327E+07	0.47754E+07	0.45227E+07
12643	435.67	-0.33948E+06	-0.41678E+07	0.41682E+07	0.40091E+07
12645	68603.	-25368.	-0.35740E+07	0.36426E+07	0.35966E+07
12671	0.10748E+08	9631.9	-0.11151E+07	0.11864E+08	0.11343E+08
12675	0.16550E+07	-5315.2	-0.77707E+07	0.94256E+07	0.87149E+07
12679	12932.	-0.43804E+06	-0.46220E+07	0.46350E+07	0.44267E+07
12683	2052.2	-84486.	-0.42244E+07	0.42264E+07	0.41838E+07
12687	2464.7	-0.20914E+06	-0.43169E+07	0.43194E+07	0.42175E+07

MINIMUM VALUES

NODE	3379	3379	3387	6525	6525
VALUE	-0.29252E+07	-0.40170E+08	-0.13670E+08	0.22237E+076	0.22228E+07

MAXIMUM VALUES

NODE	3395	12176	3720	5882	5882
VALUE	0.12316E+08	0.13739E+08	-77.596	0.10085E+09	0.11082E+09

LAMPIRAN E
LEMBAR ASISTENSI

**LEMBAR ASISTENSI (LOGBOOK)
TUGAS AKHIR (MO.091336)
Jurusan Teknik Kelautan, FTK - ITS**

Judul Tugas Akhir : Keendalian Crane Pedestal's Scantling FPSO Belanak terhadap Beban Kelelahan		
Nama Mahasiswa: Dhani Tri Prasetyo NRP: 4305100054		
Pembimbing: 1. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D. 2. Ir. Handayani, M.Sc., Ph.D.		
Target Aktivitas :	Waktu	
<ul style="list-style-type: none"> • Finalisasi hasil-hasil lanjut • Penulisan BAB IV Analisa dan Pembahasan 	3 Minggu	
Tanggal	Uraian Asistensi Tugas Akhir	Tanda tangan Pembimbing
2/7/20	- Gas ditunjukkan ke Koordinator TA Hg perantara sistem selim waga UTA	
5/7/20	- Transfer ke arah percepatan dari CA vessel ke vessel lainnya - Beban angin → beban fatigue - Beban angkat crane → perhitungan	Hdyp
6/7/20	• Perhitungan analisa fatigue - Draft TA. - Lembaran	Hdyp
6/7/20	- Pelajari aspek keendalian → pengaruh pers. MK dgn variabel 3 mpa → termasuk faktor? ketidakefektifan	

LEMBAR ASISTENSI (LOGBOOK)
TUGAS AKHIR (MO.091336)
Jurusan Teknik Kelautan, FTK - ITS

Judul Tugas Akhir : Keandalan Crane Pedestal's Scantling FPSO Betanak terhadap Beban Kelelahan	
Nama Mahasiswa: Dhani Trie Prasetyo	NRP: 4305100054
Pembimbing: 1. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D. 2. Ir. Handayana, M.Sc., Ph.D.	

Target Aktivitas : <ul style="list-style-type: none"> ● Perbaikan BAB IV dan diselesaikan ● Pengambilan kesimpulan ● Pembuatan Abstrak (Indonesia dan Inggris) ● Penyelesaian TA 	Waktu
	3 Minggu

Tanggal	Uraian Asistensi Tugas Akhir	Tanda tangan Pembimbing
7/7'16	- Bagaimana menentukan variabel desain Δ ?	
	- Referensi ?	
	- Bagaimana menentukan uncertainties variabel-variabel dan model Monte Carlo ?	
8/7'16	- Jelaskan urutan analisis dan hasil secara ringkas dan Bab Pembahasan	
9/7'16	- Lengkapilah penomoran Bab, Gambar, Tabel, Kerangka	

LEMBAR ASISTENSI (LOGBOOK)
TUGAS AKHIR (MO.091336)
 Jurusan Teknik Kelautan, FTK - ITS

Judul Tugas Akhir : Keandalan Crane Pedestal's Scantling FPSO Belanak terhadap Beban Kelelahan	
Nama Mahasiswa: Dhani Trie Prasetyo	NRP: 4305100054
Pembimbing: 1. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D. 2. Ir. Mandayana, M.Sc., Ph.D.	

Target Aktivitas : ● Seminar TA ● Siap maju Ujian TA (P3)	Waktu
	2 Minggu

Tanggal	Uraian Asistensi Tugas Akhir	Tanda tangan Pembimbing
8/7/10	Deskripsi model FEM - jenis elemen, nodes, nama → elemen busys. - syarat batas & pembebanan - Sensitivity analysis model FEM	Hedy
8/7/10	- Sejinis sudah dilabrakan - Koreksi kerumputan Pembahasan + perbincangan	
13/7/10	- Koreksi editing - selesaikan sensitivity analysis	Hedy

BIODATA PENULIS



Dhani Trie Prasetyo, lahir di Cilacap pada hari Minggu Wage, tanggal 17 Mei 1987. Menempuh pendidikan formal di TK Pertiwi Adipala, SD Negeri Adipala 2, SLTP Negeri 2 Maos, dan SMA Negeri 1 Cilacap, semuanya berada di Kabupaten Cilacap. Pada tahun 2005, melanjutkan studi Strata 1 di Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS Surabaya melalui jalur SPMB dan terdaftar dengan NRP.4305100054. Di Jurusan ini, bidang keahlian yang diambil adalah bidang Struktur Bangunan Laut. Selama perkuliahan juga aktif di berbagai organisasi. UKM yang pernah diikuti adalah UKM Sepakbola, UKM Olahraga Air dan UKM Lembaga Pers Mahasiswa 1.0. Pernah menjabat sebagai Koordinator Komisi Internal Legislatif Mahasiswa ITS (2007-2008) dan Staff Departemen PSDM Himatekla (2006-2007). Berbagai pelatihan, seminar dan perlombaan juga pernah diikuti dalam rangka untuk pengembangan diri diantaranya adalah Latihan Ketrampilan Manajemen Mahasiswa Pra-Tingkat Dasar FTK 2005, Bakti ITS 2006, Pelayaran IPTEK FTK 2006, Seminar Dasar *Survey* dan Inspeksi Lambung Kapal 2006, Seminar "Kewirausahaan dengan Pemanfaatan Potensi Laut Indonesia" 2006, Seminar *Hydromodelling Training* 2006, Latihan Ketrampilan Manajemen Mahasiswa Tingkat Dasar JTK 2007, *One Day Entrepreneurship Seminar* 2007, Seminar *Entrepreneurship and Leadership in Maritime and Shipping* 2007, Seminar Nasional dan Dialog Lembaga Legislatif se-Indonesia 2007, Debat Mahasiswa "Dosen *Mroyek*, pantas atau tidak?" 2007, SACS™ *Inplace Analysis Course* 2007, *Outbond Training Plus* FTK-ITS 2008, Gerak Jalan Perjuangan Mojokerto-Surabaya memperingati Hari Pahlawan 2008, Seminar "Peran Riset Kelautan dalam Pemanfaatan Potensi Sumber Daya Kelautan di Indonesia" 2008 dan Kompetisi Karya Tulis Mahasiswa FTK 2009. Pada akhir studinya, Penulis mengambil Tugas Akhir sebagai syarat kelulusan pendidikan Strata 1, dengan judul "Keandalan *Crane Pedestal's Scantling* FPSO Belanak terhadap Beban Kelelahan".

e-mail: ghanisetyo@gmail.com