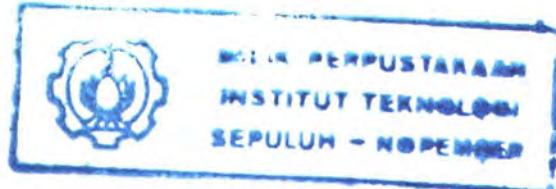


23.569/H/05



**TUGAS AKHIR  
LL 1327**

**ANALISA UMUR KELELAHAN  
STRUKTUR JACKET MONOTOWER APN-A  
DENGAN MENGGUNAKAN KURVA S-N  
BERDASARKAN PENDEKATAN KEANDALAN**



R5Ke  
627.98  
Jat  
a-1  
—  
2005

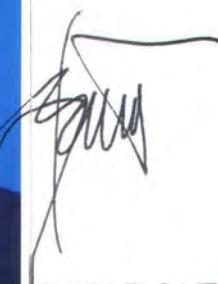
**OLEH:**  
**FAJAR SATRIO JATI**  
**NRP. 4300 100 013**

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	5-8-2005
Terima Itari	H
No. Agenda Prp.	723052

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2005**

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISA UMUR KELELAHAN STRUKTUR JACKET MONOTOWER APN-A DENGAN MENGGUNAKAN KURVA S-N BERDASARKAN PENDEKATAN KEANDALAN

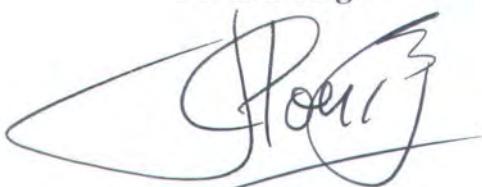


**FAJAR SATRIO JATI**  
NRP 4300.100.013

Surabaya, 29 Juli 2005

Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I



**Ir. Murdjito, M.Sc.Eng.**  
NIP. 132 149 376

Pembimbing II



**Dr. Ir. Eko B. Djatmiko, M.Sc.**  
NIP. 131 407 592

Ketua Jurusan Teknik Kelautan



**Ir. Imam Rochani, M.Sc**  
NIP. 131 417 209



# ABSTRAK

*A long time ago...  
in the galaxy far away...*

## ABSTRAK

Oleh : Fajar Satrio Jati

Dosen Pembimbing : Ir.Murdjito,M.Sc.Eng dan Ir.Eko Budi Djatmiko, M.Sc, Ph.D

Analisa umur kelelahan (*fatigue life*) merupakan bagian yang sangat penting dalam suatu proses *assessment* struktur bangunan lepas pantai, terutama pada struktur dimana pengaruh beban lingkungan yang bersifat siklis, seperti beban gelombang, memiliki peran yang sangat dominan terhadap kekuatan struktur. Pada analisa umur kelelahan banyak sekali dijumpai faktor ketidaktentuan, baik dari sisi beban gelombang yang berperilaku acak dan maupun dari sisi kekuatan strukturnya. Untuk mengatasi masalah ketidaktentuan tersebut, perlu dilakukan analisa dengan pendekatan probabilistik atau analisa berbasis keandalan dan resiko (*risk & reliability analysis*). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui umur kelelahan struktur *jacket* berbasis keandalan. Sebagai studi kasus diambil struktur *Jacket Monotower APN-A* milik BP West Java. Kegagalan struktur akibat kelelahan akan timbul ketika akumulasi dari kerusakan sudah melampaui batas kritis. Struktur ini memiliki periode natural sebesar 3,58 detik sehingga menurut API RP 2A WSD dalam memperkirakan umur kelelahannya perlu dilakukan pendekatan stokastik (*spectral fatigue analysis*) dimana umur kelelahan dihitung berdasarkan fluktuasi beban yang diterima struktur selama operasi. Analisa keandalan struktur terhadap kelelahan dilakukan menggunakan metode *Advanced First Order Second Moment* (AFOSM) dengan mengambil harga indeks keandalan ( $\beta$ ) sebesar 2,0 sebagai target level keandalan struktur, yakni ekivalen dengan peluang kegagalan 0,023. Hasil analisa menunjukkan target level keandalan akan terlampaui pada saat umur struktur mencapai 52 tahun. Sehingga struktur tersebut masih mempunyai keandalan yang sangat memadai sampai dengan umur perencanaan yang ditetapkan, yakni 24 tahun, dimana indeks keandalan ( $\beta$ ) pada saat tersebut masih berada pada harga 2,98.

Kata-kata kunci: *spectral fatigue analysis*, kurva S-N, *closed form fatigue equation*, AFOSM, indeks keandalan

## ABSTRACT

By : Fajar Satrio Jati

Under Supervision: Ir. Murdjito,M.Sc.Eng and Ir.Eko Budi Djatmiko, M.Sc, Ph.D

Fatigue life analysis plays an important role in offshore structure assessment where large amounts of cyclic environment loading, such as wave, affect the structural strength. In fatigue life analysis, there are lots of uncertainties due to random wave loading and for that reason the risk and reliability analysis needs to be performed. The objective of this paper is to develop design methods for fatigue reliability of jacket structure, using the Jacket Monotower APN-A, which is owned by BP West Java as the study case. The fatigue failure occurs when accumulated damage has exceeded a critical level. The platform natural period is 3,58 second and based on API-RP 2A WSD, the fatigue life should be evaluated by using the probabilistic methods (*spectral fatigue analysis*) where the design-fatigue can be determined based on fluctuation of loads during the lifetime of the structure. Taking the reliability index ( $\beta$ ) of 2,0 for the target reliability level or equivalent with 0,023 probability of failure, by using the Advanced First Order Second Moment method (AFOSM), the fatigue reliability analysis is performed to calculate the platform fatigue life. The structure is considered to be reliable for 24 years design life where the reliability index ( $\beta$ ) is 2,98. The minimum fatigue life of the structure is 52 years, where the reliability index has been exceeded the minimum target reliability level.

Keywords: *spectral fatigue analysis*, S-N curve, *closed form fatigue equation*, AFOSM, reliability index

## KATA PENGANTAR

Assalamu`alaikum Wr. Wb.

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunianya kepada penulis, serta terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan segenap kemampuan yang penulis miliki. Tugas Akhir ini yang berjudul **“Analisa Umur Kelelahan Struktur Jacket Monotower APN-A Dengan Menggunakan Kurva S-N Berdasarkan Pendekatan Keandalan”**.

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan (S1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Tugas akhir ini menganalisa umur kelelahan struktur *Jacket Monotower APN-A* milik BP West Java yang beroperasi di perairan laut Jawa dengan pendekatan keandalan. Berdasarkan hasil analisis, maka dapat diketahui bahwa struktur tersebut masih memenuhi kriteria keandalannya untuk umur perencanaan selama 24 tahun.

Penulis menyadari bahwa karya ini masih belum sepenuhnya sempurna, sehingga masih banyak pekerjaan dan penelitian yang dapat dilanjutkan. Selain itu penulis mohon maaf atas segala kekurangan dan senantiasa membuka diri untuk masukan dan kritik demi tercapainya kesempurnaan penelitian ini.

Akhir kata, penulis berharap semoga karya dan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi dan sumbangannya pemikiran bagi dunia ilmu pengetahuan, industri bangunan lepas pantai, dan terutama bagi penulis sendiri.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, Juli 2005

Fajar Satrio Jati

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penyelesaian Tugas Akhir ini tidaklah terlepas dari bantuan dari beberapa pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada::

1. Kedua orangtua penulis, ibunda **Tri Murti Hastuti**, beserta ayahanda **Agus Nugroho**, terima kasih atas kasih sayang, kesabaran, dukungan, dan doa yang senantiasa ibu & bapak panjatkan kepada-NYA. Segala kebaikan dan kebijakan yang ada di dunia tidak akan dapat menggantikan apa yang telah ibu & bapak berikan.
2. Adikku, **Rizky Bayu Antarikso**, terimakasih atas bantuan dan dukungan morilnya. Cepet selesai ya kuliahnya, biar ga ngerepotin bapak & ibu terus.
3. **Ir. Imam Rochani, M.Sc**, selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS. Terimakasih atas segala bimbingan bapak selama penulis menempuh studi di kampus Teknik Kelautan FTK-ITS.
4. **Dr. Ir. Handayanu, M.Sc**, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS. Terima kasih atas bimbingan dan tambahan referensi yang saya butuhkan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. **Dr. Drs. M. Mustain, M.Sc**, selaku Dosen Wali yang senantiasa membimbing selama menempuh masa studi di Jurusan Teknik Kelautan ITS.
6. **Ir. Murdjito, M.Sc**, selaku Dosen Pembimbing I dan Kepala Lab. Opres. Terima kasih banyak atas segala bimbingan, arahan, dukungan, dan pengalaman yang sangat berharga dari bapak. Selain itu terima kasih juga atas kesempatan yang bapak berikan pada saya untuk berkarya di Lab. Opres yang sudah seperti rumah kedua bagi saya. Mohon maaf apabila selama ini saya sudah terlalu merepotkan bapak.
7. **Dr. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc**, selaku Dosen Pembimbing II. Terima kasih atas bimbingan, arahan dan waktu yang telah bapak luangkan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Satu *quote* favorit dari bapak yang akan selalu saya ingat, "*in pursuit of excellence...*".
8. **Ir. Ahmad Taufik dan Budi Kristyanto, ST**, dari PT. Surveyor Indonesia. Terima kasih banyak atas saran, masukan, dan terutama topik penelitian yang sangat berharga ini, sehingga penelitian ini akhirnya dapat terealisasi.
9. **Ir. Vincentius Rumawas, S.Psi**, terima kasih atas bimbingan dan kesempatan yang telah bapak berikan untuk lebih mengenal lebih jauh tentang dunia bawah laut.
10. Seluruh dosen Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS, terima kasih atas bimbingannya selama penulis menempuh studi di Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS. Semoga segala ilmu dan pengalaman berharga yang telah penulis terima tidak akan sia-sia dan dapat berguna di masyarakat.
11. **BP West Java Ltd.** dan **PT Paramuda Jaya**, terima kasih atas data-data yang dibutuhkan untuk pengerjaan Tugas Akhir ini. Pak Mahmud, Mas Rumanto dan Mas Hendri, terima kasih atas kesempatan, bimbingan, dan pengalaman kerja yang sangat berharga dalam pengerjaan proyek di Lab. Opres.
12. **PT Caputra Shipyard** dan **PT Biro Klasifikasi Indonesia**, terima kasih atas bimbingan dan kesempatan yang diberikan untuk melaksanakan Kerja Praktek.
13. Seluruh staf dan karyawan Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS, pak Teguh, pak Daud, bu Nur, bu Lies, cak Man, mas Slamet, mas Suhud, terima kasih atas segala

bantuannya selama ini. Cak Rie, bu Daud, bu Djadi, terima kasih makanan, jajanan, dan tempat "cangkruk"-nya.

14. Komunitas Lab. Opres (Rizal, Yoshi, Tedi, Muhammad, pak Suyuthi ST., Deni, Alexis, Budi, Ferry), terima kasih atas pengalaman-pengalaman berharga yang takkan terlupakan.
15. Saudara-saudaraku di Lab. Opres (Breh, Aan, Eko "monyet", Joko "gemblung") terima kasih atas segala kerjasama, pengertian, dan menjadi teman untuk saling berbagi susah dan keceriaan selama berada di Lab. kita tercinta ini.
16. Rekan-rekan seperjuangan TA di Lab.(Sita "be-bah", Pras "tolong...", Lilik "banci", Bun"ita", Eko "monyet"(lagi), Joko "gemblung"(lagi)). Akhirnya segala kerja keras kita selama ini membawa hasil.
17. Rekan-rekan L'00; Reza, Dodon, Aan, Catur (thanks for being my bestfriend...kapan kita road trip lagi?); Sita, Monyet (Irba?Irba?); 3 orang optimis: Handi, Alif, Randy; Jazil (may the force be with you...); cewe2 2000 : Prasidha (rrrr...ggggh), Lilik, Rury, Santi, Maulid, Winda, Devi, Indahyu, Yayuk, Mila; Erfan (hayo...udah ditungguin Desi tuh...), Curut (ayo...ojo ng#\$%\*lan 'ae...); para alumni: Cukong, Kusuma, Bambang, Asof, Catur "narco", Dedi, Susie "cabul", Arisfin, Lister, dll; arek2 lainnya: Jaelani, Dhani, Deni, Wisnu, Aris, dll. Terima kasih atas kebersamaan, kekompakan, dan semua kenangan indah yang sudah kita lalui bersama.
18. Seluruh warga Teknik Kelautan ITS, Mas-mas, mbak-mbak (Dain, Jenik, Medi, Bun-bun, Kadafi, Udin, Milka, Diah, Rouf, Harinto, Sigit, Vikri, Itop, Satrio, Vivian, Cecep, Imam, Alin), dan Adek-adek (Eko, Friska, Silvy, Lenny, Helen, Derita, Abe, Zaky, Yeyen, Nanang, Nining, Mel, Wilna, Yono, Astrid, Doe, Luthfi, Vlad, dll) Thanks for all the wonderfull times we've been through.
19. Generasi penerus Lab. Opres (Abe "ga mandi", Adi "gepeng", SDA "curut", Vladimir) terima kasih atas segala dukungannya. (tolong jaga Lab ya? jangan kabur terus...)
20. Sahabat-sahabat di kampung Bumi Serpong Damai (Fadly, Wita, Ucup, Novi, Enta, Tilly & Kocel), terima kasih buat dukungan, sharing, dan keceriaan selama ini.
21. Komunitas Selam UK-AIR ITS (Herman, Maha, Cukong, Aan, Alexis, Zaky, Abe, Kuro, Mr. Klantung, Mr. Guntoro, Mr. Huda), terima kasih atas pengalaman, kerjasama dan solidaritas yang tinggi, ingatlah selalu motto kita "Dive now, work later...".
22. Warga J-4 (Irma, Iloet, Aan), J-3 (Sigit, Suryo, Suroso, Lubab, Helmi), T-91 (Oom, Bomber, Kajol, J, Rizal, Bogie, Hanif), terima kasih buat semuanya selama ini.
23. Semua pihak yang juga turut membantu, yang tidak dapat disebut satu persatu, terima kasih atas segalanya.
24. *Last but not least, Shanty Permatahati, Thank you for always stays beside me through all the good times and bad. I couldn't finish this masterpiece without your full support. Wishing all the best for you, for me, and for both of us.*

Surabaya, Juli 2005

Fajar Satrio Jati

*With all my love,  
I dedicate this final project to the greatest parents in the world...  
Mom...Dad...  
Thank you for everything...*

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
ABSTRAK .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL .....	x
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. LATAR BELAKANG MASALAH .....	1
1.2. PERUMUSAN MASALAH .....	6
1.3. TUJUAN PENELITIAN .....	6
1.4. MANFAAT PENELITIAN .....	6
1.5. RUANG LINGKUP PENELITIAN .....	6
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN .....	7
 <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI</b>	
2.1. TINJAUAN PUSTAKA .....	9
2.2. LANDASAN TEORI .....	11
2.2.1. Konsep Gelombang .....	11
2.2.2. Spektrum Gelombang .....	18
2.2.3. Analisa Umur Kelelahan ( <i>Fatigue Analysis</i> ) .....	19
2.2.4. Metode Palmgren-Miner .....	20
2.2.5. Tipe Sambungan .....	21
2.2.6. Faktor Konsentrasi Tegangan .....	22
2.3. SPECTRAL FATIGUE ANALYSIS .....	23
2.3.1. Teori Spektrum Gelombang Pierson-Moskowitz ...	23

2.3.2. <i>Response Amplitude Operator</i> (RAO) .....	25
2.3.3. <i>Linier Response Spectra</i> .....	26
2.3.4. Kurva S-N .....	27
2.3.5. Distribusi Rentang Tegangan Akibat Eksitasi Gelombang Acak .....	29
2.3.6. Persamaan Kelelahan Terangkai .....	33
2.4. KONSEP DASAR ANALISA KEANDALAN .....	35
2.4.1. Keandalan Pada Sistem Rekayasa .....	36
2.5. INDEKS KEANDALAN .....	38
2.5.1. Metode <i>Mean Value First Order Second Moment</i> ..	39
2.5.2. Metode <i>Advanced First Order Second Moment</i> ....	42

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1. PENGUMPULAN DATA .....	46
3.1.1. <i>Code dan Standard</i> .....	46
3.1.2. Data Perencanaan .....	47
3.1.3. Data Struktur .....	48
3.1.4. Data Lingkungan .....	49
3.2. PERMODELAN STRUKTUR .....	54
3.3. PEMBEBANAN STRUKTUR .....	54
3.3.1. Permodelan Beban .....	54
3.3.2. Analisa Permodelan Struktur .....	56
3.4. ANALISA SPEKTRA KURUN WAKTU PANJANG ...	57
3.5. PERHITUNGAN UMUR KELELAHAN .....	57
3.6. ANALISA KEANDALAN STRUKTUR .....	59

### **BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1. ANALISA UMUR KELELAHAN STRUKTUR .....	61
4.1.1. Perhitungan Periode Natural Struktur .....	61
4.1.2. Penentuan <i>Joint</i> Kritis .....	62
4.1.3. Perhitungan Respon Tegangan Struktur .....	63
4.1.4. Perhitungan Umur Kelelahan Struktur .....	65
4.2. ANALISA KEANDALAN STRUKTUR TERHADAP	

KELELAHAN .....	68
4.2.1. Perhitungan Indeks Keandalan dan Peluang Kegagalan	
Struktur .....	68
4.2.2. Target Level Keandalan .....	71

## BAB V PENUTUP

5.1. KESIMPULAN .....	74
5.2. SARAN .....	74

## DAFTAR PUSTAKA

### LAMPIRAN :

- Umum SK Tugas Akhir, Lembar asistensi
- Lampiran A Input Data Permodelan dan Pembebanan Struktur
- Lampiran B Output Perhitungan Periode Natural Struktur dari Software GT-Strudl
- Lampiran C Output Respon Tegangan Struktur dari Software GT-Strudl
- Lampiran D Perhitungan RAO Tegangan Struktur
- Lampiran E Perhitungan Spektra Gelombang P-M
- Lampiran F Perhitungan Spektra Respon Tegangan
- Lampiran G Perhitungan Distribusi Rentang Tegangan Kurun Waktu Panjang

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Hasil percobaan S-N untuk K- <i>joint</i> .....	10
Gambar 2.2. Grafik <i>Region of Validity</i> .....	12
Gambar 2.3. Gaya gelombang pada silinder tegak .....	17
Gambar 2.4. Mode Pembebanan Pada Sambungan Tubular .....	21
Gambar 2.5. Spektra Respon Tegangan .....	27
Gambar 2.6. Kurva S-N ( $\Delta$ PI RP 2 $\Delta$ -WSD) .....	29
Gambar 2.7. Mode Operasi Bangunan Laut .....	31
Gambar 2.8. Skema Prediksi Deterministik Kelelahan Bangunan Laut.....	32
Gambar 2.9. Fungsi kerapatan peluang (f <sub>kp</sub> ) dari kapasitas $X$ dan tuntutan $Y$ .....	37
Gambar 2.10. Fungsi distribusi komulatif dan fungsi kerapatan peluang pada angka keamanan $Z=X/Y$ .....	38
Gambar 2.11. Indeks Keandalan dengan metode AFOSM .....	43
Gambar 2.12. <i>Design point</i> pada batas kegagalan untuk fungsi kinerja linear $g=R-Q$ .....	43
Gambar 2.13. <i>Design point</i> pada batas kegagalan untuk fungsi kinerja nonlinear .....	22
Gambar 3.1. Diagram Alir Penggerjaan Tugas Akhir .....	45
Gambar 3.2. <i>Platform Orientation</i> .....	48
Gambar 3.3. Model Struktur APN-A .....	55
Gambar 3.4. Prosedur Penurunan Distribusi Tegangan Dengan Analisa Spektral Kurun Waktu Panjang .....	58
Gambar 3.5. Algoritma AFOSM untuk Analisa Kandalan oleh Beban Kelelahan .....	60
Gambar 4.1. Poses dan Konfigurasi <i>Joint</i> Kritis .....	61
Gambar 4.2. RAO Tegangan Struktur .....	63
Gambar 4.3. Spektra Gelombang Pierson - Moskowitz .....	64
Gambar 4.4. Spektra Respon Tegangan Struktur.....	64
Gambar 4.5. Graik Perhitungan Parameter Weibull ( $\xi$ ) .....	66

Gambar 4.6. Degradasi Indeks Keandalan Terhadap Umur Kelelahan ..... 73

Gambar 4.7. Perubahan Peluang Kegagalan Terhadap Umur Kelelahan .... 73

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Harga $C_D$ dan $C_M$ (API RP 2A-WSD) .....	18
Tabel 3.1. Kecepatan Angin Rata-rata .....	47
Tabel 3.2. Data Puncak Gelombang .....	47
Tabel 3.3. Data Kedalaman dan Elevasi Muka Air .....	49
Tabel 3.4. Data Gelombang .....	50
Tabel 3.5. Distribusi Tinggi Gelombang ( <i>Occurrences</i> ) Perairan Laut Jawa .....	50
Tabel 3.6. Data Kecepatan Arus Pada Tiap Kedalaman .....	53
Tabel 3.7. Data Koefisien Hidrodinamis.....	53
Tabel 3.8. Data Angin .....	54
Tabel 3.9. Data Statistik Variabel Penentu Analisa Keandalan .....	59
Tabel 4.1. Hasil Perhitungan Periode Natural .....	61
Tabel 4.2. Perhitungan Periode Natural BP West Java .....	61
Tabel 4.3. Perhitungan Iteratif Parameter Weibull .....	67
Tabel 4.4. Input Data Formulasi Ambang Keselamatan .....	69
Tabel 4.5. Perhitungan Variabel <i>Design Point</i> .....	70
Tabel 4.6. Hasil Perhitungan <i>Design Point</i> .....	70
Tabel 4.7. Iterasi Perhitungan Indeks Keandalan ( $\beta$ ) .....	70





## **BAB I**

# **PENDAHULUAN**

*I've learned...  
That sometimes all a person needs  
is a hand to hold and a heart to understand.*

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. LATAR BELAKANG

Sejalan dengan waktu, perkembangan teknologi lepas pantai mengalami kemajuan pesat dan mendorong pengembangan teknologi bangunan lepas pantai. Ini dibuktikan dengan adanya berbagai jenis *offshore structure* di lepas pantai yang berfungsi sebagai *production platform*, *wellhead platform*, *service platform* maupun fungsi yang lain. Munculnya struktur-struktur yang lebih memiliki teknologi yang lebih baik meningkatkan hasil eksplorasi yang lebih berkualitas dan pengoperasiannya lebih ekonomis.

Beberapa konsep struktur bangunan lepas pantai yang lazim dioperasikan hingga saat ini dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok utama (Arifin, 2000), yaitu :

##### 1. Anjungan terpanjang (*Fixed Offshore Platform*)

Suatu anjungan lepas pantai dikategorikan sebagai anjungan terpanjang bila anjungan tersebut dalam operasinya bersifat menahan gaya-gaya lingkungan tanpa mengalami *displacement/deformasi* yang berarti (Chakrabarti, 1987). Tipe ini merupakan tipe paling tua dan paling banyak dibangun. Struktur tipe ini hanya ekonomis untuk pengoperasian pada perairan dengan kedalaman 1000–1600 ft. Salah satu kelemahannya adalah biaya produksi dan biaya instalasi struktur baja atau beton terpanjang akan naik secara eksponensial terhadap kedalaman (Albrecht et.al, 1978). Contoh anjungan terpanjang diantaranya adalah *Jacket* dan *Concrete Gravity Platform* (CGV).

##### 2. Anjungan Terapung (*Floating Production Platform*)

Tipe anjungan ini merupakan anjungan yang mempunyai karakter bergerak mengikuti gerakan gelombang. Seringkali anjungan tipe ini dihubungkan dengan dasar laut menggunakan peralatan mekanik seperti kabel atau rantai. Untuk anjungan tipe ini yang utama adalah mobilitas dan kemampuannya mengantisipasi gerakan akibat gelombang dan arus laut (Djatmiko, 1993). Salah satu kelemahannya adalah rendahnya kapasitas *payload* serta kualitas

karakteristik *Seakeeping*. Contoh dari anjungan tipe terapung diantaranya adalah *Semi-submersible* dan *Drilling ships*.

### 3. Anjungan struktur lentur (*Compliant Platform*)

Tujuan pengembangan struktur lentur adalah untuk memenuhi persyaratan fungsi-fungsi khusus seperti faktor ekonomi dan faktor teknis. Prinsip perencanaan umum anjungan struktur lentur adalah mendapatkan solusi optimal terhadap persyaratan-persyaratan fungsi-fungsi tersebut (Patel, 1995). Beberapa contoh dari tipe ini diantaranya adalah *Tension Leg Platform* (TLP), *Guyed Tower*, dan *Articulated Tower*.

*Jacket Platform* merupakan salah satu tipe anjungan struktur terpanjang (*Fixed Platform*). Tipe anjungan ini memanfaatkan kekuatan dari kakinya yang didukung oleh konfigurasi member (*brace*) dan pile yang tertancap sangat dalam untuk menahan *payload* dan beban lateral dari angin, arus dan gelombang yang bekerja pada strukur tersebut.

Desain struktur anjungan lepas pantai harus mampu memberikan keamanan yang cukup terhadap kemungkinan kegagalan struktur selama masa operasi. Selain itu, dalam desain struktur anjungan lepas pantai juga harus mempertimbangkan kemungkinan pemakaian kembali anjungan setelah habis masa operasinya. Lebih dari 50% anjungan lepas pantai dioperasikan lebih panjang dari periode operasi yang direncanakan. Untuk struktur jacket sering sekali harus diperpanjang masa operasinya dikarenakan tuntutan operasi dan pertimbangan ekonomi.

Penilaian Struktur (*Assessment*) digunakan untuk melihat kelayakan dari struktur yang akan digunakan lagi setelah adanya modifikasi atau rencana diopreasikan kembali lebih dari masa pelayanannya (*expand life*). Prosedur seperti ini sudah normal digunakan jika ada perubahan dalam operasional struktur misalnya perubahan dari *unmanned* menjadi *manned* atau sebaliknya, adanya tambahan beban, tambahan struktur ataupun *strengthening* (penguatan). (Tawekal, 2003)

---

Menurut API, perlu dilakukan *assessment* terhadap bangunan lepas pantai yang tergolong dalam kondisi sebagai berikut :

1. Terjadi kecelakaan selama umur pelayanannya.
2. Adanya kerusakan atau cacat (*dented*) pada bagian struktur yang utama yang ditemukan pada waktu inspeksi (API)
3. Adanya perubahan dari desain awal struktur, seperti:
  - Penambahan personel atau fasilitas
  - Modifikasi dari fasilitas penunjang
  - Perubahan keadaan lingkungan
  - Penambahan komponen dari pondasi, perubahan kekuatan dari pondasi.
  - Perubahan fisik dari seabed misalnya, adanya scouring ataupun subsidence.
  - Modifikasi dari struktur yang ada / penambahan struktur.

Kegagalan utama pada struktur lepas pantai yang perlu perhatian khusus diklasifikasikan sebagai kegagalan yang timbul secara langsung (seketika) dan kegagalan yang timbul perlahan seiring bertambahnya beban. Kegagalan yang timbul seketika disebabkan oleh adanya beban yang berlebihan (*overload*) dan melampaui batas kekuatan *ultimate* dari struktur. Kekuatan struktur lepas pantai sangatlah dipengaruhi oleh beban gelombang, terutama pada kondisi gelombang 100 tahunan (*Ultimate Wave Loading*). Pada analisa kekuatan struktur (*Ultimate Strength Analysis*) akan dilakukan penambahan beban gelombang yang mengenai struktur dari berbagai arah sampai struktur tersebut runtuh, Dengan mengetahui beban yang menyebabkan keruntuhan kemudian dapat dicari kekuatan cadangan struktur tersebut (*Reserve Strength Ratio*).

Kegagalan yang timbul perlahan adalah kegagalan akibat kelelahan dimana struktur menerima beban yang berulang secara periodik (siklis). Di bawah pengaruh beban siklis ini, suatu struktur dapat secara gradual mengalami keretakan dan selanjutnya kepecahan, meskipun intensitas tegangan yang timbul masih jauh di bawah batas tegangan mulur statisnya. Bangunan lepas pantai cenderung mengalami kelelahan karena beban lingkungan yang bekerja didominasi oleh gelombang yang bersifat siklis. Disamping itu, faktor-faktor operasi lain pada tingkatan tertentu juga dapat

---

menambah beban siklis ini, sehingga keadaan struktur menjadi bertambah kritis. (Djatmiko, 2003)

Komponen-komponen dasar dari analisa umur kelelahan (Geyer, 1986) 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.

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 Spektral

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

5. Metode *equivalent Weibull*.

Metode ini biasa digunakan oleh DnV. Metode ini menggunakan analisa spektral untuk kemudian mendapatkan distribusi rentang tegangan kurun waktu panjang yang ekivalen dengan distribusi Weibull.

Sebagai suatu bagian dari proses perancangan, analisa umur kelelahan masih memiliki beberapa ketidaktentuan yang dipengaruhi oleh sifat beban yang acak dan adanya faktor ketidakpastian. Sehingga dalam analisa umur kelelahan struktur perlu diambil asumsi-asumsi untuk menyederhanakan ketidaktentuan tersebut. Pada struktur bangunan lepas pantai, ketidaktentuan beban banyak ditemui terutama pada penentuan rentang tegangan. Ketidaktentuan dalam penentuan rentang tegangan merupakan akibat dari beberapa permasalahan seperti:

1. Proses fabrikasi dan *assembly*
2. Identifikasi *sea state*
3. Prediksi beban gelombang
4. Perhitungan beban pada *member*
5. Estimasi faktor konsentrasi tegangan

Selain itu penyederhanaan dalam metode analisis seringkali tidak dapat dihindarkan, karena adanya keterbatasan dalam permodelan fenomena fisik serta kompleksitas masalah yang harus dipecahkan.

Untuk mengatasi masalah ketidaktentuan tersebut dan upaya untuk meningkatkan akurasi analisis dapat dilakukan dengan pendekatan probabilistik. Keuntungan terbesar penerapan metode probabilistik atau yang dewasa ini berkembang dalam bentuk analisa keandalan dan resiko (*risk & reliability analysis*) adalah perancangan akan dapat menghasilkan suatu sistem rekayasa yang lebih efisien dan juga memenuhi kualitas standard yang diharapkan. (Djatmiko, 2003).

Berdasar latar belakang di atas, tugas akhir ini akan melakukan analisa umur kelelahan struktur berbasis keandalan pada *Jacket Monotower* platform APN-A milik BP Indonesia sebagai studi kasus.

## 1.2. PERUMUSAN MASALAH

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini ialah :

1. Berapa besar umur kelelahan struktur
2. Berapa besar indeks keandalan struktur selama pengoperasiannya

## 1.3. TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan yang ingin dicapai dengan penelitian ini ialah :

1. Untuk mengetahui besar umur kelelahan struktur.
2. Untuk mengetahui besar indeks keandalan struktur selama pengoperasiannya.

## 1.4. MANFAAT PENELITIAN

Hasil analisa umur kelelahan ini diharapkan akan memberikan gambaran tentang kekuatan struktur, untuk kemudian dapat dijadikan sebagai salah satu bahan pertimbangan untuk memperpanjang umur operasi struktur, jika dibutuhkan. Selain itu, hasil ini diharapkan pula akan memberikan gambaran indeks keandalan struktur sehingga dapat dipergunakan untuk melakukan analisa lain, seperti memperkirakan jangka waktu yang optimal untuk inspeksi agar struktur tetap handal dan tetap menjalankan fungsinya dengan baik.

## 1.5. RUANG LINGKUP PENELITIAN

Untuk mempersempit permasalahan dan mempermudah perhitungan maka akan dibatasi sebagai berikut :

- Sebagai studi kasus digunakan struktur Jacket APN-A dengan kondisi:
  - Type kaki yang digunakan satu kaki dengan tiga kaki pendukung (*skirt pile*) dan dianggap terpancang dengan tumpuan *fixed*.
  - Type *brace* yang digunakan adalah *K-bracing*.
- Hasil analisa pada geladak tidak ditinjau, yang ditinjau hanya bagian Jacket.
- Perhitungan beban gelombang menggunakan persamaan Morison.
- Pendekatan pada analisa umur kelelahan struktur adalah *semi-probabilistic analysis (SPA)* dengan menggunakan kurva S-N API RP 2A WSD.
- Spektrum gelombang yang dipakai dalam perhitungan sesuai dengan kondisi perairan Laut Jawa, yaitu spectrum gelombang Pierson Moskowitz dengan bentuk *narrow-band*.

- Perhitungan umur kelelahan menggunakan formula Miner dan persamaan kelelahan terangkai (*closed form fatigue equation*).
- Analisa keandalan struktur dilakukan dengan menggunakan metode *Advanced First Order Second Moment* (AFOSM).

## 1.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan dalam laporan tugas akhir ini adalah:

### BAB I. PENDAHULUAN

Menjelaskan tentang latar belakang penulisan laporan tugas akhir ini, permasalahan yang dibahas dalam penulisan, apa yang akan dilakukan, batasan masalah yang menjadi rujukan penulis untuk lebih menyederhanakan sistem penganalisaan tanpa mengabaikan kesahihan secara signifikan, tujuan dan manfaat penulisan.

### BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Pada Bab ini berisi tentang tinjauan pustaka dan dasar teori. Tinjauan pustaka merupakan suatu bentuk pendapat atau opini pada obyek penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Dasar teori merupakan teori-teori dasar yang memperkuat dan menjadi suatu rujukan ketika menyelesaikan penelitian, sehingga dasar teori ini mempunyai peran signifikan dalam menyelesaikan semua permasalahan.

### BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini menerangkan kerangka pemikiran dari keseluruhan penelitian. Dalam bab ini juga diterangkan pemodelan struktur secara keseluruhan. Pemodelan ini meliputi pemodelan untuk struktur *Jacket Monotower APN-A* dan pembebanan yang terjadi pada struktur tersebut. Pemodelan struktur dilakukan dengan menggunakan bantuan *software GT-Strudl version 27* dan permodelan beban lingkungan dilakukan dengan menggunakan bantuan *software GT-Selos*. Selain itu, bab ini juga berisi proses analisa sesuai dengan metodologi penelitian yang sudah ditentukan.

## BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini akan membahas hasil dari analisa-analisa yang telah dilakukan pada penelitian, yang meliputi analisa hasil, validasi dan pembahasan hasil analisa

## BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan yang dapat ditarik dari keseluruhan hasil analisa yang dilakukan di bab – bab sebelumnya. Pada bab ini berisi juga saran atau rekomendasi yang dapat dilakukan sebagai tindak lanjut penelitian untuk permasalahan yang masih berkaitan.



## **BAB II**

# **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

*I've learned...*

*That it is best to give advice in only two circumstances;  
when it is requested, and when it is a life threatening situation.*

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1. TINJAUAN PUSTAKA

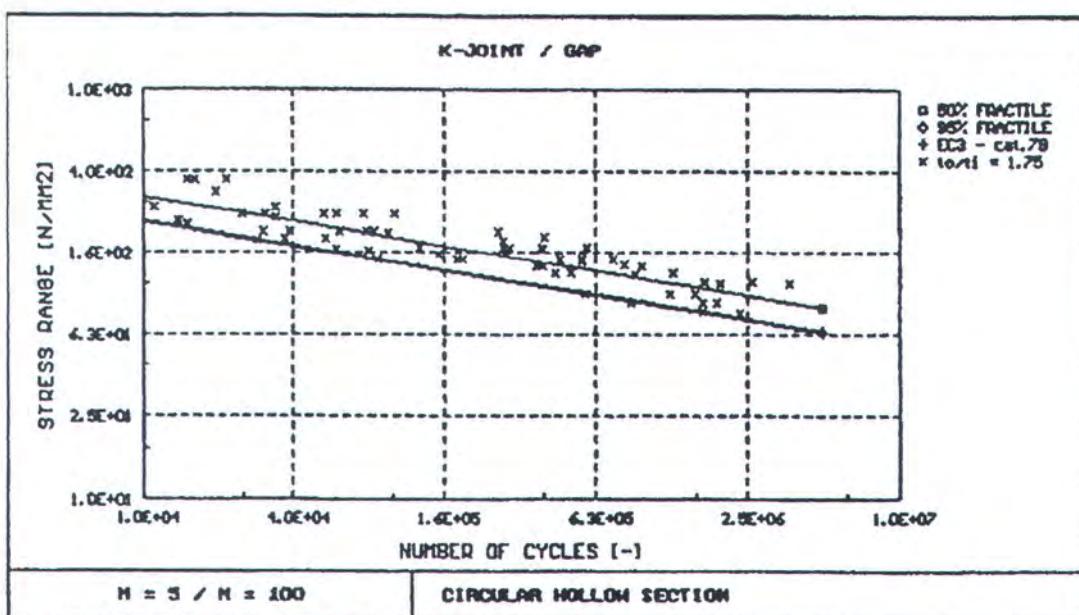
Beban lingkungan yang besarnya bervariasi sejalan dengan perubahan waktu seperti gelombang dan angin, akan mengakibatkan fluktuasi tegangan pada komponen struktur bangunan lepas pantai. Proses fluktuasi yang timbul akibat deteriorasi tegangan tersebut dikenal sebagai kerusakan kelelahan struktur (*fatigue damage*)

Pada awalnya, analisa kelelahan bukanlah merupakan hal yang penting untuk dilakukan pada analisa kekuatan struktur *jacket*, dikarenakan struktur *jacket* waktu itu dioperasikan di lingkungan perairan tenang atau tanpa pengaruh gelombang (*shoreline*). Perkembangan operasi struktur *jacket* ke daerah lepas pantai (*offshore*), dengan kondisi perairan yang dalam dan bergelombang, menjadikan analisa kelelahan struktur merupakan faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam evaluasi integritas struktur.

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)

Beberapa struktur *jacket* memilikikekakuan lateral yang kecil, seiring dengan bertambahnya kedalaman laut serta memiliki periode natural yang cukup besar hingga mulai melebihi periode gelombang. Pada kondisi ini perlu dilakukan analisa dinamis untuk mengetahui respons total struktur akibat beban gelombang dan pengaruh dari resonansi struktur.

Dengan hasil analisa dinamis tersebut selanjutnya respons struktur dievaluasi agar frekuensi beban yang bekerja tidak mendekati frekuensi struktur itu sendiri untuk menghindari terjadinya resonansi yang mengakibatkan kegagalan struktur. Disamping itu, dari analisa dinamis ini nantinya akan didapatkan umur kelelahan struktur. *Spectral Fatigue Analysis* (SFA) sangat mungkin untuk digunakan pada kondisi ini untuk memprediksi umur kelelahan struktur. Metode ini menggunakan penerapan dari teori *Palmgren-Miner*, *diagram Goodman* dan yang tidak kalah penting adalah peranan dari kurva S-N seperti yang terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Hasil percobaan S-N untuk K-joint. (Feber, 2003)

Pada perhitungan umur kelelahan dengan pendekatan kurva S-N masih terdapat faktor ketidakpastian yang tinggi seperti adanya ketidakpastian pembebanan dan ketidakpastian parameter material yang digunakan pada penentuan kurva S-N. Untuk mengatasi permasalahan-permasalahan itu, dapat dilakukan suatu pendekatan keandalan dalam perhitungan kelelahan struktur. (Feber, 2003)

Analisa keandalan struktur terhadap kelelahan banyak dilakukan dengan menggunakan metode AFOSM (*advanced fist order second moment*). Metode ini

sering dipilih karena ketelitiannya untuk melakukan evaluasi pada titik kegagalan, menyelesaikan fungsi ambang keselamatan (*limit state function*) yang non-linier, dan memperhitungkan variabel dalam *limit state function* yang tidak mempunyai distribusi normal. (Djatmiko, 2003)

Penilaian umur kelelahan yang berbasis keandalan (*Reliability based assessment*) pertama-tama akan menghubungkan langsung beberapa faktor ketidakpastian tersebut untuk kemudian digunakan dalam menghitung keandalan dengan memperhatikan keterkaitan antara umur kelelahan dengan mode kegagalan. Persamaan umum (*limit i function*) yang biasa digunakan dalam analisa umur kelelahan berbasis keandalan adalah: (Feber, 2003)

$$g = \Delta - \frac{1}{K} \sum_i n_i \Delta \sigma_i^m \quad (2.1)$$

dimana  $\Delta$  adalah kerusakan dimana terjadi kegagalan akibat kelelahan,  $K$  dan  $m$  adalah parameter material dari kurva S-N, dan  $n_i$  adalah jumlah rentang tegangan  $\Delta \sigma_i$ .

## 2.2 LANDASAN TEORI

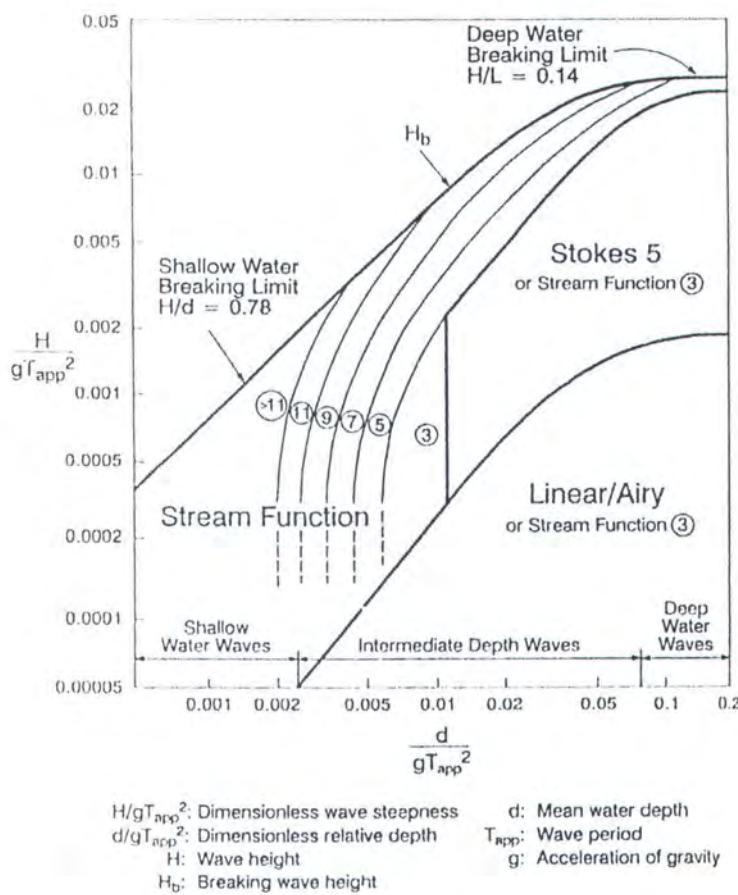
### 2.2.1. Konsep Gelombang

#### - Teori Gelombang

Teori gelombang non linier untuk laut dalam dihasilkan oleh serangkaian parameter kecuraman,  $H/L$  dan pertama kali dirumuskan oleh Stokes. Kecepatan dan percepatan merupakan fungsi dari tinggi gelombang ( $H$ ), periode gelombang ( $T$ ), kedalaman perairan ( $d$ ), jarak partikel dari dasar laut ( $z$ ), dan waktu ( $t$ ). Penentuan teori gelombang disesuaikan dengan grafik validitas teori gelombang yang berdasarkan parameter  $H/gT^2$  dan  $d/gT^2$ . (Chakrabarti, 1987)

*Validitas* teori gelombang (Gambar 2.2.) dikembangkan oleh Dean (1968) dan Mehaute (1970) (Chakrabarti, 1987). Penentuan teori gelombang ini berdasarkan

pada data lingkungan dimana struktur beroperasi, seperti tinggi gelombang  $H$  (ft, m), kedalaman  $d$  (ft, m) dan periode gelombang  $T$  (detik).



Gambar 2.2. Grafik Region of Validity (API RP 2A WSD, 2001)

### - Teori Stokes Orde 5

Teori stokes orde 5 ini ditemukan oleh Skjelbreia (1959) dan Wiegel (1964) yang digunakan dalam analisis keakuratan pada kecuraman gelombang  $H/\lambda$ . Persamaan kecepatan partikel air berawal dari persamaan berikut :

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (2.2)$$

$$w = \frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{\partial \phi}{\partial s} \quad (2.3)$$

Dari persamaan di atas, didapat persamaan kecepatan partikel air seperti dibawah ini:

$$u = C \sum_{n=1}^5 n F_n \cos n\theta \cosh nks \quad (2.4)$$

$$w = C \sum_{n=1}^5 n F_n \sin n\theta \sinh nks \quad (2.5)$$

Dari persamaan kecepatan di atas didapat diferensial berupa percepatan partikel air laut sebagai berikut :

$$\frac{\partial u}{\partial t} = kc^2 \sum_{n=1}^5 n^2 F_n \sin n\theta \cosh nks \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = kc^2 \sum_{n=1}^5 n^2 F_n \cos n\theta \sinh nks \quad (2.7)$$

Persamaan profil gelombang ( $\eta$ ) pada *Still Water Level* (SWL) adalah :

$$\eta = \frac{1}{k} \sum_{n=1}^5 n F_n \cos(kx - \omega t)$$

Kecepatan potensial partikel gelombang dirumuskan sebagai berikut.

$$\Phi = \frac{c}{k} \sum_{n=1}^5 \lambda_n \cosh(nks) \sin n\Theta \quad (2.8)$$

Koefisien nondimensional  $\lambda_n$  ditulis sebagai:

$$\lambda_1 = \lambda A_{11} + \lambda^3 A_{13} + \lambda^5 A_{15}$$

$$\lambda_2 = \lambda^2 A_{22} + \lambda^4 A_{24}$$

$$\lambda_3 = \lambda^3 A_{33} + \lambda^5 A_{35}$$

$$\lambda_4 = \lambda^4 A_{44}$$

$$\lambda_5 = \lambda^5 A_{55}$$

Tinggi gelombang untuk stoke's sebagai berikut.

$$H = \frac{2}{k} [\lambda + B_{ss} \lambda^1 + (B_{ss} + B_{ss}) \lambda^3] \quad (2.9)$$

Untuk mendapatkan harga  $F_n$  diperlukan perhitungan sebagai berikut :

$$S = \sinh kd$$

$$\theta = kx - \omega t$$

$$C = \cosh kd$$

$$k = 2\pi/L$$

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh kd = \text{kecepatan gelombang (celerity)} \quad (2.10)$$

dimana:

$$A_{11} = \frac{1}{s}$$

$$A_{13} = \frac{-c^2(5c^2 + 1)}{8s^5}$$

$$ac = 18 - 249c^2$$

$$A_{15} = \frac{-(1.184c^{10} - 1.440c^8 - 1.992c^6 + 2.641c^4 + ac)}{1.536s^{11}}$$

$$A_{22} = \frac{3}{8s^4}$$

$$A_{24} = \frac{192c^8 - 424c^6 - 312c^4 + 480c^2 - 17}{768s^{10}}$$

$$A_{33} = \frac{13 - 4c^2}{64s^7}$$

$$ac = 512c^{12} = 4.224c^{10}$$

$$A_{35} = \frac{ac - 6.800c^8 - 12.808c^6 + 16.704c^4 - 3.154c^2 + 107}{4.096s^{13}(6c^2 - 1)}$$

$$A_{44} = \frac{80c^6 - 816c^4 + 1.338c^2 - 197}{1.536s^{10}(6c^2 - 1)}$$

$$ac5 = 163.470c^2 - 16.245$$

$$A_{55} = \frac{-(2.880c^{10} - 72.480c^8 + 324.000c^6 - 432.000c^4 + ac5)}{61.440s^{11}(6c^2 - 1)(8c^4 - 11c^2 + 3)}$$

$$B_{22} = \frac{(2c^2 + 1)c}{4s^3}$$

$$B_{24} = \frac{c(272c^8 - 504c^6 - 192c^4 + 322c^2 + 21)}{384s^9}$$

$$B_{33} = \frac{3(8c^6 + 1)}{64s^6}$$

$$bc = 88.128c^{14} - 208.224c^{12} + 70.84c^{10}$$

$$B_{35} = \frac{bc + 54.000c^8 - 21.816c^6 + 6.264c^4 - 54c^2 - 81}{12.288s^{12}(6c^2 - 1)}$$

$$B_{44} = \frac{c(768c^{10} - 448c^8 - 48c^6 + 48c^4 + 106c^2 - 21)}{384s^9(6c^2 - 1)}$$

$$bc5 = 192.000c^{16} - 262.720c^{14} + 83.680c^{12} + 20.160c^{10}$$

$$B_{55} = \frac{bc5 - 7.280c^8 + 7.160c^6 - 1.800c^4 - 1.050c^2 + 225}{12.288s^{10}(6c^2 - 1)(8c^4 - 11c^2 + 3)}$$

$$C_1 = \frac{8c^4 - 8c^2 + 9}{8s^4}$$

$$cc = 3.840c^{12} - 4.096c^{10}$$

$$C_2 = \frac{cc + 2.592c^8 - 1.008c^6 + 5.944c^4 - 1.830c^2 + 147}{512s^{10}(6c^2 - 1)}$$

$$C_3 = \frac{-1}{4sc}$$

$$C_4 = \frac{12c^8 + 36c^6 - 162c^4 + 141c^2 - 27}{192cs^9}$$

Dengan menggunakan iterasi pada perhitungan di atas didapat harga  $\lambda$ , yaitu :

$$KC^2 = g \tanh kd (1 + \lambda^2 C_1 + \lambda^4 C_2) \quad (2.11)$$

$$KH = 2 [\lambda + \lambda^3 B_{33} + \lambda^5 (B_{35} + B_{55})] \quad (2.12)$$

nilai  $F_n$ , yaitu :

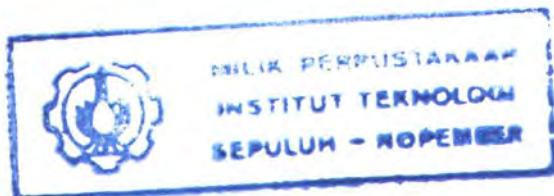
$$F_1 = \lambda A_{11} + \lambda^3 A_{13} + \lambda^5 A_{15}$$

$$F_2 = \lambda^2 A_{22} + \lambda^4 A_{24}$$

$$F_3 = \lambda^3 A_{33} + \lambda^5 A_{35}$$

$$F_4 = \lambda^4 A_{44}$$

$$F_5 = \lambda^5 A_{55}$$



(2.13)

#### - Gaya Gelombang Pada Silinder Tegak

Gaya gelombang yang bekerja pada silinder tegak merupakan penjumlahan langsung dari gaya inersia dan gaya drag. Sedangkan gaya inersia merupakan penjumlahan antara gaya *froude-krylov* dengan gaya yang disebabkan oleh massa tambah. Dalam perhitungan gaya gelombang bangunan lepas pantai maka persamaan Morrison sering dipakai (Chakrabarti, 1987).

Gaya gelombang pada *offshore structure* dihitung dengan tiga cara (Chakrabarti 1987), yaitu:

1. Persamaan Morison
2. Teori Froude-Krylov
3. Teori Defraksi

Untuk dapat memakai rumusan Morrison ini maka perlu lebih dahulu mengetahui batasan – batasan yang digunakan oleh Morrison dalam menghitung gaya yang ditimbulkan oleh gelombang. Secara lengkap syarat-syarat yang dimaksud adalah sebagai berikut :

$D/\lambda > 1$  ; pada kondisi ini gelombang mendekati pemantulan murni

$D/\lambda > 0.2$  ; pertambahan gaya gelombang oleh difraksi gelombang perlu diperhatikan

$D/\lambda < 0.2$  ; penggunaan rumus *Morrison* adalah valid

Persamaan yang diberikan oleh Morrison untuk perhitungan beban gelombang, yaitu:

$$F_w = \int_0^z (F_d + F_i) dz$$

$$F_w = \int_0^z \left( \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot D \cdot u |u| + \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \rho \cdot C_m \cdot a_x \right) dz \quad (2.14)$$

dimana :

$F_w$  = gaya gelombang per unit panjang

$F_d$  = gaya *drag* per unit panjang

$F_i$  = gaya inersia per unit panjang

$D$  = Diameter luar *member Chord*

$C_d$  = koefisien *drag* untuk *Chord*

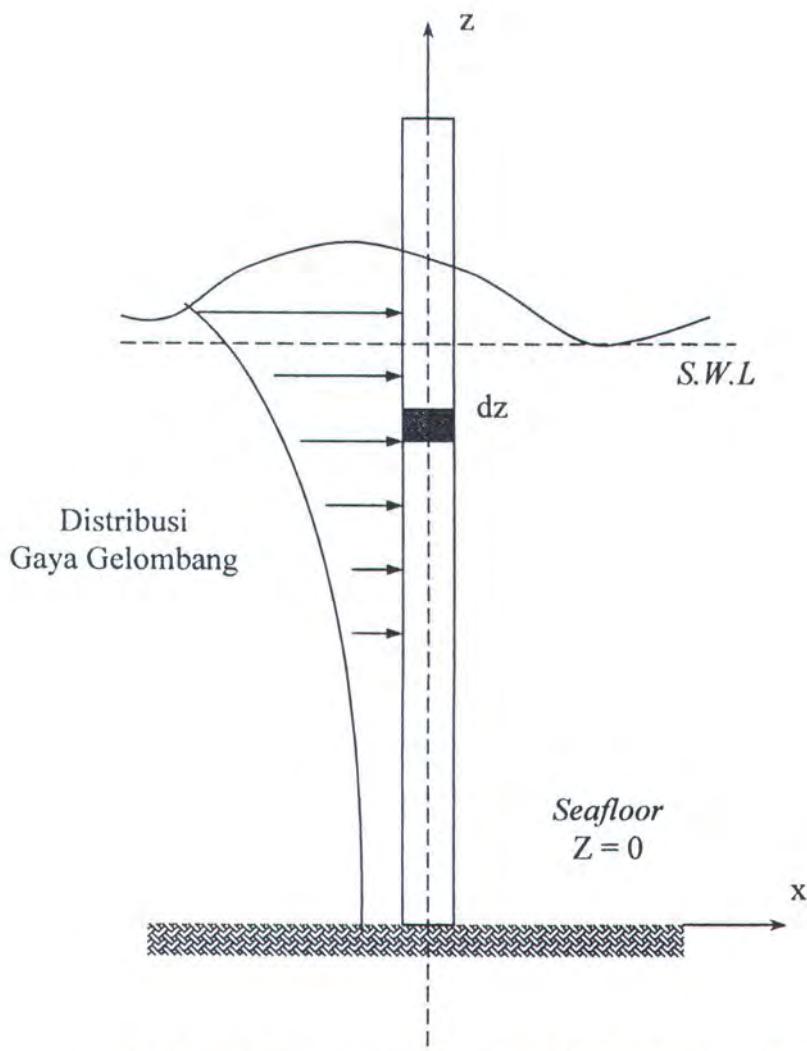
$C_m$  = koefisien inersia untuk *Chord*

$u$  = kecepatan horisontal partikel air laut

$a_x$  = percepatan horizontal partikel air laut

Untuk me-linear-kan suku  $u |u|$  pada persamaan Gaya *Drag* memakai formulasi sebagai berikut :

$$u|u| = \frac{8}{3\cdot\pi} \cdot u^2 \quad (2.15)$$



Gambar 2.3. Gaya gelombang pada Silinder Tegak (Dawson, T.H., 1976)

Ketika gaya *drag* kecil dan gaya *inertia* mendominasi, tetapi ukuran struktur masih relatif kecil, maka Teori Froude-Krylov dapat digunakan. Untuk menghitung gaya gelombang, maka Froude-Krylov menggunakan *wave pressure* dan metode *pressure-area*.

Jika ukuran struktur sebanding dengan panjang gelombang, maka keberadaan struktur mengubah karakteristik gelombang. Pada kasus ini, maka defraksi gelombang akibat terkena permukaan struktur harus dimasukkan dalam analisa untuk menghitung gaya gelombang. Hal ini dikenal dengan Teori Defraksi.

API RP-2A WSD memberikan harga  $C_D$  dan  $C_M$  untuk *platform* secara umum adalah sebagai berikut:

*Tabel 2.1. Harga  $C_D$  dan  $C_M$  (API RP-2A WSD)*

Silinder	$C_D$	$C_M$
<i>Smooth</i>	0,65	1,6
<i>Rough</i>	1,05	1,2

## 2.2.2. Spektrum Gelombang

Pada gelombang irregular, sejumlah gelombang sinusoidal dengan perbedaan panjang gelombang dan tinggi gelombang membentuk gelombang irregular dengan superposisi.

Dimana energi gelombang sinusoidal diberikan dengan persamaan: (Chakrabarti, 1987)

$$E = \frac{1}{2} \rho g \zeta_a^2 \text{ (per meter persegi dari permukaan gelombang)} \quad (2.16)$$

dimana :

$\rho$  = massa jenis air laut

$g$  = percepatan gravitasi

$\zeta_a$  = amplitudo gelombang

Sehingga total dari energi per meter persegi untuk semua panjang dan tinggi gelombang.

$$E_T = \frac{1}{2} \rho g [\zeta_{a1}^2 + \zeta_{a2}^2 + \dots + \zeta_{an}^2] \quad (2.17)$$

dimana :

$E_T$  = Total energi dari semua komponen gelombang (kN/m)

Adapun gelombang-gelombang tersebut dapat digambarkan oleh distribusi energi terhadap frekuensi atau periode dengan bermacam-macam komponen.

Distribusi frekuensi energi disebut *Spectrum Energi*. Total energi spektrum digambarkan oleh luasan dibawah kurva untuk semua komponen gelombang. Pada spektrum yang energinya terkonsentrasi pada suatu rentang yang sempit (*narrow*) maka spektrum tersebut dapat didefinisikan sebagai spektrum *narrow-band*. Dalam hal ini, parameter kelebaran spektral akan mendekati nol. Dimana luasan dibawah kurva spektral dirumuskan dengan persamaan. (Chakrabarti, 1987)

$$mo = \int_0^{\infty} S_{\zeta}(\omega_w) d\omega_w \quad (2.18)$$

dimana:

$mo$  = luasan dibawah kurva

$S_{\zeta}(\omega_w)$  = energi gelombang fungsi frekuensi gelombang

Sedangkan untuk memperoleh  $H_s$  dari gelombang yang terjadi dapat dirumuskan dengan.

$$(h_w)_{1/3} = 4\sqrt{area} \quad \text{atau} \quad (h_w)_{1/3} = 4\sqrt{mo}$$

### 2.2.3. Analisa Umur Kelelahan (*Fatigue Analysis*)

Bangunan lepas pantai sering mengalami beban yang sifatnya berulang (siklis), yang menyebabkan berkurangnya kekuatan struktur. Phenomena ini dikenal dengan kelelahan struktur (*fatigue*), dan secara esensial ditandai dengan proses keretakan (*crack*) dan pada proses selanjutnya terjadi penjalaran (*propagation*) serta kerusakan (*failure*). (Soedjono, 1989). Analisa kelelahan penting dilakukan untuk memprediksi besar nilai *fatigue life* pada sambungan kritis.

Beberapa parameter yang mempengaruhi kelelahan pada *tubular joint* dan digunakan sebagai pertimbangan oleh perancang adalah (UEG,1985) :

1. Geometri dari *tubular joint*.

2. Tipe, amplitudo, dan distribusi beban yang bekerja pada struktur.
3. Proses fabrikasi.
4. Proses setelah fabrikasi yang dilakukan pada *tubular joint* untuk memperbaiki umur kelelahan dan aspek yang lain.
5. Kondisi lingkungan pada saat pertama kali terjadi retak dan perambatannya.
6. Beban statis pada *chord*

Setelah dilakukan pembebanan global pada struktur akan ditemukan joint yang paling kritis yaitu joint yang mengalami tegangan yang paling besar. Dalam mencari umur kelelahan (*fatigue*), yang perlu diperhatikan adalah Faktor Konsentrasi Tegangan (*Stress Concentration factor*). Besarnya konsentrasi tegangan tergantung dari jenis atau tipe sambungan *tubular joint*.

#### 2.2.4. Metode Palmgren-Miner

Umur kelelahan dari sebuah sambungan las, bergantung pada banyak faktor. Antara lain karakteristik material, cacat dan retak Mikro (*Mikro Crack*), bentuk geometris las dan lainnya. Kerusakan akibat *fatigue* pada struktur lepas pantai secara dominan disebabkan oleh beban gelombang. *Stress* yang disebabkan oleh beban ini selalu berubah arah dan besarnya serta berlangsung secara random. *Stress* ini terbagi menjadi variasi pengelompokan *stress* yang secara komulatif mengakibatkan “*total fatigue damage*”. Model *fatigue* yang sering dipergunakan dalam perhitungan adalah “*Miner's cumulative Rule* (Greth, 1981) :

$$D = \sum_i^k n_i/N_i \quad (2.19)$$

Dimana :

$n_i$  = Jumlah *cycle* kolom interval rentangan tegangan  $i$  dari rentangan distribusi tegangan jangka panjang.

$N_i$  = Jumlah *cycle* untuk gagal pada perhitungan tegangan yang sama, didapatkan dari S – N diagram.

$K$  =  $\Sigma$  total dari interval-interval rentangan tegangan

$D$  = Rasio kerusakan kumulatif

Hubungan antara  $N_i$  dan  $S_i$  dapat diambil dari *fatigue curve (S-N Curve)*

Sedangkan formulasi umur kelelahan dari suatu struktur dapat dihitung dengan persamaan

$$\text{Umur Kelelahan} = 1/D \quad (2.20)$$

### 2.2.5. Tipe Sambungan

Dalam API RP 2A sambungan *tubular* dapat diklasifikasikan menjadi K, T & Y dan *cross joint*. Untuk *K-joint*, *punching load* pada *brace* perlu diseimbangkan dengan beban pada bracing yang lain pada bidang yang sama, sisi yang sama dan *joint* yang sama. Pada *joint T & Y*, *punching load* dilawan dengan gaya geser batang pada *chord*. Pada *cross join*, *punching load* disalurkan oleh *chord* ke *brace* yang lain pada sisi yang berlawanan (API, 2001). Gambar 2.4. menunjukkan contoh *tubular joint* dan mode pembebanannya. Parameter - parameter dalam *tubular joint* adalah:

$$\alpha = 2L/D \quad \tau = t/T$$

$$\beta = d/D \quad \zeta = g/D$$

$$\gamma = D/2T \quad \theta = \text{sudut antara brace dengan chord}$$

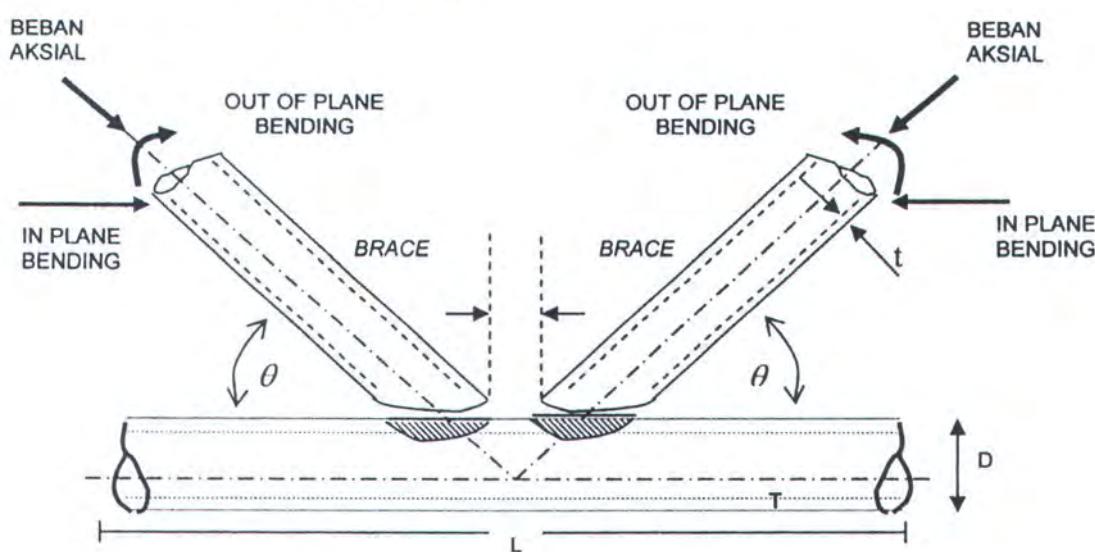
L = panjang chord

D = diameter chord

T = tebal dinding chord

d = diameter bracing

t = tebal dinding bracing



Gambar 2.4. Mode Pembebanan Pada Sambungan Tubular

### 2.2.6. Faktor Konsentrasi Tegangan

Faktor Konsentrasi Tegangan atau *Stress Concentration Factor* (SCF) merupakan perbandingan antara tegangan *hot spot stresses* dan tegangan nominal pada *brace* (*Gibsten, 1985*), secara sistematis dinyatakan dengan :

$$SCF = \frac{\sigma_{maks}}{\sigma_n} \quad (2.21)$$

Besarnya Faktor Konsentrasi Tegangan (SCF) untuk tiap sambungan akan berbeda tergantung pada geometrinya. Faktor Konsentrasi Tegangan (SCF) ini merupakan parameter kekuatan sambungan. Konsentrasi tegangan menggambarkan suatu kondisi dimana telah terjadi tegangan lokal yang tinggi akibat dari geometri sambungan tersebut, sehingga dibutuhkan keakuratan yang tinggi dalam penentuan nilai tegangan *hot spot* atau nilai Faktor Konsentrasi Tegangan (SCF) untuk jenis sambungan yang berbeda. SCF juga digunakan untuk menggambarkan perbandingan antara tegangan sembarang titik di interseksi dengan tegangan nominal pada brace.

Tegangan *hot spot* adalah lokasi di sambungan tubular dimana terjadi tegangan tarik/tekan maksimum. Ada tiga tipe tegangan dasar yang menyebabkan munculnya *hot spot* (*Becker, et al., 1970*) :

1. tipe A, disebabkan oleh gaya-gaya aksial dan momen-moment yang merupakan hasil dari kombinasi frame dan truss jacket.
2. tipe B disebabkan detail-detail sambungan struktur seperti geometri sambungan yang kurang memadai, variasi kekakuan yang bervariasi disambungan dan lain-lain.
3. tipe C, disebabkan oleh faktor metalurgis yang dihasilkan dari kesalahan pengelasan, seperti *undercut*, *porosity*, dan lain-lain.

Untuk mencari nilai SCF dapat dilakukan dengan pengukuran langsung yaitu dengan eksperimen dengan menggunakan *strain gage* atau dengan menggunakan rumus-rumus pendekatan seperti Kuang, Smedley, dll.

### 2.3. SPECTRAL FATIGUE ANALYSIS

*Spectral Fatigue Analysis* merupakan suatu pendekatan sistematis untuk mempertimbangkan dengan lebih rasional faktor-faktor utama penyebab kelelahan struktur seperti beban dinamis dan lingkungan seperti gelombang. Inti dari metode *Spectral Fatigue Analysis* adalah memodelkan proses-proses acak *sea-state* dalam kurun waktu panjang sebagai gabungan beberapa proses kurun waktu pendek yang tetap (*stationary*) secara *Gaussian*, dan masing-masing didefinisikan oleh fungsi kerapatan spektrum gelombang. Pembagian waktu untuk tiap-tiap proses kurun waktu pendek yang terjadi juga turut dijabarkan. (Djatmiko, 2003)

Pada metode ini dikembangkan juga suatu fungsi frekuensi respon yang menghubungkan kerapatan spectra gelombang, kerapatan spektra komponen kritis kelelahan, dan pergerakan dinamis struktur. Kerapatan spectra tegangan yang menyebabkan kelelahan juga turut dihitung. Apabila proses dapat diasumsikan sebagai *narrow band*, maka rentang tegangannya akan terdistribusi mengikuti distribusi Rayleigh. Sedangkan persamaan kelelahan terangkai (*Closed Form Fatigue Damage Equation*) yang dipakai adalah akumulasi dari proses-proses kurun waktu pendek.

#### 2.3.1. Teori Spektrum Gelombang Pierson-Moskowitz

Model matematik spektrum biasanya didasarkan pada satu atau lebih parameter, misalnya tinggi gelombang signifikan, periode gelombang, faktor permukaan, dan lain-lain. Spektrum parameter tunggal yang paling sering digunakan adalah model Pierson-Moskowitz (1964) yang berdasarkan pada tinggi gelombang signifikan atau kecepatan angin.

Untuk aplikasi spektra P-M pada beberapa model, angin harus berhembus pada area yang luas dengan kecepatan yang mendekati konstan selama beberapa jam tergantung pada lamanya data rekaman gelombang yang diperoleh dan arah angin tidak boleh berubah lebih dalam skala kecil tertentu. Karena asumsi-asumsi itu, model spektra P-M sangat berguna untuk menampilkan beberapa gelombang badi

pada perencanaan struktur lepas pantai. Spektrum P-M dinyatakan dalam persamaan (Chakrabarty, 1987) sebagai berikut:

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp\left[-0.74\left(\frac{\omega U_w}{\omega_0}\right)^{-4}\right] \quad (2.22)$$

dimana  $\alpha = 0,0081$

$U_w$  = kecepatan angin

$\omega$  = frekuensi

$\omega_0$  = frekuensi puncak gelombang

Dengan cara lain, sebagai bentuk frekuensi puncak dari spektral:

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp\left[-1.25\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{-4}\right] \quad (2.23)$$

Varian dari elevasi gelombang ( $\sigma^2$ ) atau moment ke-0 ( $m_0$ ) di definisikan sebagai luasan di bawah kurva spektra.

$$\sigma^2 = m_0 = \int_0^\infty S(\omega) d\omega \quad (2.24)$$

Jika disubstitusikan  $x = 1.25(\omega/\omega_0)^{-4}$  ke persamaan (2.23)

$$\omega^5 d\omega = -\frac{dx}{5\omega_0^4} \quad (2.25)$$

Sehingga didapat

$$\sigma^2 = m_0 = \frac{\alpha g^2}{5\omega_0^4} \quad (2.26)$$

Jika di substitusikan untuk  $\alpha$  ke persamaan (2.23) akan didapat

$$\alpha = \frac{5\sigma^2 \omega_0^4}{g^2}$$

$$S(\omega) = 5\sigma^2 \frac{\omega^{-5}}{\omega_0^{-4}} \exp\left[-1.25\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{-4}\right] \quad (2.27)$$

Frekuensi spektrum dari suatu gelombang di laut biasanya sulit tersedia secara langsung, sehingga dilakukan estimasi dengan memilih suatu bentuk spektrum yang disesuaikan dengan elevasi permukaan air dan frekuensi sebagai axis. Bila perlu, sebagai langkah lebih lanjut dilakukan distorsi terhadap bentuk spektrum tersebut agar sesuai dengan harga  $H_s$  dan  $T_z$  yang diperlukan. (Barltrop, 1991)

Untuk kondisi khusus ini, penyesuaian dapat dilakukan secara langsung baik dengan menggunakan data kecapatan angin dan *fetch* atau dengan menggunakan hasil perhitungan  $H_s$  dan  $T_z$  sebelumnya yang masih berhubungan dengan bentuk spektrum dan sesuai dengan kondisi angin dan *fetch* yang ada. Formulasi spektrum P-M sebagai fungsi dari tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) dan *mean zero crossing period* ( $T_z$ ) (Barltrop, 1991) yang umum digunakan dapat ditulis sebagai berikut:

$$S(\omega) = \frac{H_s^2}{4\pi T_z^4 \omega^5} \exp\left[-\frac{1}{\pi}(\omega T_z)^{-4}\right] \quad (2.28)$$

### 2.3.2. Response Amplitude Operators (RAO)

Respon pada struktur *offshore* (baik struktur *fixed* maupun terapung) akibat gelombang reguler dalam tiap-tiap frekuensi, dapat diketahui dengan menggunakan metode *spectra*. Nilai amplitudo pada suatu *response* secara umum hampir sama dengan amplitudo gelombang. Bentuk normal suatu *response* dari sistem linier tidak berbeda dengan bentuk amplitudo gelombang dalam fungsi frekuensi.

*Response-Amplitude Operator* (RAO) atau sering disebut sebagai *Transfer Function* adalah fungsi *response* yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai struktur *offshore*. RAO disebut sebagai *Transfer Function* karena RAO merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk *response* pada suatu struktur. (Chakrabarti, 1987)

Banyak sekali yang menyebutkan dalam praktiknya bahwa RAO didefinisikan sebagai *response amplitude per unit wave height*. Tetapi untuk lebih mudah dalam pemahaman **RAO didefinisikan sebagai amplitudo respon per amplitudo gelombang**  $\left(\frac{S_b}{\zeta_a}\right)$ . Dalam perhitungan RAO gelombang selalu dianggap sebagai gelombang reguler dan frekuensi gelombang yang dipilih dimasukkan kedalam *range* frekuensi yang dipakai dalam membuat spektrum gelombang. (Battacharyya, 1978).

### 2.3.3. Linier Response Spectra

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

$$S_R(\omega) = [\text{RAO}(\omega)]^2 S(\omega) \quad (2.29)$$

dimana,

$S_R$  = *response spectrum, ft<sup>2</sup> -sec*

$S$  = spektra gelombang, *ft<sup>2</sup> -sec*

$\text{RAO}$  = *response amplitude operator*

$\omega$  = frekuensi angular, *rad/sec*

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

$$\hat{\zeta}_{n\alpha} = \left[ 2 \ln \left\{ \frac{60^2 T}{2\pi} \sqrt{\frac{m_2}{m_0}} \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \sqrt{m_0} \quad (2.30)$$

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

$$\hat{\zeta}_{n\alpha} = \left[ 2 \ln \left\{ \frac{60^2 T}{2\pi\alpha} \sqrt{\frac{m_2}{m_0}} \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \sqrt{m_0} \quad (2.31)$$

dimana,

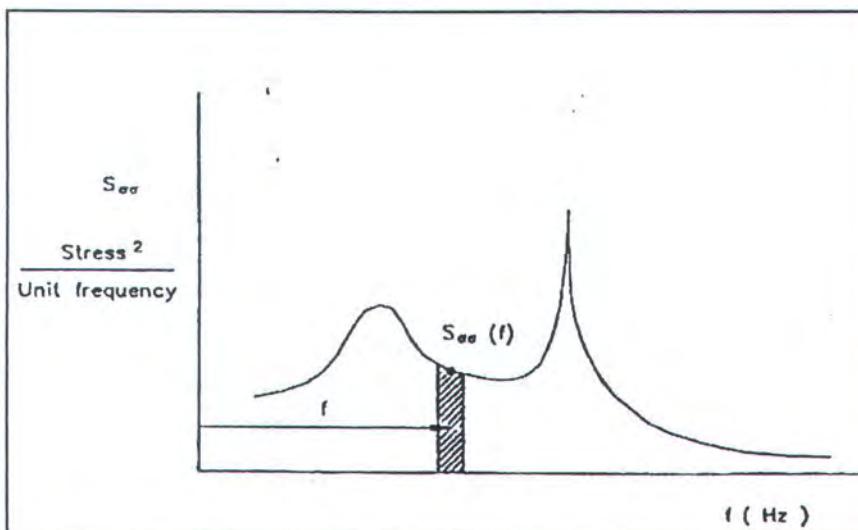
$T$  = lama kejadian badai (*storm propagation*) = 3 jam

$\alpha$  = tingkat keyakinan/batas toleransi pada saat perancangan (1% - 5%)

$m_0$  = *zeroth moment* (luasan di bawah kurva)

$$= \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega \quad (2.32)$$

$$m_2 = \text{second moment} = \int_0^{\infty} \omega^2 S(\omega) d\omega \quad (2.33)$$



Gambar 2.5. Spektra Respon Tegangan

Gambar 2.5. di atas menunjukkan contoh spektra respon tegangan. RAO yang digunakan di sini adalah RAO tegangan.

#### 2.3.4. Kurva S-N

Pada struktur lepas pantai, kurva S-N digunakan untuk analisa umur kelelahan baik dalam tahap perancangan (*design*) maupun tahap peninjauan (*assessment*) untuk mendefinisikan kekuatan suatu struktur. Kurva ini mampu menggambarkan

integritas material sambungan baik yang berupa pelat maupun *tubular* yang mengalami pembebahan yang berulang pada *magnitude* konstan. Dimana *N* adalah jumlah cycle pada tegangan *S* yang menyebabkan kerusakan pada struktur. Pada umumnya kurva S-N digambarkan dengan koordinat log-log, mempunyai kemiringan pada sebagian besar daerah tegangan menengah atau tingginya. Kemiringan ini dapat didekati oleh fungsi :

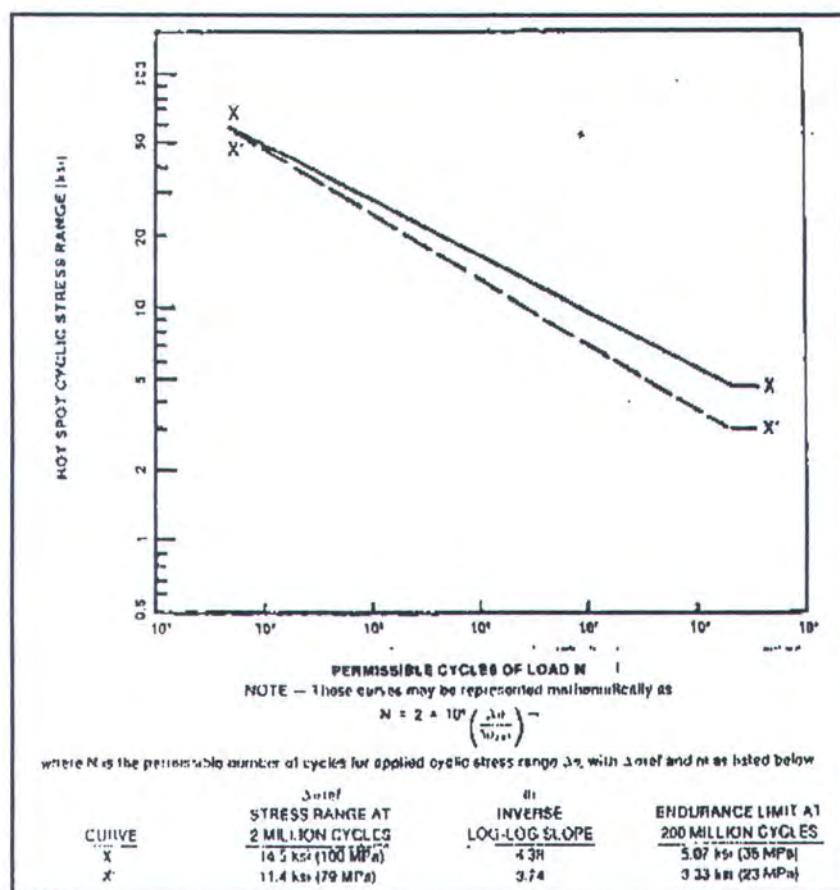
$$NS^m = A \quad S > 0 \quad (2.34)$$

Koefisien kelelahan *A* adalah besaran yang diperoleh dari percobaan kelelahan, dan besarnya adalah merupakan fungsi dari material, geometri komponen struktur, dan jenis pengelasan. Eksponen kekuatan kelelahan *m* ini dapat diperoleh dari regresi data percobaan kelelahan bersama dengan *A*, ataupun diturunkan secara teoritis dari analisis mekanika kepecahan. Untuk sambungan *tubular* yang mengalami variasi stress yang disebabkan oleh beban lingkungan atau beban operasional maka kurva S - N pada gambar 2.6 dapat digunakan. Untuk ketebalan bracing kurang dari 16 mm maka kuva X'-X' yang sesuai. (API, 2001)

Dalam suatu perancangan, data S-N yang dikehendaki dengan cepat kadang kala tidak bisa diperoleh. Oleh karena itu perlu diambil data S-N lain yang mendekati untuk struktur dalam perancangan, terutama struktur yang mempunyai geometri dan jenis pengelasan serupa. Bila data pendekatan seperti ini dipakai, maka faktor koreksi harus dimasukkan untuk penyesuaianya. Sebagai contoh, koreksi tegangan yang harus diberikan untuk komponen struktur yang mempunyai ketebalan berbeda dari data acuan, sebagaimana disyaratkan oleh UK Department of Energy (DEn) Guidance Notes adalah (Djatmiko, 2003)

$$S/S_{ref} = (t/t_{ref})^{-0.25} \quad (2.35)$$

*S* dan *S<sub>ref</sub>* masing-masing adalah rentang tegangan yang terjadi pada struktur yang ditinjau dan tegangan pada struktur yang dipakai sebagai acuan (referensi). Sedangkan *t* dan *t<sub>ref</sub>* adalah masing-masing ketebalan struktur yang ditinjau dan ketebalan struktur referensi.



Gambar 2.6. Kurva S-N (APIRP2A-WSD)

### 2.3.5. Distribusi Rentang Tegangan Akibat Eksitasi Gelombang Acak

Dalam mengestimasikan umur kelelahan komponen struktur bangunan laut ada beberapa algoritma yang dapat dipakai, seperti yang umumnya telah dikembangkan dalam bidang rekayasa permesinan. Salah satu metode klasik, tetapi masih banyak dipakai hingga sekarang adalah algoritma yang diperkenalkan oleh Miner (1945), yaitu yang dikenal sebagai hukum kerusakan komulatif. Dalam hipotesanya, Miner (1945) mengasumsikan bahwa kerusakan komulatif suatu struktur dapat timbul oleh kontribusi siklus tiap tegangan tertentu, dengan amplitudo  $S_i$  dari suatu proses keseluruhan yang bervariasi secara acak yang seterusnya mengakibatkan kelelahan dengan proporsi: (Djatmiko, 2003)

$$\partial D_i = \frac{1}{N_i} \quad (2.36)$$

dimana  $N_i$  adalah jumlah siklus dari amplitudo tegangan  $S_i$  yang bervariasi secara sinusoidal, yang akan menyebabkan kegagalan struktur. Harga  $N_i$  dalam hal ini

diperolah dari kurva S-N hasil percobaan, yang bersesuaian dengan harga amplitudo  $S_i$ .

Kerusakan komulatif karena kelelahan ( $D$ ) oleh keseluruhan tegangan acak yang terjadi selama operasi kemudian dapat dihitung dari:

$$D = \sum_{i=1}^b \frac{n_i}{N_i} \quad (2.37)$$

dimana  $n_i$  adalah jumlah siklus dan tegangan pada tingkatan  $S_i$  yang sebenarnya akibat eksitasi beban luar pada struktur. Kerusakan keseluruhan tersebut selanjutnya diestimasikan dari penjumlahan kontribusi kelelahan oleh tiap-tiap tegangan dalam interval total dari beban  $b$  untuk selama waktu operasi struktur. Berdasarkan hipotesa ini, kegagalan struktur akan terjadi bilamana hasil perhitungan  $D$  sama dengan satu ( $D = 1$ ).

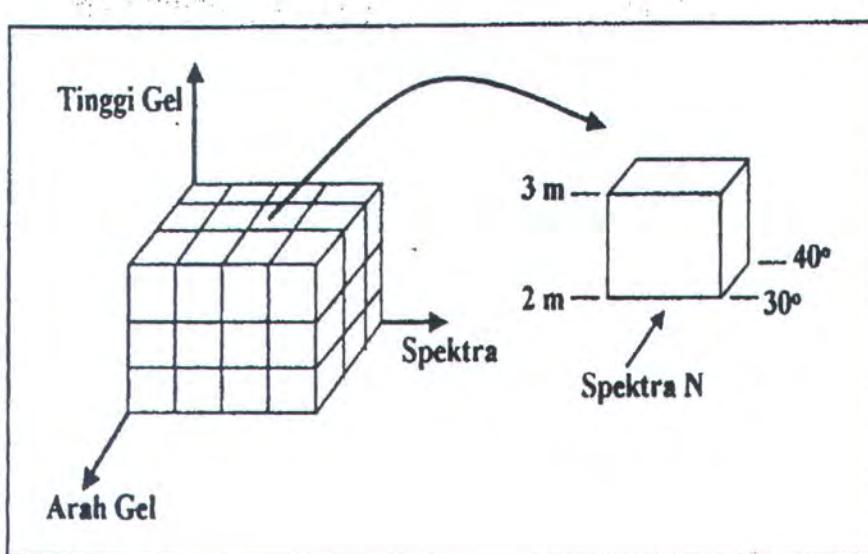
Dalam evaluasi kelelahan struktur bangunan laut, jumlah siklus  $n_i$  yang berkaitan dengan rentang tegangan tertentu,  $S_i$  akan diperoleh dari analisis spectrum kurun waktu panjang. Sebaran beban kelelahan dihitung berdasarkan beban pada struktur pada bangunan laut yang diperoleh dari analisa deterministic dan gelombang regular (teori Morison, Teori Strip, Teori Difraksi 3-d). RAO beban ditransformasikan menjadi RAO tegangan pada detail struktur yang ditinjau (stress analysis, FEM). Liu (1989) menyarankan agar paling tidak delapan RAO harus dikaji, yaitu yang berkaitan dengan eksitasi gelombang-gelombang dari arah  $315^\circ$ ,  $270^\circ$ ,  $220^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $0^\circ$ .

Setelah semua informasi-informasi di atas terkumpul, prosedur selanjutnya adalah dengan melakukan analisa spectral penuh (*full spectral analysis*). Disamping data RAO, informasi lain yang diperlukan dalam perhitungan adalah menyangkut data-data mode operasi, yaitu arah gelombang, tinggi gelombang signifikan dan periode spesifik, dan bentuk spektrum gelombang. Semua data operasi ini diberikan dalam intensitas dari peluang kejadianya selama masa operasi struktur tersebut.

Dari tiap mode operasi dapat diketahui jumlah siklus tegangan persatuan waktu (1/detik) yang diperoleh dari tiap interval operasi untuk kurun waktu pendek (*short-term*), yaitu :

$$n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m_2}{m_0}} \quad (2.38)$$

dimana  $m_0$  dan  $m_2$  masing-masing adalah luasan dan momen luasan bidang dibawah kurva spektra tegangan yang diperoleh dari fungsi transfer dalam kurun waktu pendek.



Gambar 2.7. Mode Operasi Bangunan Laut

Dengan menambahkan semua jumlah respon per satuan waktu dari tiap-tiap mode operasi yang telah diperkalikan dengan probabilitas kejadian masing-masing komponen mode, dan kemudian mengalikannya dengan jangka waktu operasi  $T_L$ , maka dapat diperoleh jumlah respon total:

$$n_0 = \left( \sum_i \sum_j \sum_k n x p_i p_j p_k \right) x T_L \quad (2.39)$$

dimana

$p_i$  = Peluang sudut gelombang datang

$p_j$  = Peluang gabungan dari tinggi gelombang signifikan dan periode spesifik (diperoleh dari diagram sebaran gelombang).

$P_k$  = Peluang kejadian spektrum tertentu

Dalam kurun waktu panjang, peluang kejadian rentang tegangan dengan harga tertentu dapat dihitung probabilitasnya untuk dilampaui sebagai berikut:

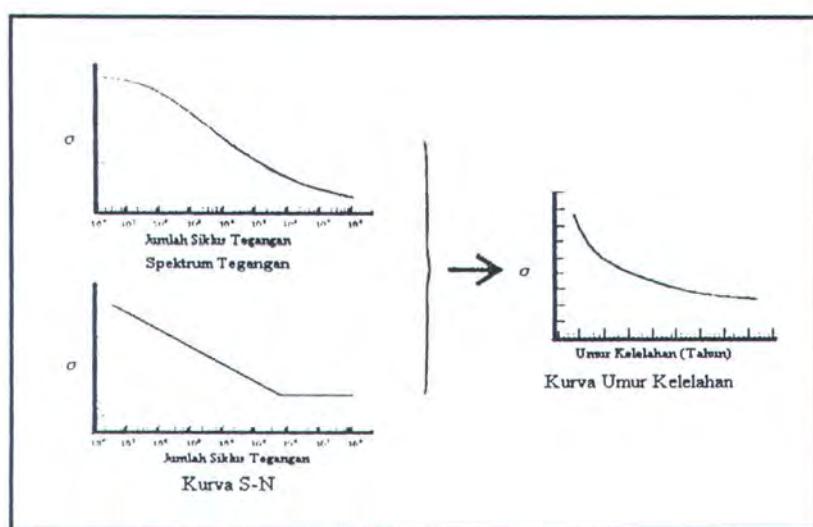
$$P_L(x) = \frac{\sum_i \sum_j \sum_k n x p_i p_j p_k}{\sum_i \sum_j \sum_k n x p_i p_j p_k} \quad (2.40)$$

dimana  $x$  adalah harga batasan variable (tegangan) seperti disyaratkan dalam kriteria yang ditinjau, dan  $p(x)$  adalah probabilitas bahwa  $x$  akan dilampaui dalam kurun waktu pendek, yaitu:

$$p(x) = \frac{x}{m_0} e^{-x^2/2m_0} \quad (2.41)$$

Perlu dikemukakan di sini, fungsi probabilitas dengan persamaan (2.41) di atas menunjukkan bahwa respon acak dalam kurun waktu pendek mempunyai bentuk distribusi Rayleigh. Sedangkan dalam kurun waktu panjang, yang merupakan penjumlahan kurun waktu pendek, respon akan mempunyai bentuk distribusi Weibull.

Pada akhirnya, dari komputasi di atas, jumlah siklus  $n_i$  dapat diperoleh dengan mengalikan  $n_0$  dari persamaan (2.39) dengan peluang kejadian setiap harga rentang tegangan  $S_i$ , yaitu dari persamaan (2.40). Analisa kelelahan secara menyeluruh, untuk mendapatkan harga rasio kerusakan, secara diagramatik diberikan dalam Gambar 2.8. (Djatmiko, 2003)



Gambar 2.8. Skema Prediksi Deterministik Kelelahan Bangunan Laut

### 2.3.6. Persamaan Kelelahan Terangkai

Pada tahap perancangan awal, analisa kelelahan dapat dilakukan dengan menerapkan pendekatan yang disederhanakan (*simplified approach*). Dengan pendekatan ini perancang tidak perlu menyelesaikan analisa kelelahan dengan prosedur panjang seperti dengan analisa spektral penuh. Faulkner (1991) telah mengkaji ketelitian metode sederhana ini, dan menganggap penerapannya dalam perancangan awal cukup valid.

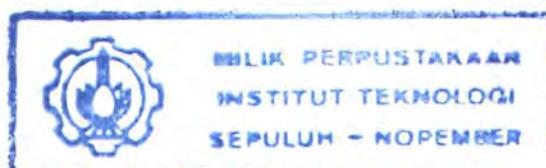
Dalam pendekatan sederhana ini spektra lautan dan seterusnya distribusi tegangan acak yang terjadi, serta akumulasi kerusakan telah diformulasikan dalam suatu fungsi tunggal. (Almar-Naes, 1985)

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  $T$  mesing-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

$$\partial D = \frac{Tfp(S_1)dS}{N(S_1)} \quad (2.42)$$

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 (2.42) tersebut akan memberikan besarnya kerusakan total yang diharapkan (*expected total damage*) untuk terjadi dalam kurun waktu  $T$  oleh pengaruh keseluruhan tegangan dalam proses sebesar:

$$E(D) = \frac{n_0}{A} \int_0^{\infty} \frac{p(S)dS}{N(S)} \quad (2.43)$$



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 (2.43) akan menjadi:

$$E(D) = \frac{n_0}{A} \int_0^\infty S^m p(S) dS \quad (2.43a)$$

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:

$$p(S) = \frac{\xi}{\lambda} \left( \frac{S}{\lambda} \right)^{\xi-1} \exp \left[ - \left( \frac{S}{\lambda} \right)^\xi \right] \quad (2.44)$$

dimana  $\lambda$  dan  $\xi$  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:

$$\lambda = S_e (\ln n_0)^{-1/\xi} \quad (2.45)$$

Dengan memasukkan persamaan (2.44) ke dalam persamaan (2.43a), maka harga kerusakan yang diharapkan untuk terjadi adalah:

$$D = \frac{n_0}{A} \int_0^\infty S^m \frac{\xi}{\lambda} \left( \frac{S}{\lambda} \right)^{\xi-1} \exp \left[ - \left( \frac{S}{\lambda} \right)^\xi \right] dS \quad (2.46)$$

Dengan melakukan manipulasi matematis, ekspresi Integral ini dapat digantikan dengan fungsi gamma  $\Gamma(x)$ , sehingga persamaan (2.46) dapat dituliskan dalam persamaan tunggal yang lebih sederhana (Almar-Naess, 1985) dan biasa dikenal dengan persamaan kelelahan terangkai (*closed form fatigue equation*) yaitu:

$$D = \frac{n_0}{A} \frac{S_e^m}{(\ln n_0)^{m/\xi}} \Gamma\left(\frac{m}{\xi} + 1\right) \quad (2.47)$$

## 2.4. KONSEP DASAR ANALISA KEANDALAN

Pada analisa perancangan struktur ketidakpastian sering dipertimbangkan dengan memakai analisa probabilitas. Hal ini mengingat struktur menghadapi resiko kegagalan. Resiko yang diterima oleh struktur ini akan mempengaruhi keselamatan dan deformasi struktur tersebut. Analisa keandalan struktur menitikberatkan pada perlakuan dan penentuan faktor ketidakpastian yang rasional. Sehingga hal ini menyangkut masalah pengambilan keputusan yang rasional.

Berbeda dengan analisa deterministik yang hanya melakukan perhitungan dengan pendekatan faktor keamanan ( $S$ ) yang merupakan resiko dari kemampuan ( $capability = C$ ) atau kekuatan dengan permintaan ( $demand = D$ ) atau beban terjelek (*worst load*), seperti dinyatakan dalam persamaan (2.48) berikut:

$$S = C/D \quad (2.48)$$

Pada analisa keandalan, permasalahan dianalisa dengan tiga pertimbangan, yaitu harga rata-rata, simpangan baku, dan fungsi peluang dimana ketiga besaran tersebut menunjukkan adanya ketidakpastian.

Untuk perhitungan ketidakpastian pada struktur dengan menggunakan analisa keandalan, perlu didefinisikan perubah dasar (*basic variable*). Perubah dasar adalah sekumpulan besaran dasar yang menghasilkan tanggapan (*response*) statis maupun dinamis dari struktur. Semua ini dipakai secara fundamental oleh perencana dalam menghitung struktur, selain itu pada analisa sistem struktur maka perlu mendefenisikan ketidakpastian yang diterima oleh struktur tersebut. Ketidakpastian secara umum dapat dibagi menjadi 3, yaitu:

- Ketidakpastian Fisik. Yaitu ketidakpastian yang berhubungan dengan keragaman (*variability*) fisik seperti: beban, sifat material, ukuran material, dan lainnya. Keragaman fisik ini hanya bisa dinyatakan dalam contoh data dengan pertimbangan praktis dan ekonomis.

- Ketidakpastian Statistik. Ketidakpastian ini berhubungan dengan data-data yang dipakai dalam pembuatan model secara probabilistik dari berbagai macam keragaman fisik di atas. Data-data ini harus ditentukan jenis distribusi probabilitasnya serta harga parameter-parameternya. Parameter-parameter tersebut dengan sendirinya dianggap sebagai perubah acak, sedangkan ketidakpastian yang tergantung pada data itu disebut ketidakpastian statistik.
- Ketidakpastian Model. Adalah ketidakpastian yang berhubungan dengan anggapan dari jenis struktur yang dimodelkan secara matematis dalam bentuk deterministik atau probabilistik. Ketidakpastian yang terjadi di sini merupakan hasil dari penyederhanaan dengan memakai bermacam-macam asumsi, kondisi batas yang tidak diketahui, dan diketahuinya pengaruh perubah yang lain serta hubungan perubah-perubah yang tidak tercakup dalam model.

Adanya ketidakpastian dalam persoalan rekayasa, selama ini secara tradisional telah diakomodasikan melalui konsep angka keamanan (*safety factor*), yang secara prinsip hanya memperhatikan harga rata-rata besaran-besaran desain. Jelas sekali, bahwa pendekatan angka keamanan, walaupun memadai tidak memperhitungkan adanya sebaran atau cariabilitas pada besaran-besaran desain. Sehingga persoalan di atas semakin jelas bahwa pertimbangan peluang dalam kerangka rekayasa keandalan memberikan basis yang lebih rasional untuk mengakomodasi ketidakpastian ini.

#### **2.4.1. Keandalan Pada Sistem Rekayasa**

Teori keandalan struktur menitikberatkan pada penilaian beberapa ketidakpastian dan metode-metode pengkuartifikasi serta rasionalisasi dalam proses perancangan. Keandalan suatu struktur itu sendiri didefinisikan sebagai peluang struktur tersebut untuk memenuhi tujuan perancangannya dalam kondisi tertentu (Thoft-Christensen, 1986).

Hasil suatu perhitungan keandalan hanya memberikan suatu angka yang dapat diartikan sebagai peluang kegagalan ataupun sukses dari suatu sistem atau struktur

yang ditinjau. Maksudnya disini adalah, bahwa untuk menentukan suatu sistem atau struktur tersebut laik atau tidak berdasarkan angka keandalan sangat bersifat subjektif, tergantung dari perancangannya, konsultan, *owner*, biro klasifikasi atau pihak yang berkepentingan.

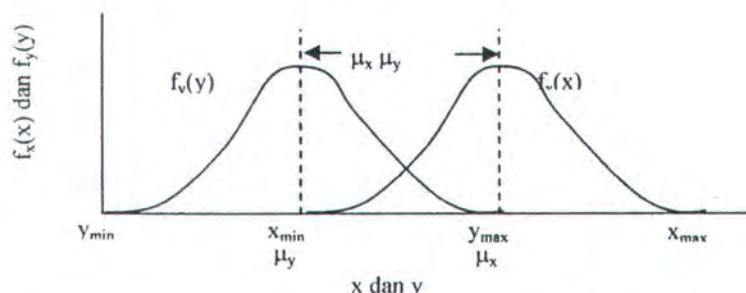
Sistem dari keandalan pada dasarnya dapat ditunjukkan sebagai problematika antara *Demand* (tuntutan atau beban) dan *Capacity* (kapasitas atau kekuatan). Secara tradisional didasarkan atas *safety factor* (angka keamanan) yang diperkenankan. Ukuran konvensional untuk angka keamanan adalah perbandingan antara asumsi nilai nominal kapasitas,  $X^*$ , dan beban,  $Y^*$ , yang dirumuskan sebagai berikut:

$$Z^* = \frac{X^*}{Y^*} \quad (2.49)$$

Mengingat nilai nominal dari kapasitas,  $X^*$  dan beban,  $Y^*$  tidak dapat ditentukan dengan pasti, fungsi-fungsi kapasitas dan beban perlu dinyatakan sebagai peluang sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.9. Dengan demikian, angka keamanan dinyatakan dengan perbandingan  $Z = X/Y$  dari dua variabel acak  $X$  dan  $Y$ .

Ketidakmampuan suatu sistem untuk memenuhi tuntutan dan tugasnya, yang diukur dengan peluang kegagalan, dapat dihubungkan dengan bagian dari distribusi angka keamanan yang nilainya kurang dari satu, yaitu porsi dalam dimana  $Z = X/Y \leq 1$  (lihat gambar 2.10). Peluang kegagalan sistem,  $P_f$  diberikan dengan persamaan:

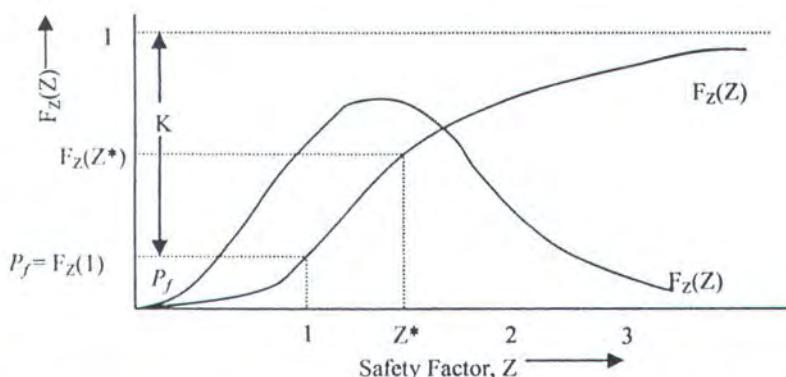
$$P_f = P[Z \leq 1] = F_z(1) \quad (2.50)$$



Gambar 2.9. Fungsi kerapatan peluang (fkp) dari kapasitas  $X$  dan tuntutan  $Y$

Dimana  $F_Z$  adalah fungsi distribusi komulatif dari  $Z$ . dengan pernyataan lain, peluang sistem untuk tidak gagal (keandalan) adalah:

$$K = 1 - P_f = P[Z > 1] = 1 - F_Z(1) \quad (2.51)$$



*Gambar 2.10. Fungsi distribusi komulatif dan fungsi kerapatan peluang pada angka keamanan  $Z = X/Y$*

Ketika distribusi peluang bersama (joint probability distribution) dan  $X$  dan  $Y$  diketahui, keandalan sebuah sistem dapat dihitung berdasarkan fungsi distribusi komulatif dari  $X/Y$ . Peluang kegagalan nol ( $P_f = 0$ ) dan keandalan 100 ( $K = 1$ ) hanya terjadi ketika tuntutan maksimum  $Y_{\max}$  tidak melewati kapasitas minimum  $X_{\min}$ , sehingga kedua distribusi tidak saling overlap.

## 2.5. INDEKS KEANDALAN

Salah satu cara untuk mengukur keandalan adalah dengan cara menggunakan indeks keandalan  $\beta$ , yang didefinisikan sebagai perbandingan antara nilai rata-rata dan nilai simpangan baku dari margin keselamatan,  $S$ , yaitu:

$$\beta = \frac{\mu_s}{\sigma_s} \quad (2.52)$$

Jika menggunakan nilai kristis margin keselamatan,  $S = 0$ , dan jaraknya dengan nilai rata-rata margin keamanan  $\mu_s$ , maka indeks keandalan ini dapat diinterpretasikan sebagai jumlah kelipatan simpangan baku  $\sigma_s$  pada jarak ini. Artinya, jarak antara  $S = 0$  dengan  $\mu_s$  ini dapat dibagi menjadi beberapa simpangan baku. Semakin panjangnya, relatif terhadap simpangan baku, maka

semakin besar indeks keandalannya. Selanjutnya, indeks keandalan juga berbanding terbalik dengan koefisien variasi margin keselamatan, atau dapat dituliskan

$$\beta = \frac{1}{V_s}.$$

Untuk menghasilkan ekspresi yang lebih umum atas indeks keandalan, dapat digunakan persamaan yang secara sepantasnya dibahas pada bagian sebelumnya.

Mengingat  $\mu_s = \mu_x - \mu_y$ , dan  $\sigma^2_s = \sigma^2_x - 2\rho_{xy}\sigma_x\sigma_y + \sigma^2_y$ , maka:

$$\beta = \frac{\mu_x - \mu_y}{\sqrt{\sigma^2_x - 2\rho_{xy}\sigma_x\sigma_y + \sigma^2_y}} \quad (2.53)$$

Dimana  $\rho_{xy}$  adalah koefisien korelasi diantara kapasitas dan beban. Oleh karena itu, indeks keandalan adalah maksimum jika  $\rho_{xy} = +1$  dan minimum jika  $\rho_{xy} = -1$ . Untuk X dan Y terdistribusi normal, maka peluang kegagalan adalah:

$$P_f = 1 - \Phi(\beta). \quad (2.54)$$

dan

$$K = \Phi(\beta) \quad (2.55)$$

### 2.5.1. Metode Mean Value First Order Second Moment

Untuk melakukan analisa keandalan dan kegagalan atas sebuah sistem rekayasa, pertama-tama yang harus dilakukan adalah mengidentifikasi *input* (masukan) dan *output* (keluaran) sistem tersebut. Kemampuan suatu sistem rekayasa untuk bekerja dengan persyaratan tertentu dapat didefinisikan menggunakan beberapa istilah, misalnya kapasitas dan kebutuhan (*capacity and demand*), beban dan kekuatan (*load and strength*) atau gaya dan tahanan (*force and resistance*). Sistem rekayasa di sini meliputi sistem yang sedang dirancang dimana sebagian besaran perubah (variabel) masih berupa skenario, maupun sistem yang sudah dianalisa dimana konfigurasinya sudah diketahui. Hasil analisa ini kemudian dapat diambil sebagai pijakan untuk mengambil putusan mengenai kelaikan sistem tersebut dilihat dari sudut keandalannya. Misalnya, bila ternyata skenario sistem yang sedang ditinjau memiliki karakteristik keandalan yang tidak memadai, maka rancangbangunnya perlu dirubah sampai diperoleh konfigurasi yang memadai, atau optimum menurut arti tertentu.

Ada beberapa metode analisa yang biasa digunakan dalam menghitung keandalan suatu sistem, salah satunya adalah metode *Mean Value First Order Second Moment* (MVFOSM) yang umumnya dipakai untuk analisa keandalan sistem rekayasa, terutama banyak dijumpai penerapannya untuk analisa komponen struktur. Metode ini dipakai untuk memperkirakan keandalan komponen yang tidak diproduksi secara massal. Artinya, keandalan komponen tidak diperoleh secara *reliability lifetesting*, namun diperkirakan langsung dengan memperhatikan fungsi kerapatan peluang perubah-perubah acak yang mengatur perilaku kegagalan komponen tersebut. Metode ini lazim dipakai dalam analisa keandalan komponen struktural, efek pembebanan dan kekuatan struktur yang dinyatakan dalam sebuah fungsi kinerja komponen diperlakukan sebagai perubah-perubah acak.

Dalam metode MVFOSM ini, masukan yang diperlukan dalam perhitungan adalah harga rata-rata (*mean value* atau *first moment*) dan simpangan baku (*standard deviation*, atau *second moment*) dari perubah-perubah acak tersebut. Jadi, distribusi atau fungsi kerapatan peluang (*fkp*) perubah-perubah tersebut tidak diperlukan secara langsung.

Fungsi kinerja sistem *FK* adalah sebuah fungsi yang menyatakan moda kegagalan yang hendak dihindari (atau diperkirakan peluang terjadinya) dalam perubah-perubah yang mempengaruhi moda kegagalan tersebut. Dari setiap perubah yang terdapat dalam suatu rumusan sistem rekayasa, tidak semuanya wajar disebut sebagai perubah acak. Dengan kata lain, hanya beberapa saja dari perubah-perubah tersebut yang memiliki ketidakpastian yang cukup besar sehingga lebih wajar jika diperlakukan sebagai perubah acak dengan fungsi kerapatan peluang *fkp* tertentu. Perubah-perubah ini kemudian disebut sebagai perubah dasar (*basic variable*) dalam fungsi kinerja struktur.

$$Z = g(x_1, x_2, x_3, \dots, x^n) \quad (2.56)$$

Kasus paling sederhana adalah apabila fungsi kinerja struktur *Z* merupakan fungsi linier dalam (*x*), dan perubah-perubah dasar mempunyai *fkp* normal gaussian sebagai berikut:

$$g(X) = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n \quad (2.57)$$

Dimana  $a_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  adalah konstanta dan  $X_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  adalah perubah-perubah dasar dengan *fkp* normal gaussian.

Apabila asumsi normal *Gaussian* ini sahih, dan semua  $x_i$  tidak memiliki koalisi atau independen, maka  $Z$  akan juga normal gaussian, dengan harga rata-rata dan *variance* berikut:

$$\mu_Z = a_0 + a_1 \mu_{X1} + a_2 \mu_{X2} + \dots + a_n \mu_{Xn} \quad (2.58)$$

$$\sigma^2_Z = a_1^2 \sigma^2_{X1} + a_2^2 \sigma^2_{X2} + \dots + a_n^2 \sigma^2_{Xn} \quad (2.59)$$

dimana  $\mu_{Xi}$  adalah harga rata-rata dan  $\sigma_{Xi}$  adalah simpangan baku  $X_i$ . Selanjutnya didefinisikan indeks keandalan  $\beta$  sebagai berikut:

$$\beta = \frac{\mu_s}{\sigma_s} \quad (2.60)$$

Sedangkan peluang kegagalan komponen struktur diperbolehkan dari

$$P_g = \Phi(-\beta) \quad (2.61)$$

Dimana  $\Phi(X)$  adalah fungsi komulatif peluang normal yang harganya dapat dilihat di tabel distribusi komulatif normal. Hubungan antara persamaan (2.60) dan (2.61) memiliki arti penting, karena terdapat relasi satu-satu antara  $\beta$  dan peluang kegagalan  $P_g$ .

Untuk fungsi kinerja nonlinear, fungsi kinerjanya dapat dilinearkan dengan menggunakan ekspansi deret Taylor, sebagai berikut

$$g(X_1, X_2, \dots, X_n) \approx g(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) + \sum_{i=1}^n (X_i - x_i^*) \frac{\partial g}{\partial X_i} \quad (2.62)$$

dimana  $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$  adalah titik yang akan dievaluasi. Salah satu pilihan titik linearisasi adalah titik yang merupakan nilai rata-rata dari variabel acak. Sehingga persamaan (2.62) akan menjadi:

$$g(X_1, X_2, \dots, X_n) \approx g(\mu_{X_1}, \mu_{X_2}, \dots, \mu_{X_n}) + \sum_{i=1}^n (X_i - \mu_{X_i}) \frac{\partial g}{\partial X_i} \quad (2.63)$$

Setelah melinearkan fungsi dari variabel  $X_i$ , dapat diperoleh suatu persamaan yang digunakan untuk mendekati indeks keandalan  $\beta$ . Persamaan ini diperoleh setelah melakukan beberapa manipulasi aljabar dan didapat

$$\beta = \frac{g(\mu_{X_1}, \mu_{X_2}, \dots, \mu_{X_n})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i \sigma_{X_i})^2}} \text{ dengan } a_i = \frac{\partial g}{\partial X_i} \quad (2.64)$$

### 2.5.2. Metode *Advanced First Order Second Moment*

Metode MVFOSM, khususnya yang menggunakan pendekatan ekspansi Taylor, memiliki kelemahan pokok, yaitu inkonsistensi  $\beta$  (Nowak, 2000). Hal ini disebabkan karena:

1. Ada ketidakpastian pada titik linearisasi yang harus dipilih
2. Bila fungsi kinerja  $Z$  ditulis secara berbeda (namun secara matematis ekuivalen) untuk moda kegagalan yang sama, akan diperoleh indeks keandalan  $\beta$  yang berbeda.

Untuk mengatasi permasalahan ini, pada tahun 1974, Hasofer dan Lind mengajukan modifikasi terhadap indeks keandalan yang menunjukkan permasalahan-permasalahan di atas. Metode ini dikenal dengan metode AFOSM (*Advanced First Order Second Moment*). Perbaikan yang dilakukan di sini adalah dengan mengevaluasi fungsi kinerja pada titik yang biasa disebut “*design point*” dan bukan pada nilai rata-ratanya. *Design point* adalah titik pada bidang kegagalan  $g=0$ . Karena pada awalnya *design point* ini tidak diketahui, maka pada umumnya digunakan teknik iterasi untuk mendapatkan harga indeks keandalannya.

Dengan mengasumsi fungsi kinerja  $g(X_1, X_2, \dots, X_n)$  dimana seluruh variabel acak  $X_i$  tidak berhubungan apabila variabel-variabel berhubungan, dilakukan transformasi untuk memperoleh variabel-variabel yang tidak berhubungan. Fungsi kinerja ditulis kembali sebagai hubungan formasi standar dari variabel-variabel (*reduced variables*) menggunakan persamaan berikut:

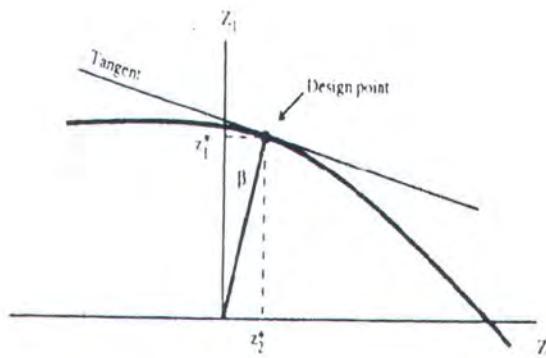
$$Z_i = \frac{X_i - \mu_{X_i}}{\sigma_{X_i}} \quad (2.65)$$

Maka indeks keandalan untuk metode AFOSM didefinisikan sebagai jarak terdekat titik origin dari *reduced variable space* menuju ke fungsi kinerja  $g=0$ .

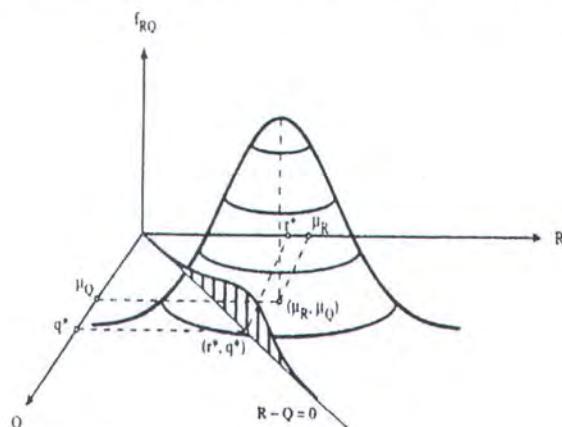
Sejauh ini tidak ada perubahan untuk perhitungan indeks keandalan. Bahkan, apabila fungsi kinerja adalah linear, indeks keandalannya masih dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\beta = \frac{g(\mu_{X_1}, \mu_{X_2}, \dots, \mu_{X_n})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i \sigma_{X_i})^2}} \quad (2.66)$$

Apabila fungsi kinerjanya adalah nonlinear, bagaimanapun juga, diperlukan iterasi untuk menemukan *design point*  $(z_1^*, z_2^*, \dots, z_n^*)$  dalam *reduced variable space* karena  $\beta$  akan terus menunjukkan jarak yang terdekat. Konsep ini diilustrasikan pada gambar 2.11. sampai 2.13. untuk kasus dengan dua variabel acak.

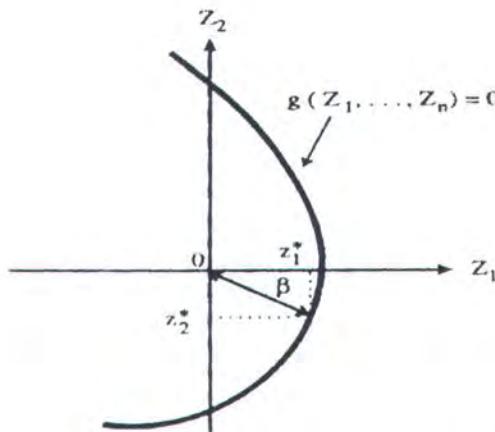


Gambar 2.11. Indeks Keandalan dengan metode AFOSM



Gambar 2.12. Design point pada batas kegagalan untuk fungsi kinerja linear

$$g = R - Q$$



Gambar 2.13. Design point dan indeks keandalan untuk fungsi kinerja nonlinear

Prosedur iterasi dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu persamaan simultan  $(2n + 1)$  dengan  $(2n + 1)$  variabel yang belum diketahui:  $\beta, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, z_1^*, z_2^*, \dots, z_n^*$ , dimana

$$\alpha_i = -\frac{\frac{\partial g}{\partial Z_i}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n \left( \frac{\partial g}{\partial Z_k} \right)^2}} \quad (2.66a)$$

$$\frac{\partial g}{\partial Z_i} = \frac{\partial g}{\partial X_i} \frac{\partial X_i}{\partial Z_i} = \frac{\partial g}{\partial X_i} \sigma_{X_i} \quad (2.66b)$$

$$\sum_{i=1}^n (\alpha_i)^2 = 1 \quad (2.66c)$$

$$z_i^* = \beta \alpha_i \quad (2.67)$$

$$g(z_1^*, z_2^*, \dots, z_n^*) = 0 \quad (2.68)$$

Persamaan (2.66b) hanyalah suatu aplikasi dari rangkaian rumus diferensial. Persamaan (2.66c) adalah suatu persyaratan untuk harga variabel  $\alpha_i$ , yang mana dapat dipastikan dengan melihat pada persamaan (2.66a). Persamaan (2.68) adalah pernyataan matematis dari persyaratan bahwa *design point* haruslah berada pada batas kegalannya.



## BAB III

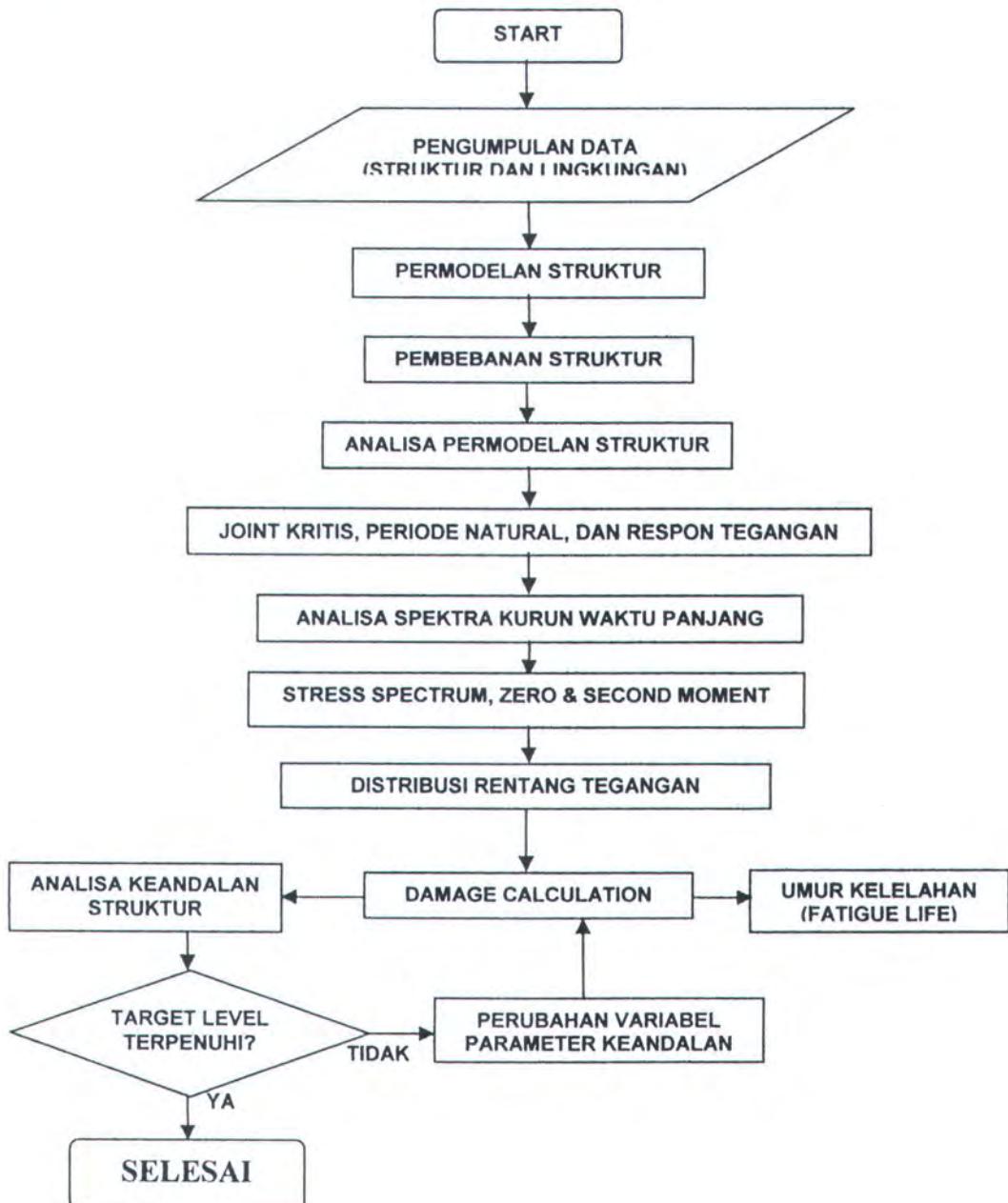
# METODOLOGI PENELITIAN

*I've learned...  
That I can't choose how I feel,  
but I can choose what I do about it.*

### BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir (Flow Chart) penggerjaan penelitian ini dapat diuraikan seperti Gambar 3.1. berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penggerjaan Tugas Akhir

Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data lingkungan yang meliputi gelombang yang nantinya digunakan sebagai perhitungan beban termasuk data distribusi gelombang dan pengumpulan data struktur meliputi dimensi, material dan berat yang diambil dari *existing model*. Selanjutnya dari data-data yang tersedia struktur dimodelkan dengan menggunakan *software* GT-Strudl. Data-data lingkungan dimasukkan sebagai input untuk memodelkan beban lingkungan dengan *software* GT-SELOS.

Tahap berikutnya adalah melakukan analisa dinamis terhadap permodelan yang sudah dibuat untuk menentukan periode natural struktur, *joint* kritis, dan mendapatkan respon struktur. Respon struktur yang sudah diplotkan dalam bentuk RAO (*Response Amplitude Operator*) dan spektrum gelombang kemudian digunakan untuk menghitung spektrum respon tegangan struktur.

Analisa selanjutnya adalah melakukan analisa spektra untuk kurun waktu panjang untuk mendapatkan distribusi rentang tegangan. Parameter-parameter yang diperoleh dari analisa spectra kurun waktu panjang kemudian digunakan untuk menghitung rasio kerusakan struktur dengan menggunakan persamaan kelelahan terangkai (*closed form fatigue equation*) dan selanjutnya akan didapat umur kelelahan struktur.

Analisa keandalan terhadap kelelahan struktur kemudian dilakukan dengan menggunakan metode *Advanced First Order Second Moment (AFOSM)*. Analisa dilakukan dengan memperhitungkan variabel penentu dalam persamaan rasio kelelahan yang bersifat acak seperti rentang tegangan ekstrem.

### **3.1. PENGUMPULAN DATA**

#### **3.1.1. Code dan Standard**

Di dalam penelitian ini *code* dan *standard* yang digunakan sebagai bahan acuan analisa adalah:

- API RP2A : Recommended Practice For Planing, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – 21<sup>st</sup> Edition, Working Stress Design
- AISC : AISC Manual Of Steel Construction -9<sup>th</sup> Edition working Stress Design

### 3.1.2. Data Perencanaan

- *Design Life*

Struktur APN-A dirancang untuk mencapai *design life* selama 24 tahun

- Angin

Kecepatan angin untuk semua arah di perlihatkan pada tabel berikut ini, yaitu untuk angin pada ketinggian 10 m diatas MSL (*Mean Sea Level*)

*Tabel 3.1 Kecepatan Angin Rata-rata*

Duration	1 Year Return (m/Sec)	100 Year Return (m/s)
Rata-rata 60 menit	10	20.6
Rata-rata 1 Menit	12.4	25.7
3 Detik	15	31.2

- *Topside Elevations*

Struktur APN-A diperkirakan mengalami *subsidence* sebesar 1.71 m. Oleh karena itu perlu diperhatikan besarnya puncak gelombang maksimum yang mengenai struktur. Tabel 3.2. memperlihatkan perhitungan puncak gelombang maksimum yang terjadi. Dalam hal ini data gelombang 100 tahun sesuai dengan dokumen no. 90-APN-SPE-MD-11001.

- *Datum Elevation*

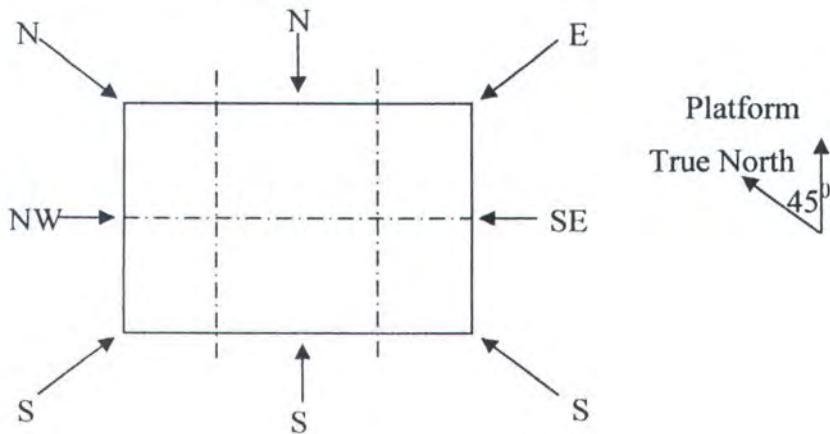
Datum Elevation untuk struktur, adalah pada elevasi (+)0.00 yang terletak pada MSL (*Mean Sea Level*)

*Tabel 3.2 Data Puncak gelombang*

Keterangan	100 Year
Tinggi Gelombang Maksimum	5.5 m
Subsidence	1.7 m
Depth Tolerance	0.5 m
Pasang Surut Tertinggi	0.57 m
Storm Surge	0.01 m
Tinggi Puncak Gelombang Maksimum Diatas MSL	6.08 m

- Orientasi Platform

Arah Utara dari struktur APN-A adalah arah 45 derajat arah barat dari *true north* (arah kompas).



*Gambar 3.2. Platform Orientation*

- Kedalaman Air.

Kedalaman air untuk struktur APN-A adalah sebesar 40.951 m terhadap MSL.

### 3.1.3 Data Struktur

APN-A Platform merupakan bangunan lepas pantai jenis *Monotower platform* yang masih tergolong dalam kategori struktur *Jacket*. Spesifikasi umum dari struktur APN-A antara lain:

1. Jenis struktur : Jacket Monotower Platform
2. Jumlah pile : 3 skirt pile dan 1 caisson pile
3. Diameter pile : 48”
4. Jumlah caisson : 1 buah
5. Diameter caisson : 56”
6. Jumlah geladak : 2 (main deck dan helideck)
7. Dimensi main deck : 53’x57.1’ + 12.8’x18.25’
8. Elevasi main deck : 37'-6" TOS
9. Dimensi helideck : 53"x53"
10. Elevasi helideck : 62'-0" TOS

11. Jumlah conductor : 4 buah
12. Diameter conductor : 26”

### 3.1.4 Data Lingkungan

Data lingkungan mempunyai peran signifikan terhadap kinerja suatu struktur. Untuk itu harus benar-benar diperhatikan lokasi operasi struktur dengan kondisi lingkungan sebagai berikut:

1. Lokasi : Laut Jawa
2. Kedalaman

Kedalaman pada lokasi struktur APN-A memiliki elevasi yang berbeda-beda untuk setiap kondisi lingkungan yang berlaku.

*Tabel 3.3. Data Kedalaman dan Elevasi Muka Air*

No.	Description	operating	storm
		condition	condition
1	MSL	40.95	40.95
2	Subsidence	1.7	1.7
3	Storm surge	0	0.033
4	Mudmat settlement	0.5	0.5
5	HAT	0.57	0.57
6	LAT	0.47	0.47
7	WD tolerance	0.5	0.5
	WD Max	44.22	44.253
	WD Min	39.98	39.947
	WD Avg	43.15	43.183

Sumber : APN -A Platform: Jacket Design Report (doc.no.20-APN-CAL-SJ-11001)

### 3. Data Gelombang

Mengacu pada data gelombang dari BP West Java Ltd. data gelombang yang dipakai sesuai dengan Tabel 3.4. berikut

*Tabel 3.4. Data Gelombang*

Parameter	Operating Condition	Storm Condition
Height (H)	3.5 m	5.5 m
Hs	2 m	3.03 m
T	7 s	8.7 s

Sumber : APN -A Platform: Jacket Design Report (doc.no.20-APN-CAL-SJ-11001)

#### 4. Data Occurance

Data *occurrence* gelombang diperlihatkan untuk semua arah pembebangan, seperti pada Tabel 3.5. berikut.

*Tabel 3.5. Distribusi Tinggi Gelombang (Occurrences) Perairan Laut Jawa*

##### OCCURRENCE FOR DIR 0 DEGREE

Hs/Ts	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	TOTAL
0.25	22	124	411	375	0	0	0	0	0	0	931
0.75	0	0	1	11	11	1	0	0	0	0	24
1.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>22</b>	<b>124</b>	<b>412</b>	<b>385</b>	<b>11</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>955</b>

##### OCCURRENCE FOR DIR 315 DEGREE

Hs/Ts	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	TOTAL
0.25	22	124	414	377	0	0	0	0	0	0	937
0.75	0	0	1	8	8	1	0	0	0	0	18
1.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>22</b>	<b>124</b>	<b>414</b>	<b>385</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>955</b>

**OCCURRENCE FOR DIR 270 DEGREE**

Hs/Ts	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	TOTAL
0.25	20	114	380	346	0	0	0	0	0	0	861
0.75	0	0	3	38	39	4	0	0	0	0	84
1.25	0	0	0	0	3	5	1	0	0	0	9
1.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>20</b>	<b>114</b>	<b>383</b>	<b>384</b>	<b>42</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>955</b>

**OCCURRENCE FOR DIR 225 DEGREE**

Hs/Ts	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	TOTAL
0.25	15	87	289	263	0	0	0	0	0	0	654
0.75	0	0	6	81	84	10	0	0	0	0	181
1.25	0	0	0	0	24	40	6	0	0	0	70
1.75	0	0	0	0	0	6	19	6	0	0	32
2.25	0	0	0	0	0	1	2	6	5	0	14
2.75	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	5
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>87</b>	<b>295</b>	<b>345</b>	<b>108</b>	<b>56</b>	<b>27</b>	<b>15</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>955</b>

**OCCURRENCE FOR DIR 180 DEGREE**

Hs/Ts	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	TOTAL
0.25	18	101	336	307	0	0	0	0	0	0	762
0.75	0	0	5	69	72	8	0	0	0	0	154
1.25	0	0	0	0	10	16	2	0	0	0	29
1.75	0	0	0	0	0	1	3	1	0	0	5
2.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2.75	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	4
<b>TOTAL</b>	<b>18</b>	<b>101</b>	<b>342</b>	<b>376</b>	<b>82</b>	<b>26</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>955</b>

**OCCURRENCE FOR DIR 135 DEGREE**

Hs/Ts	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	TOTAL
0.25	16	93	310	283	0	0	0	0	0	0	703
0.75	0	0	8	108	112	13	0	0	0	0	241
1.25	0	0	0	0	3	5	1	0	0	0	9
1.75	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
2.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>16</b>	<b>93</b>	<b>318</b>	<b>391</b>	<b>115</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>955</b>

**OCCURRENCE FOR DIR 90 DEGREE**

Hs/Ts	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	TOTAL
0.25	18	104	347	316	0	0	0	0	0	0	786
0.75	0	0	5	74	76	9	0	0	0	0	164
1.25	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	4
1.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>18</b>	<b>104</b>	<b>352</b>	<b>390</b>	<b>78</b>	<b>11</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>955</b>

**OCCURRENCE FOR DIR 45 DEGREE**

Hs/Ts	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	TOTAL
0.25	20	111	368	336	0	0	0	0	0	0	834
0.75	0	0	3	44	45	5	0	0	0	0	97
1.25	0	0	0	0	7	12	2	0	0	0	20
1.75	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	3
2.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>20</b>	<b>111</b>	<b>372</b>	<b>379</b>	<b>52</b>	<b>17</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>955</b>

Sumber : APN -A Platform: Jacket Design Report (doc.no.20-APN-CAL-SJ-11001)

## 5. Data Arus

Kecepatan arus yang bervariasi untuk tiap-tiap kedalaman ditunjukkan seperti yang terlihat pada Tabel 3.6. berikut ini.

*Tabel 3.6. Data Kecepatan Arus Pada Tiap Kedalaman*

Operating Condition		Storm Condition	
Depth	Velocity	Depth	Velocity
M	m/s	m	m/s
0	0.67	0	1.09
4.095	0.56	4.425	0.87
8.19	0.48	8.85	0.71
12.285	0.42	13.275	0.59
16.38	0.38	17.701	0.5
20.475	0.35	22.126	0.44
24.57	0.33	26.551	0.39
28.665	0.31	30.977	0.36
32.76	0.3	35.402	0.34
36.855	0.29	39.827	0.32
40.95	0.29	44.253	0.31

Sumber : APN -A Platform: Jacket Design Report (doc.no.20-APN-CAL-SJ-11001)

## 6. Koefisien Hidrodinamis

Koefisien hidrodinamis yang diambil mengacu pada laporan BP West Java Ltd. sesuai dengan ketentuan dari API RP 2A untuk analisa umur kelelahan (*fatigue analysis*) seperti terlihat pada Tabel 3.7 berikut ini.

*Tabel 3.7. Data Koefisien Hidrodinamis*

	C <sub>D</sub>	C <sub>M</sub>
Smooth	0.50	2.0
Rough	0.80	2.0

Sumber : APN -A Platform: Jacket Design Report (doc.no.20-APN-CAL-SJ-11001)

## 7. Data Angin

Data angin untuk lingkungan operasi struktur diambil mengacu pada laporan BP West Java Ltd. seperti terlihat pada Tabel 3.8. berikut.

*Tabel 3.8. Data Angin*

Velocity	Operating Condition		Storm Condition	
	ft/s	m/s	ft/s	m/s
1 hour	32.808	10	67.6	20.6
1 minute	40.682	12.4	84.317	25.7

Shape factor	Ca
flat surface	1.5
tubulars	0.5
Overall platform	1

Sumber : APN -A Platform: Jacket Design Report (doc.no.20-APN-CAL-SJ-11001)

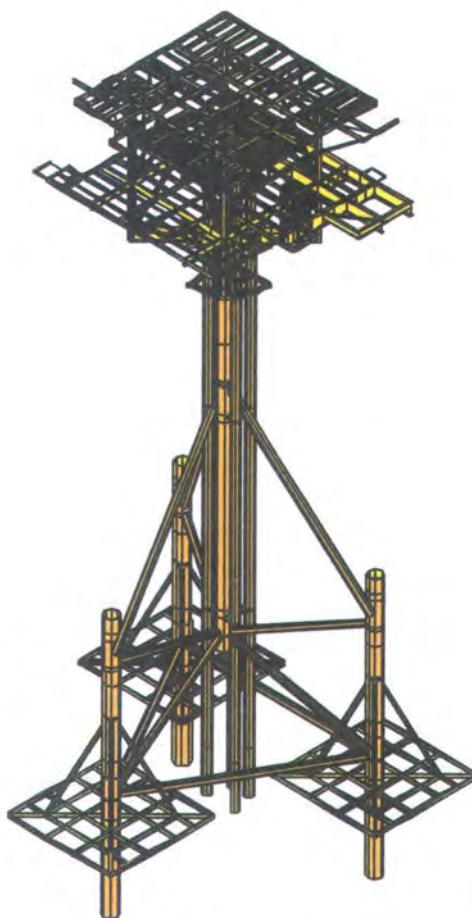
## 3.2. PERMODELAN STRUKTUR

Software yang digunakan dalam penelitian adalah GT-Strudl dan GT-Selos. Software ini merupakan software struktur yang berdasarkan *finite element method* (FEM). Input data didalam pemodelan struktur ini sesuai dengan data yang tersedia baik dalam bentuk *technical drawing* maupun dalam bentuk laporan. Bentuk model struktur detail dapat dilihat pada Gambar 3.3.

## 3.3. PEMBEBANAN STRUKTUR

### 3.3.1 Pemodelan Beban

Pemodelan pembebanan untuk struktur APN-A terdiri dari beban statis dan beban dinamis. Beban statis terdiri dari beban sendiri, *payload* dan gaya apung struktur, sedangkan beban dinamis yang digunakan adalah beban gelombang dan dianalisa dalam 8 (delapan) arah sudut datang.



*Gambar 3.3. Model Struktur APN-A*

Pemodelan beban gelombang ini menggunakan *software* GT SELOS, dimana parameter gelombang yang dimasukkan sebagai input data pemodelan beban dinamis adalah sebagai berikut :

1. Teori gelombang
2. Tinggi gelombang
3. Periode gelombang
4. Arah gelombang
5. Koefisien hidrodinamis

a. **Penentuan Teori Gelombang**

Teori Gelombang yang digunakan pada penelitian ini didasarkan pada grafik region of validity dengan input data dan rumus penentuanya sebagai berikut:

$$\frac{d}{gT^2} = \frac{40.951}{9,81(8,7)^2} = 0,055$$

$$\frac{H}{gT^2} = \frac{3,03}{9,81(8,7)^2} = 0,00408$$

Berdasarkan perhitungan yang kemudian diplotkan pada grafik *Region of Validity* pada Gambar 2.2., maka teori gelombang yang digunakan adalah **Teori Stoke's orde-5**

#### b. Perhitungan Gaya Gelombang

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* GT SELOS berdasarkan pada teori Morison. Persamaan untuk perhitungan beban gelombang bekerja silinder tegak seperti pada persamaan (2.14).

#### c. Perhitungan Spektra Gelombang

Spektra gelombang yang digunakan adalah spectra gelombang Pierson-Moskowitz (P-M). Perhitungan spectra P-M ini dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.26).

### 3.3.2 Analisa Pemodelan Struktur

Analisa akan dilakukan dalam tiga tahap yaitu, pertama untuk menentukan sambungan (*joint*) kritis, kedua mencari nilai periode natural struktur dan ketiga adalah melakukan analisa dinamis untuk mendapatkan respons spectra tegangan dan harga ekstremnya.

*Joint* kritis ditentukan dengan melakukan analisa pada struktur menggunakan bantuan *software* GT-Strudl. Dari hasil analisa dapat diketahui *joint* mana yang memiliki tegangan terbesar apabila menerima beban kelelahan (*fatigue load*) untuk kemudian pada *joint* tersebut akan dilakukan analisa umur kelelahan dengan metode stokastik (*spectral fatigue analysis*).

Periode natural struktur merupakan waktu yang diperlukan struktur untuk melakukan suatu siklus gerakan. Analisa dilakukan menggunakan *software* GT-Strudl dan kemudian dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya seperti dokumen milik BP West Java Ltd.

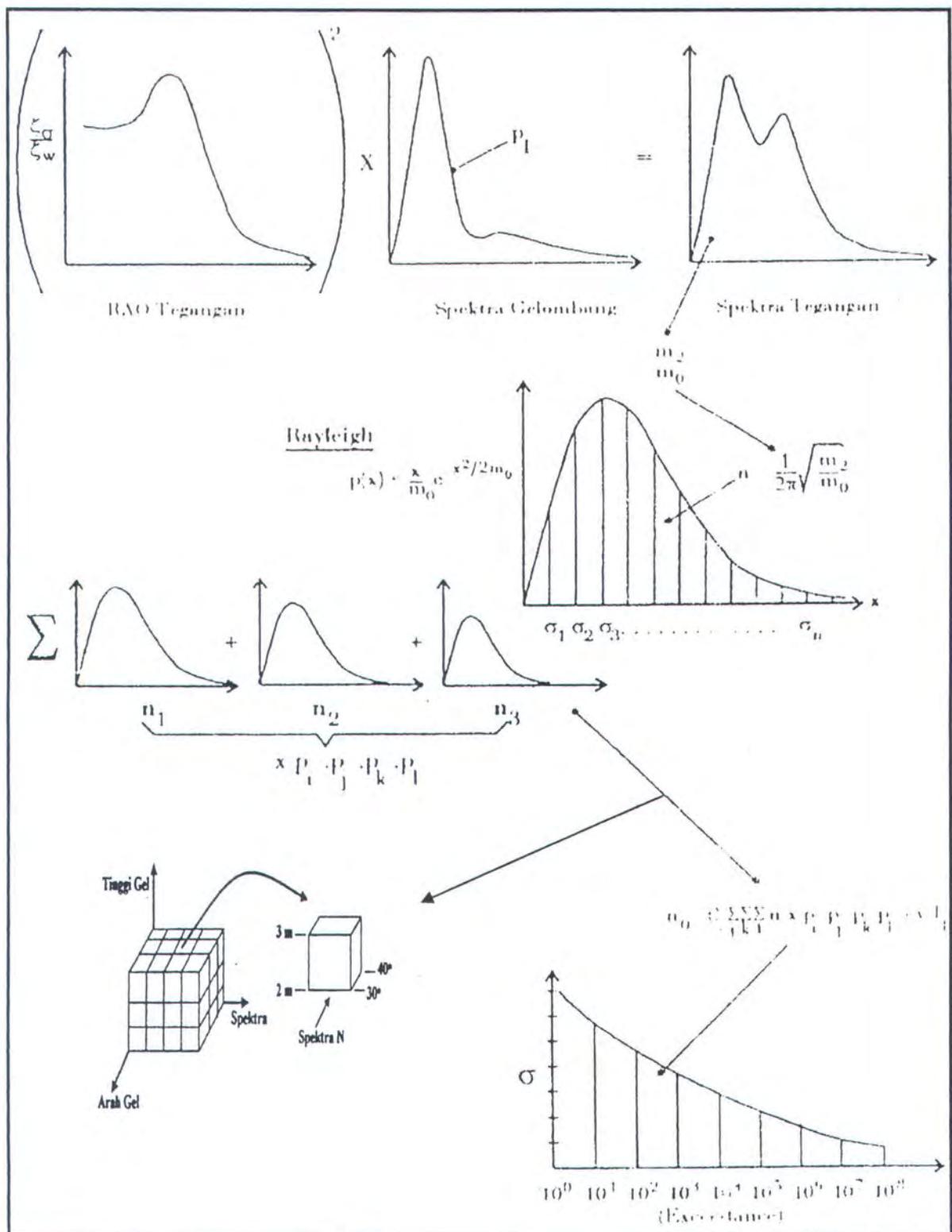
Analisa dinamis dilakukan pada model setelah melakukan verifikasi periode natural dengan penelitian BP West Java Ltd, kemudian dilakukan perhitungan untuk mencari nilai spectra respon tegangan dan harga ekstrem untuk masing-masing kondisi (*sea state*).

### **3.4. ANALISA SPEKTRA KURUN WAKTU PANJANG**

Tahapan-tahapan dalam melakukan analisa spektra untuk kurun waktu panjang (*long-term spectral analysis*) secara lengkapnya sudah dijelaskan pada sub bab 2.3.5. Kontribusi data masukan dalam analisa spektra kurun waktu panjang ini ditunjukkan dalam Gambar 3.4.

### **3.5. PERHITUNGAN UMUR KELELAHAN**

Umur kelelahan struktur dihitung dengan memasukkan parameter-parameter yang diperoleh dari analisa spektra kurun waktu panjang yaitu  $n_0$  dan  $S_e$  ke dalam persamaan kelelahan terangkai (*closed form fatigue*) untuk mendapatkan nilai rasio kerusakan ( $D$ ). Untuk harga parameter  $\xi$  yang merupakan *shape parameter* dari distribusi Weibull didapat melalui varifikasi terhadap penelitian-penelitian sebelumnya. Sedangkan untuk harga parameter  $A$  dan  $m$  diambil mengacu pada kurva S-N dari API RP 2A sesuai dengan tipe *joint* yang dianalisa.



Gambar 3.4. Prosedur Penurunan Distribusi Tegangan Dengan Analisa Spektral Kurun Waktu Panjang

### 3.6. ANALISA KEANDALAN STRUKTUR

Analisa keandalan struktur *Jacket APN-A* terhadap kelelahan dilakukan dengan menggunakan metode *Advanced First Order Second Moment* (AFOSM) untuk mendapatkan indeks keandalan struktur. Fromulasi ambang keselamatan oleh kelelahan adalah:

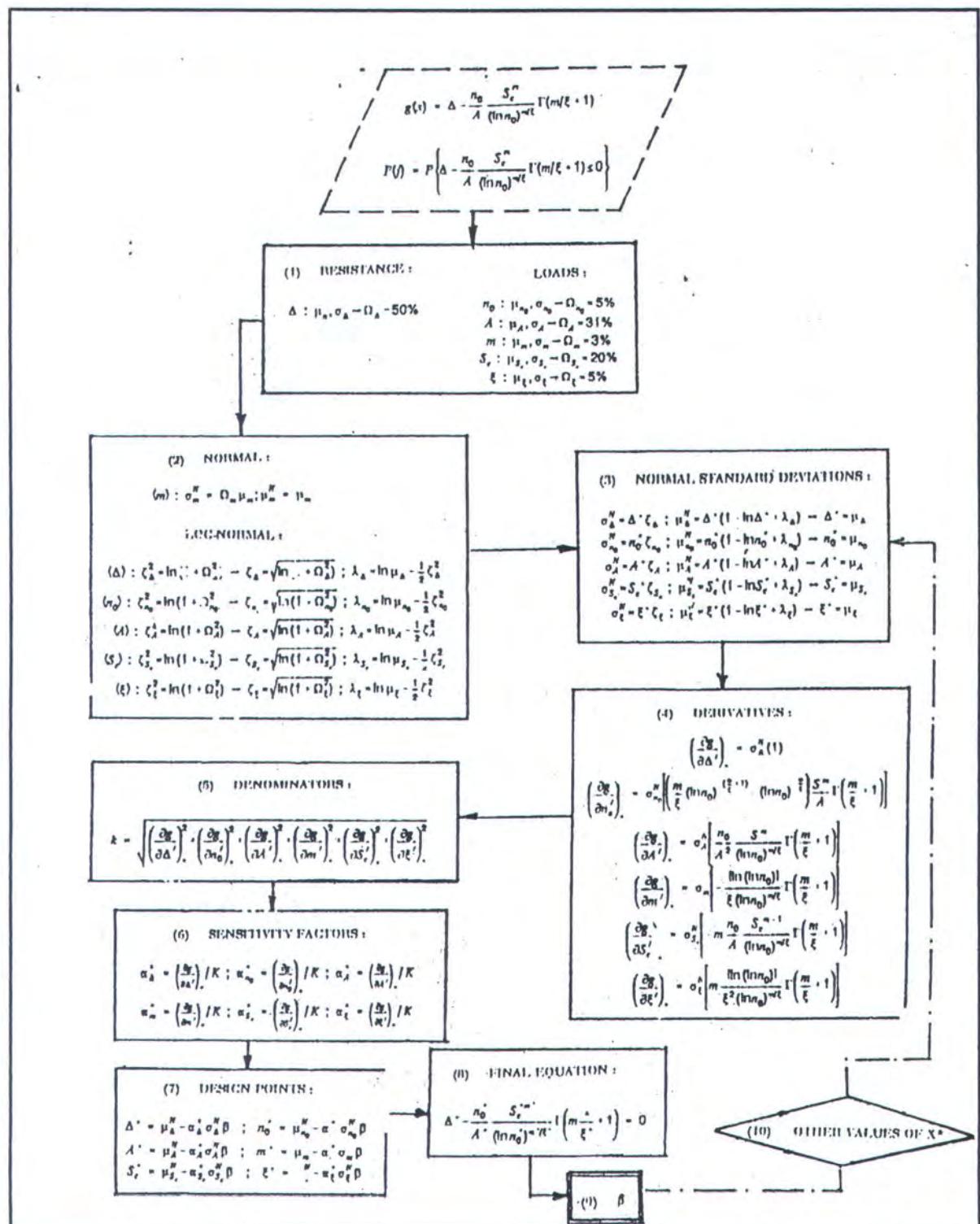
$$g(x) = \Delta - D \quad (3.1)$$

$$g(x) = \Delta - \frac{n_0}{A} \frac{S_e^m}{(\ln n_0)^{m/\xi}} \Gamma\left(\frac{m}{\xi} + 1\right) \quad (3.2)$$

*Tabel 3.9. Data Statistik Variabel Penentu Analisa Keandalan (Djatmiko, 2003)*

Variabel	COV	Tipe Distribusi
$D$	0.50	Log-Normal
$\Delta$	0.60	Log-Normal
$n_0$	0.05	Log-Normal
$A$	0.31	Log-Normal
$m$	0.03	Normal
$S_e$	0.20	Log-Normal
$\xi$	0.05	Log-Normal

Analisa ini dilakukan dengan memperhitungkan variable penentu yang bersifat acak. Properti statistik tiap-tiap variabel penentu untuk menyelesaikan persamaan (3.2) tersebut telah diperoleh dari sejumlah sumber. Djatmiko (2003) pada penelitiannya telah merangkum data statistik lengkap dari masing-masing variabel penentu tersebut seperti yang tersaji pada Tabel 3.9. Untuk analisa selanjutnya, penyelesaian formulasi ambang keselamatan dilakukan dengan mengikuti algoritma seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Algoritma AFOSM untuk Analisa Keandalan oleh Beban Kelelahan (Djatmiko, 2003)





## **BAB IV**

# **ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN**

*I've learned...  
That to ignore the facts,  
doesn't change the facts.*

## BAB IV

### ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. ANALISA UMUR KELELAHAN STRUKTUR

##### 4.1.1 Perhitungan Periode Natural Struktur

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan *software* GT-Strudl. Dari hasil *running* pada struktur, diperoleh hasil perhitungan seperti pada tabel berikut:

*Tabel 4.1. Hasil Perhitungan Periode Natural*

NO. OF MODE SHAPE	NATURAL PERIODE (SEC)
1	3.58
2	3.32
3	2.71
4	1.17
5	1.17

Berdasarkan hasil perhitungan maka diperoleh besar periode natural struktur adalah 3.58 detik. *Output* hasil perhitungan pada tabel di atas dapat dilihat pada lampiran B.

Selanjutnya hasil perhitungan diverifikasi dengan hasil perhitungan sebelumnya. Dalam hal ini verifikasi dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan periode natural milik BP West Java Ltd yang tercantum dalam laporan APNA-Jacket Design Report seperti ditunjukkan dalam tabel di bawah ini.

*Tabel 4.2. Perhitungan Periode Natural BP West Java Ltd.*

Mode No.	Natural Period (Sec)
1	3.120
2	3.102
3	2.373

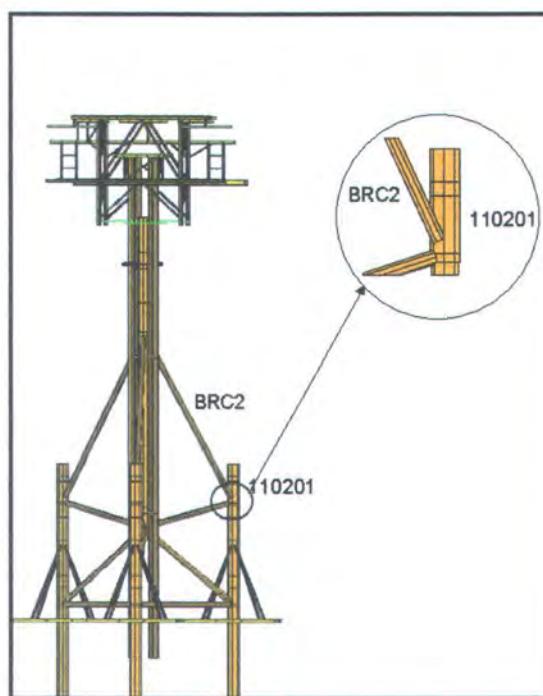
*Sumber : APN -A Platform -Jacket Design Report (doc.no. 20-APN-CAL-SJ-11001)*

Dari perbandingan kedua hasil di atas terlihat selisih harga periode natural adalah sekitar 0.46 detik. Namun periode natural yang dipakai sebagai acuan pada penelitian ini adalah hasil yang terakhir karena perhitungan dilakukan setelah struktur APN-A mengalami beberapa modifikasi baik pada konfigurasi struktur, maupun pada beban yang diterima struktur. Sehingga besar periode natural struktur APN-A adalah **3.58 detik**.

Mengacu pada ketentuan API RP2A-WSD, struktur yang memiliki periode natural lebih dari 3 detik analisa umur kelelahannya tidak dapat diselesaikan dengan dengan metode yang sederhana (*Deterministic method*). Oleh karena itu metode yang digunakan dalam analisa kelelahan struktur APN-A adalah metode stokastik (*spectral fatigue analysis*).

#### 4.1.2. Penentuan *Joint Kritis*

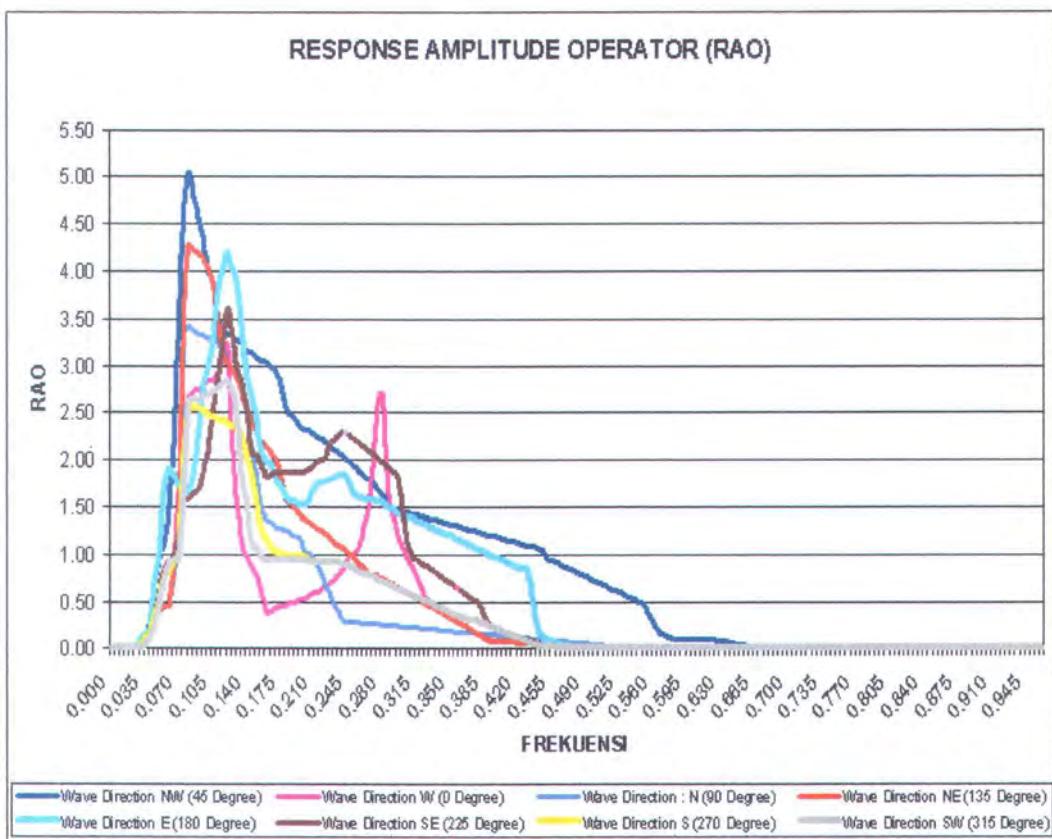
Dari hasil analisa dengan *software* GT-Strudl diketahui bahwa *joint kritis* yang merupakan *joint* dengan tegangan terbesar adalah *joint 110201* dengan member **BR<sub>C2</sub>** sebagai *brace*-nya. Gambar 4.1. menunjukkan posisi dan konfigurasi dari *joint kritis* yang akan ditinjau.



*Gambar 4.1. Posisi dan Konfigurasi Joint Kritis*

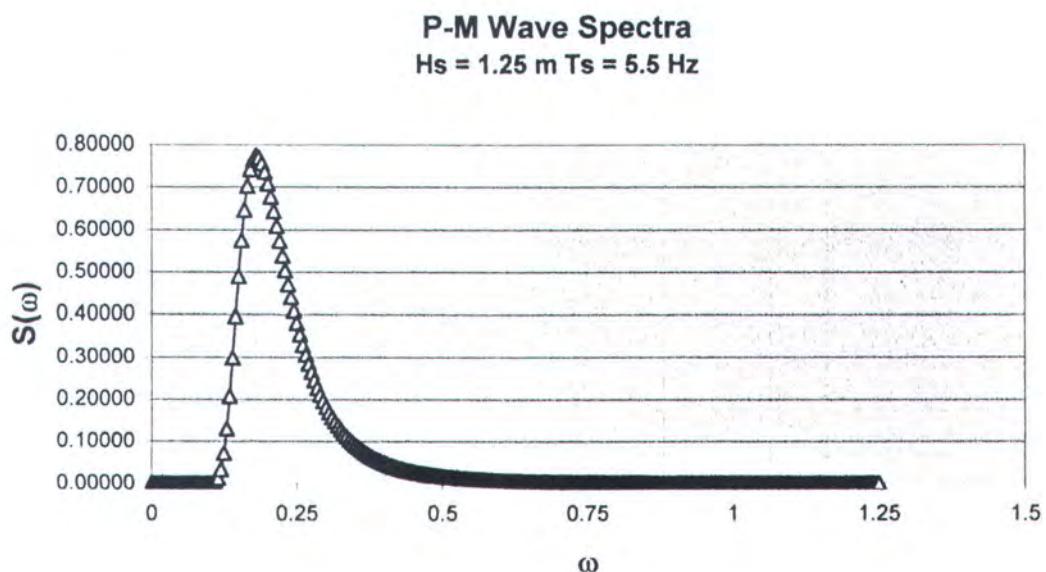
#### 4.1.3. Perhitungan Respon Tegangan Struktur

Perhitungan respon tegangan struktur dilakukan dengan melakukan analisa dinamis terhadap *joint* kritis kemudian respon struktur diplotkan dalam bentuk RAO (*Response Amplitude Operator*) tegangan. Gambar 4.2. menunjukkan RAO tegangan struktur untuk 8 arah pembebanan. Untuk *output* dari *software* dan contoh perhitungan dapat dilihat pada lampiran C dan D.



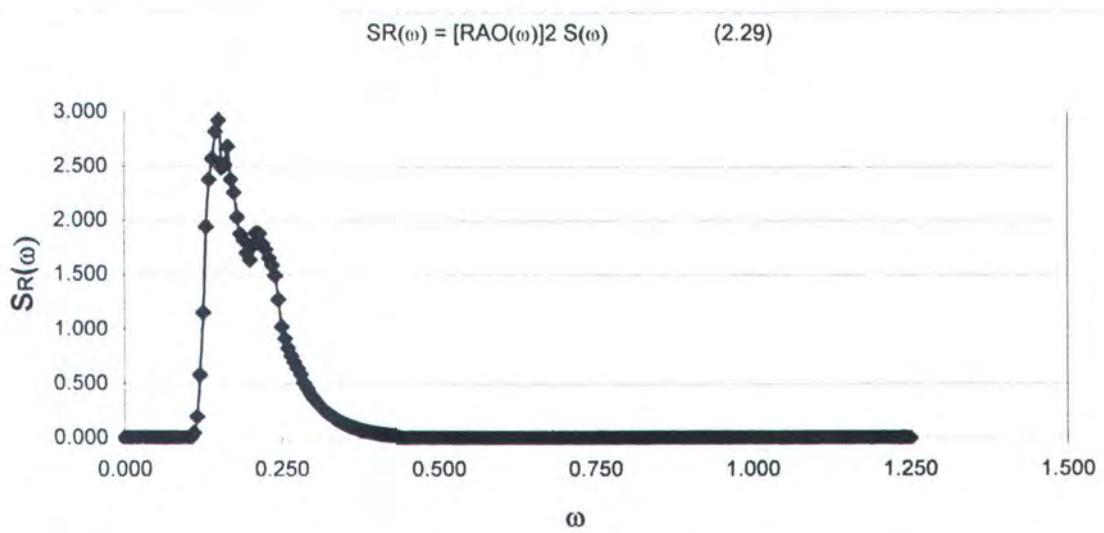
Gambar 4.2. RAO Tegangan Struktur

Analisa yang dilakukan dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan data-data *sea state* kurun waktu pendek (*short term*) dan kurun waktu panjang (*long term*). Untuk *sea state* kurun waktu pendek analisa dilakukan dengan menggunakan spektra Pierson Moskowitz. Sedangkan untuk kurun waktu panjang, dilakukan analisa terhadap *wave scatter diagram* dan frekuensi kejadian gelombang. Gambar 4.3. menunjukkan contoh spektra gelombang Pierson Moskowitz untuk suatu *sea state* pada arah  $180^\circ$ . Untuk contoh perhitungan spektra gelombang P-M yang dipergunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada lampiran E.



Gambar 4.3. Spektra Gelombang Pierson-Moskowitz

Kemudian dengan menggunakan persamaan (2.29), akan didapat respon tegangan struktur untuk tiap-tiap *sea state*. Hasil perhitungan respon tegangan untuk tiap-tiap *sea state* itu kemudian diplotkan dalam bentuk spektra respon tegangan. Gambar 4.4. menunjukkan contoh spektra respon tegangan untuk suatu *sea state* pada arah E ( $180^\circ$ ). Contoh perhitungan respon tegangan untuk suatu *sea state* dapat dilihat pada lampiran F.



Gambar 4.4. Spektra Respon Tegangan Struktur

#### 4.1.4. Perhitungan Umur Kelelahan Struktur

Seperti yang telah dijelaskan pada sub bab 2.3.5., tahapan berikutnya dalam menghitung umur kelelahan struktur adalah dengan menentukan distribusi tegangan struktur dalam kurun waktu panjang dengan analisa spektral penuh (*full spektral analysis*). Hasil perhitungan respon tegangan untuk tiap-tiap *sea state* ditinjau lebih lanjut sebagai suatu mode (pola) operasi yang masing-masing memiliki intensitas dari peluang kejadiannya selama masa operasi struktur.

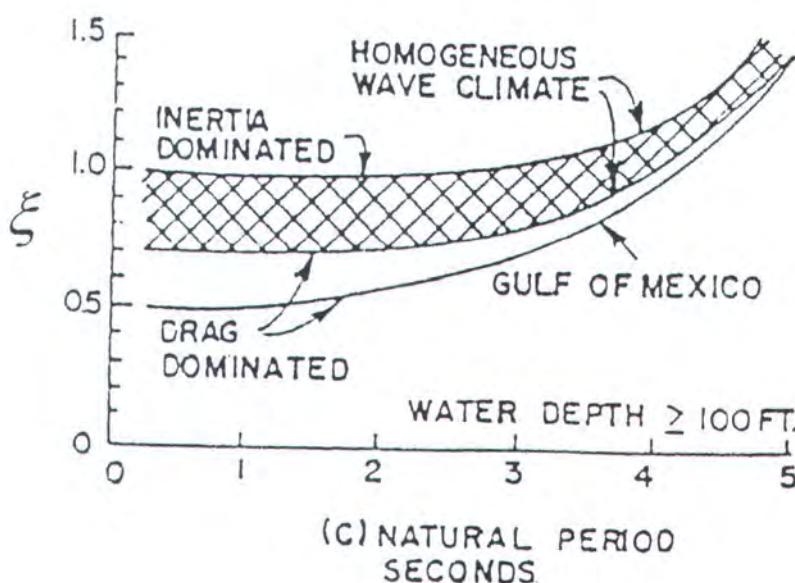
Analisa dilanjutkan dengan menyelesaikan persamaan (2.38) sampai (2.41) sesuai dengan prosedur yang diilustrasikan pada Gambar 3.4. untuk memperoleh jumlah total siklus beban pada struktur ( $n_0$ ). Harga rentang tegangan ekstrem ( $S_e$ ) untuk tiap-tiap *sea-state* dicari dengan menggunakan persamaan (2.31). Kemudian dapat ditentukan harga rentang tegangan ekstrem yang dialami struktur selama masa operasi dengan mengaplikasikan persamaan (2.31) pada seluruh *sea-state* yang terjadi. Perhitungan distribusi respon tegangan kurun waktu panjang ditunjukkan pada lampiran G.

Dari hasil analisa kurun waktu panjang dapat diketahui bahwa besar harga rentang tegangan ekstrem maksimum yang diterima struktur ( $S_e$ ) adalah **458,9 Mpa**. Sedangkan jumlah total siklus beban ( $n_0$ ) yang terjadi selama masa operasi struktur adalah sebanyak  **$6,26 \times 10^7$  cycle**.

Tahap perhitungan umur kelelahan selanjutnya adalah menggunakan persamaan (2.47) (*closed form fatigue equation*) untuk menghitung besar rasio kerusakan yang dialami struktur. Persamaan ini merupakan fungsi dengan variabel-variabel jumlah total siklus tegangan ( $n_0$ ), rentang tegangan ekstrem ( $S_e$ ), harga karakteristik S-N yang diambil ( $A$  dan  $m$ ), dan parameter bentuk dari distribusi Weibull ( $\xi$ ). Untuk harga karakteristik S-N diambil sesuai dengan kurva S-N yang di pakai (Kurva X'-X' API RP2A-WSD) sehingga besar harga  $m$  dan  $A$  masing-masing adalah **3,74** dan  **$2,5 \times 10^{13}$** . Diantara variabel-variabel ini, parameter  $\xi$  merupakan variabel yang paling sulit penentuannya, terutama jika dikaitkan dengan dengan tipe bangunan lepas pantai yang masih tergolong baru seperti struktur APN-A ini. Karena

informasi dari bangunan lepas pantai dengan tipe yang sejenis yang telah beroperasi sangat jarang dijumpai (atau sama sekali tidak ada).

Beberapa faktor penting yang mempunyai pengaruh besar bagi penentuan parameter Weibull adalah kondisi gelombang, tipe struktur, respon dinamis dari struktur, dan posisi sambungan (*joint*) yang akan dianalisa umur kelelahannya. Dalam penelitian ini, besar harga parameter Weibull ( $\xi$ ) ditentukan dengan menggunakan panduan yang diberikan oleh Marshall (1982) mengenai penentuan besar parameter weibull berdasarkan periode natural untuk struktur-struktur terpanjang di Gulf of Mexico seperti yang terlihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Grafik Perhitungan Parameter Weibull ( $\xi$ )

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.5. diperoleh harga parameter Weibull adalah sebesar 0,83. Angka ini tidak dapat dikatakan 100% benar karena penentuan dilakukan dengan mengacu pada kondisi perairan Gulf of Mexico. Oleh karena itu dilakukan verifikasi terhadap parameter Weibull.

Dengan menggunakan data distribusi tegangan selama umur operasi, rasio kerusakan  $D$  yang merupakan fungsi rentang tegangan ekstrem tertentu dapat dihitung dengan formulasi Miner (persamaan (2.18)). Setelah itu dilakukan

komputasi iteratif dengan memakai persamaan (2.47) atau persamaan kelelahan terangkai (*closed form fatigue equation*) dengan memasukkan harga awal  $\xi$ , dan seterusnya dengan kenaikan tertentu hingga akhirnya diperoleh harga yang ekuivalen dengan hasil perhitungan dari formulasi Miner. Tabel 4.5. menunjukkan perhitungan iteratif untuk mendapatkan harga  $\xi$ .

*Tabel 4.3. Perhitungan Iteratif Parameter Weibull*

$\xi$	D (Closed Form Fatigue Equation)	D (Miner's Rule)	$\Delta$
0.750	$4.34 \times 10^{-3}$	$1.44 \times 10^{-2}$	0.010
0.760	$5.31 \times 10^{-3}$	$1.44 \times 10^{-2}$	0.009
0.770	$6.46 \times 10^{-3}$	$1.44 \times 10^{-2}$	0.008
0.780	$7.82 \times 10^{-3}$	$1.44 \times 10^{-2}$	0.007
0.790	$9.41 \times 10^{-3}$	$1.44 \times 10^{-2}$	0.005
0.800	$1.13 \times 10^{-2}$	$1.44 \times 10^{-2}$	0.003
0.810	$1.34 \times 10^{-2}$	$1.44 \times 10^{-2}$	0.001
0.811	$1.37 \times 10^{-2}$	$1.44 \times 10^{-2}$	0.001
0.812	$1.39 \times 10^{-2}$	$1.44 \times 10^{-2}$	0.001
0.813	$1.44 \times 10^{-2}$	$1.44 \times 10^{-2}$	0.000

Berdasarkan perhitungan iteratif di atas diperoleh besar harga parameter Weibull adalah 0,813. Terlihat bahwa terdapat selisih antara dua parameter yang sudah ditentukan. Untuk perhitungan umur kelelahan diambil harga parameter yang lebih besar dimana faktor keamanan yang diberikan akan cenderung lebih besar karena umur kelelahan yang dihasilkan akan lebih kecil. Maka ditentukan bahwa harga parameter Weibull ( $\xi$ ) adalah sebesar **0,83**.

Dengan memasukkan seluruh variabel ke dalam persamaan (2.47), maka akan diperoleh harga rasio kerusakan sebesar:

$$D = \frac{n_0}{A} \frac{S_e^m}{(\ln n_0)^{m/\xi}} \Gamma\left(\frac{m}{\xi} + 1\right)$$

$$= 1,74 \times 10^{-2}$$

Maka umur kelelahan struktur adalah

$$= 1/D$$

$$= 57,39 \text{ tahun} \approx \mathbf{57 \text{ tahun.}}$$

Dengan demikian dari hasil analisa umur kelelahan dapat dikatakan bahwa struktur ini masih relatif aman dalam pengoperasiannya selama *service life* (umur operasi yang direncanakan). Karena umur kelelahan struktur sudah memenuhi kriteria umur kelelahan dari API RP2A-WSD, yaitu:

$$\begin{array}{ccc} \text{Service life} < & \text{Design life} & < \text{Fatigue life} \\ 12 \text{ tahun} & < 2 \times \text{Service life (24 tahun)} & < 57 \text{ tahun} \end{array}$$

Hasil perhitungan umur kelelahan di atas kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan umur kelelahan yang sebelumnya sudah dilakukan oleh BP West Java Ltd. Dalam laporan milik BP West Java Ltd. (APN -A Platform: Jacket Design Report (doc.no.20-APN-CAL-SJ-11001)) umur kelelahan minimum struktur APN-A adalah 56 tahun.

## 4.2. ANALISA KEANDALAN STRUKTUR TERHADAP KELELAHAN

### 4.2.1. Perhitungan Indeks Keandalan dan Peluang Kegagalan Struktur

Analisa keandalan struktur APN-A terhadap kelelahan pada penelitian ini dilakukan dengan menerapkan metode *advanced first order second moment* (AFOSM).

Perhitungan indeks keandalan struktur ( $\beta$ ) dilakukan dengan menyelesaikan persamaan-persamaan (2.65) sampai (2.68) sesuai dengan algoritma yang terlihat pada Gambar 3.5. Tahapan-tahapan analisa yang dilakukan adalah sebagai berikut:

#### 1. Formulasi Ambang Keselamatan

$$g(x) = \Delta - \frac{n_0}{A} \frac{S_e^m}{(\ln n_0)^{m/\xi}} \Gamma\left(\frac{m}{\xi} + 1\right)$$

$$p(f) = p\left[\Delta - \frac{n_0}{A} \frac{S_e^m}{(\ln n_0)^{m/\xi}} \Gamma\left(\frac{m}{\xi} + 1\right)\right]$$

## 2. Input Data

Tabel 4.4. Input Data Formulasi Ambang Keselamatan

Variabel	Mean ( $\mu$ )	COV ( $\Omega$ )	Tipe Distribusi
$D$	1.0	0.50	Log-Normal
$A$	1.0	0.60	Log-Normal
$n_0$	$6.26 \times 10^7$	0.05	Log-Normal
$A$	$2.5 \times 10^{13}$	0.31	Log-Normal
$m$	3.74	0.03	Normal
$S_e$	458.9	0.20	Log-Normal
$\xi$	0.83	0.05	Log-Normal

## 3. Standar Deviasi

Untuk tipe distribusi normal:

$$\sigma_x^N = \Omega_x \times \mu_x$$

Untuk tipe distribusi log normal:

$$\sigma_x^N = \xi_x \times X'$$

$$\xi_x = \sqrt{\ln(1 + \Omega_x^2)}$$

$$X' = \mu_x$$

## 4. Denomination

$$k = \sqrt{\sum_i^n \left( \frac{\partial g}{\partial X'_i} \right)^2}$$

## 5. Sensitivity Factor

$$\alpha_{X_i}' = \left( \frac{\partial g}{\partial X'_i} \right) / k$$

## 6. Design Points

$$X'_i = \mu_{X_i}^N - \alpha_{X_i}' \sigma_{X_i}^N \beta$$

## 7. Final Equation

$$\Delta' - \frac{n_0'}{A'} \frac{S_e'^m'}{(ln n_0')^{m'/\xi'}} \Gamma \left( \frac{m'}{\xi'} + 1 \right) = 0$$

Dengan menggunakan persamaan-persamaan di atas, perhitungan untuk

memperoleh *design point* terangkum seperti yang terlihat dalam Tabel 4.7. dan 4.8. berikut ini.

Tabel 4.5. Perhitungan Variabel Design Point

Variabel	Standard Devition ( $\sigma_x^N$ )	Derivation $\left( \frac{\partial g}{\partial X_i} \right)$	Denomination $k = \sqrt{\sum_i \left( \frac{\partial g}{\partial X_i} \right)^2}$	Sensitivity Factor $\alpha_{X_i} = \left( \frac{\partial g}{\partial X_i} \right) / k$
$\Delta$	0,4724	0,4724		0,986
$n_0$	$0,312 \times 10^7$	$8,067 \times 10^{-3}$		$7,36 \times 10^{-3}$
$A$	$0,797 \times 10^{13}$	$6,528 \times 10^{-2}$	1,0157	$5,95 \times 10^{-2}$
$m$	0,1122	$7,893 \times 10^{-2}$		$7,15 \times 10^{-2}$
$S_e$	90,862	0,148		0,146
$\xi$	0,0415	$3,108 \times 10^{-2}$		$2,83 \times 10^{-2}$

Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Design Point

Variabel	Design Point ( $X_i'$ )
$\Delta$	$1 - (0,984 \times 0,4724) \beta$
$n_0$	$6,26 \cdot 10^7 - (7,368 \cdot 10^{-3} \times 3,12 \cdot 10^6) \beta$
$A$	$2,5 \cdot 10^{13} - (5,954 \cdot 10^{-2} \times 7,57 \cdot 10^{12}) \beta$
$m$	$3,74 - (7,15 \cdot 10^{-2} \times 0,1122) \beta$
$S_e$	$458,9 - (0,1457 \times 90,862) \beta$
$\xi$	$0,83 - (2,835 \cdot 10^{-2} \times 0,0415) \beta$

Selanjutnya indeks keandalan struktur ( $\beta$ ) dapat dihitung dengan melakukan suatu proses iterasi pada persamaan diatas pada langkah 6 (Tabel 4.8.) dengan persamaan akhir pada langkah 7. Tabel 4.9. di bawah ini akan menunjukkan proses iterasi yang dilakukan untuk memperoleh harga indeks keandalan struktur ( $\beta$ ).

Tabel 4.7. Iterasi Perhitungan Indeks Keandalan ( $\beta$ )

Iterasi ke	$\Delta'$	$N'$	$A'$	$m'$	$S'$	$\xi'$	$\beta$	$g(x)$
1	0,535	$6,26 \times 10^7$	$2,46 \times 10^{13}$	3,73	$4,46 \times 10^2$	0,829	1	0,360
2	0,442	$6,26 \times 10^7$	$2,45 \times 10^{13}$	3,73	$4,43 \times 10^2$	0,829	1,2	0,271
3	0,349	$6,26 \times 10^7$	$2,44 \times 10^{13}$	3,73	$4,40 \times 10^2$	0,828	1,4	0,183
4	0,302	$6,26 \times 10^7$	$2,43 \times 10^{13}$	3,73	$4,39 \times 10^2$	0,828	1,5	0,139
5	0,256	$6,26 \times 10^7$	$2,43 \times 10^{13}$	3,73	$4,38 \times 10^2$	0,828	1,6	0,094
6	0,209	$6,26 \times 10^7$	$2,42 \times 10^{13}$	3,73	$4,36 \times 10^2$	0,828	1,7	0,050
7	0,163	$6,26 \times 10^7$	$2,42 \times 10^{13}$	3,73	$4,35 \times 10^2$	0,828	1,8	0,006
8	0,158	$6,26 \times 10^7$	$2,42 \times 10^{13}$	3,73	$4,35 \times 10^2$	0,828	1,81	0,001
9	0,158	$6,26 \times 10^7$	$2,42 \times 10^{13}$	3,73	$4,35 \times 10^2$	0,828	1,811	0,001
10	0,157	$6,26 \times 10^7$	$2,42 \times 10^{13}$	3,73	$4,35 \times 10^2$	0,828	1,812	0,000

Pada Tabel 4.9. terlihat bahwa iterasi selesai pada langkah ke 10 dimana harga  $g(x)= 0$ . Maka harga-harga *design points* adalah harga-harga yang diperoleh pada iterasi ke 10. Dengan demikian besarnya indeks keandalan struktur untuk umur kelelahan 57 tahun adalah **1,812**.

Dari hasil perhitungan di atas, harga indeks keandalan ( $\beta$ ) yang diperoleh selanjutnya dapat digunakan untuk menghitung peluang kegagalan struktur dengan menggunakan persamaan

$$P_g = \Phi(-\beta) \quad (2.61)$$

Sehingga besar peluang kegagalan struktur untuk umur kelelahan 57 tahun adalah  $3,5 \times 10^{-2}$ .

#### 4.2.2. Target Level Keandalan

Target level keandalan merupakan batasan minimum keandalan suatu struktur yang harus dicapai untuk suatu kondisi tertentu. Namun untuk struktur *jacket* APNA yang beroperasi di perairan Indonesia belum memiliki besar target level keandalan yang spesifik. Karena sampai saat ini belum ada ketentuan mengenai target level untuk struktur bangunan lepas pantai di Indonesia.

Berdasarkan ketentuan dari DNV (2004) yang mengacu pada API, target level keandalan untuk analisa umur kelelahan adalah sebesar 1,6. Apabila mengacu pada ketentuan tersebut, maka struktur *jacket* APN-A dapat dikatakan andal dimana indeks keandalannya untuk analisa umur kelelahan adalah sebesar 1,812. Namun untuk memperoleh harga keandalan yang lebih tinggi, penulis menentukan target level keandalan yang harus dicapai adalah sebesar 2,0 dengan peluang kegagalan sebesar  $2,3 \times 10^{-2}$ . Sehingga perlu dilakukan tinjauan lebih lanjut untuk mengetahui karakteristik penurunan (degradasi) indeks keandalan ( $\beta$ ) dan perubahan prluang kegagalan struktur terhadap waktu (tahun).

Dari analisa sebelumnya diperoleh hasil bahwa indeks keandalan struktur *Jacket* APN-A untuk umur kelelahan selama 57 tahun adalah 1,812. Harga tersebut kemudian ditetapkan sebagai kondisi awal (*initial condition*) yang digunakan untuk

mencari harga-harga indeks keandalan struktur pada kondisi lainnya seperti harga indeks keandalan untuk umur kelelahan selama umur perencanannya (24 tahun).

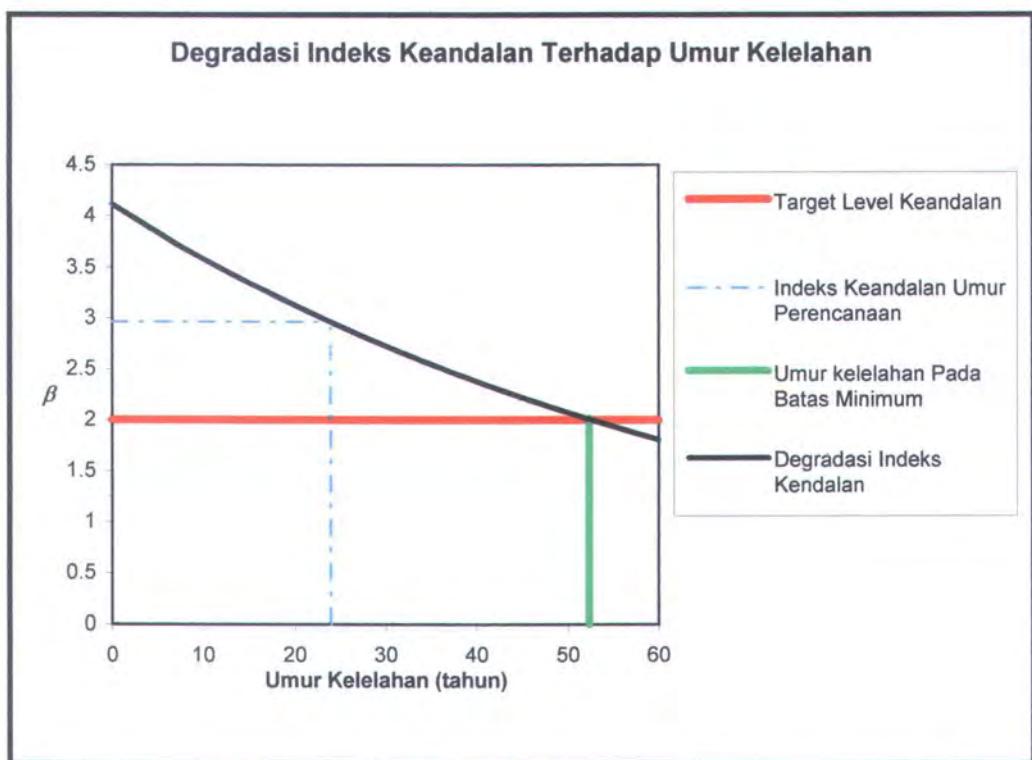
Untuk umur perencanaan 24 tahun perhitungan diawali dengan menentukan suatu angka pengali untuk kemudian diaplikasikan sebagai *resistance* dari struktur ( $\Delta$ ) pada formulasi ambang keselamatan ( $g(x)$ ). Karena

$$\frac{24}{57} = 0,421 \text{ atau } 42,1\%$$

maka perhitungan indeks keandalan ( $\beta$ ) dilakukan dengan menambahkan variabel kekuatan atau *resistance* struktur ( $\Delta$ ) sebesar 42,1 %. Sedangkan untuk variabel-variabel *load* ( $n_0$ ,  $m$ ,  $A$ ,  $S_e$ , dan  $\xi$ ), harga yang digunakan adalah tetap seperti pada awal perhitungan. Setelah itu perhitungan dilakukan sesuai dengan algoritma pada Gambar 3.5. seperti pada perhitungan indeks keandalan sebelumnya sehingga diperoleh harga indeks keandalan untuk umur **24 tahun** adalah sebesar **2,98** dan peluang kegagalannya adalah sebesar  **$1,5 \times 10^{-3}$** .

Selanjutnya dengan cara yang sama dilakukan perhitungan untuk memperoleh karakteristik penurunan (degradasi) indeks keandalan dan kenaikan peluang kegagalan struktur *Jacket APN-A*. Hasil perhitungan kemudian diplotkan dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada Gambar 4.6. dan 4.7.

Berdasarkan grafik hasil perhitungan, dapat diperoleh informasi bahwa Selama umur perencanaannya, struktur *jacket APN-A* dapat dikatakan aman dimana indeks keandalannya masih cukup jauh di atas target level keandalan yang ditentukan. Dari grafik diketahui juga bahwa struktur akan memasuki tahap kritisnya pada saat tahun ke **52**, dimana indeks keandalannya mulai berada pada batas minimum target level keandalan.



Gambar 4.6. Degradasi Indeks Keandalan Terhadap Umur Kelelahan



Gambar 4.7. Perubahan Peluang Kegagalan Terhadap Umur Kelelahan



## BAB V

# PENUTUP

I've learned...  
That after a very long struggling journey,  
home is where the heart is.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1. KESIMPULAN

Setelah melakukan berbagai studi dan analisa terhadap struktur *Jacket APN-A*, dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

1. Berdasarkan analisa umur kelelahan yang dilakukan dengan metode stokastik (*spectral fatigue analysis*), umur kelelahan struktur *jacket APN-A* adalah 57 tahun. Berdasarkan analisa keandalan yang dilakukan dengan metode AFOSM, diketahui umur kelelahan struktur adalah 52 tahun dimana pada tahun tersebut indeks keandalan struktur berada pada batas minimum target level keandalan yang telah ditentukan, yaitu 2,0 untuk indeks keandalan dan ekivalen dengan peluang kegagalan sebesar  $2,3 \times 10^{-2}$ . Oleh karena itu struktur ini relatif aman karena umur perencanaannya adalah 24 tahun.
2. Berdasarkan karakteristik degradasi indeks keandalannya, struktur *jacket APN-A* relatif aman untuk beroperasi selama umur perencanaannya (*design life*) yaitu 24 tahun. Karena indeks keandalan struktur pada umur perencanaannya memenuhi target level keandalan yaitu sebesar 2,98 dengan peluang kegagalan sebesar  $1,5 \times 10^{-3}$ .

#### 5.2. SARAN

Beberapa saran yang kiranya dapat diambil sebagai dasar pengembangan dari penelitian ini antara lain:

1. Pada penelitian ini hanya ditinjau umur kelelahan dari satu *joint* kritis sehingga perlu dilakukan tinjauan lebih lanjut terhadap beberapa *joint* lain yang rentan terhadap kelelahan.
2. Analisa keandalan struktur dikembangkan dengan mempertimbangkan kegagalan kekuatan *ultimate* struktur. Sehingga perlu dilakukan kombinasi analisa keandalan *fatigue limit* dan *ultimate limit*.



## **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR PUSTAKA

- American Bureau Of Shipping, 2004, "Commentary On The Guide For The Fatigue Assesment Of Offshore Structure (April 2003)", Houston, USA.
- API RP 2A-WSD 21<sup>st</sup> Edition, 2000, "Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design", USA.
- Arifin, 2000, "Analisa Perilaku Hidrodinamis TLP Dengan Metode Finite Diffrence", Master Thesis, Teknik Perancangan Lepas Pantai. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.Surabaya
- Assakkaf, G., and Ayyub, F., 2000, "Load and Resistance Factor Design Approach for Fatigue of Marine Structures", 8th ASCE Specialty Conference on Probabilistic Mechanics and Structural Reliability, USA.
- Barltrop, N.D.P., 1991, "Dynamics Of Fixed Marine Structures", 3<sup>rd</sup> Edition. Butterworth Heinemann.London, UK.
- Battacharyya, R. 1978. "Dynamic of Marine Vehicles". John Wiley and Sons Inc., New York.
- Boonstra H., Gelder P., & 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.
- Ditjen-Migas, 2004, "Workshop Pemeriksaan Teknis Anjungan Lepas Pantai Pasca Umur Perencanaan", Bandung.
- Djatmiko, E.B., 2003, "Fatigue Analysis", Kursus Singkat Offshore Structure Design And Modelling, Surabaya.
- Faber, M.H., "Probabilistic Fatigue and Crack Growth Assessments", Lecture Notes on Risk and Safety in Civil Engineering, ETHZ, Switzerland.
- Health & Safety Executive, 1999, "Target Level For Reliability-Based Assesment Of Offshore Structures During Design And Operation", Sandsli, Norway.
- Karadeniz, H., 2003, "A Fast Calculation Procedure For Fatigue Reliability Estimates Of Offshore Structures", Proceedings of OMAE'03, , Mexico.
- Moan, T., 2004, "Reliability-based Management of Inspection, Maintenance and Repair of Offshore Structures", Centre for Ships and Ocean Structures, Norwegian University of Science and Technology, Norway
- Nowak, A. and Collins, KR., 2000, "Reliability Of Structures", USA.

Rosyid, D.M dan Muhktasor, “*Diktat Kuliah Analisa Keandalan*”, Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya.

SSC-351 Ship Structure Committee, 1990, “*An Introduction To Structural Reliability Theory*”, Washington, USA

Soedjono, J.J, “*Diktat Kuliah Perencanaan Sistem Bangunan Laut 1*”, Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya.



## LAMPIRAN



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN**

Kampus ITS, Sukolilo Surabaya 60111 Telp./Fax. 031 - 5928105, 5994251 - 5 Pes. 1104 - 1105

**SK. TUGAS AKHIR (KL.1702 )**  
**NO. 304/ KO3.4.4/PP/2004**

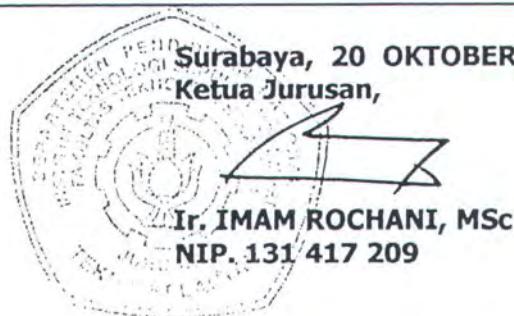
MATA KULIAH : TUGAS AKHIR  
NOMOR MATA KULIAH : KL.1702  
NAMA MAHASISWA : FAJAR SATRIO JATI  
NOMOR POKOK : 4300 100 013  
TGL. DIBERIKAN TUGAS : 20 OKTOBER 2004  
TGL. SELESAINYA TUGAS : 20 OKTOBER 2005  
DOSEN PEMBIMBING :  
: 1. Ir. MURDJITO, MSc, Eng  
: 2. Dr. Ir. EKO BUDI DJATMIKO, MSc

THEMA / URAIAN / DATA-DATA YANG DIBERIKAN / JUDUL TUGAS AKHIR :

**ANALISA KELELAHAN STRUKTUR JACKET MONOTOWER APN-A DENGAN MENGGUNAKAN KURVA S-N BERDASARKAN PENDEKATAN KEANDALAN**

DIBUAT RANGKAP 4 (EMPAT) ::

1. Mahasiswa Ybs.
2. Dekan FTK-ITS
3. Dosen Pembimbing
4. Arsip Jurusan



NAMA : FAJAR SATRIO SATI

NRP: 4300.100.013...

## JUDUL TUGAS AKHIR:

# ANALISA KELELAHAN STRUKTUR JACKET MONOTOWER APN-A DENGAN MENGGUNAKAN KURVA S-N BERDASARKAN PENDEKATAN KEANDALAN

## LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

## **LAMPIRAN A**

### **INPUT DATA PERMODELAN DENGAN SOFTWARE GT-STRU DL**

# INPUT DATA PERMODELAN DENGAN SOFTWARE GT-STRUDEL

```

SELOS 'APW-A' 'FATIGUE'
$ OUTPUT UNITS METRIC
$ SAVE LOADINGS
$ PRINT LOADING TOTALS ONLY LOAD REFERENCE
JOINT 'MUD'
$ IDENTIFY UNRECOGNIZED COMMANDS
$ MEMBER DRAG FORCE PRESSURE RESOLUTION
STRUDEL 'FATIGUE ANALYSIS'
$-
$-
UNITS MM KN DEG FAH
$-
$-
JOINT COORDINATES GLOBAL
    1   0.000000E+00
6.5030005E+02 0.000000E+00
    17401  0.000000E+00
6.4010004E+02 0.000000E+00
    16001  0.000000E+00 -
6.4930005E+02 0.000000E+00
    80001  0.000000E+00 -
2.9870042E+03 0.000000E+00
    10301 -1.0394020E+03 -
3.5049043E+03 -6.010065E+02
    30201  1.0394020E+03 -
3.9049043E+03 -6.010065E+02
    30101  0.000000E+00 -
3.9049043E+03 1.2002020E+03 -
110201  1.0394020E+03 -
2.6822031E+03 -6.010065E+02
    110301 -1.0394020E+03 -
2.6822031E+03 -6.010065E+02
    110101  0.000000E+00 -
2.6822031E+03 1.2002020E+03
    70001  0.000000E+00 -
3.1344041E+03 0.000000E+00
    10201  1.0394020E+03 -
4.0951042E+03 -6.010065E+02
    10301 -1.0394020E+03 -
4.0951042E+03 -6.010065E+02
    10101  0.000000E+00 -
4.0951042E+03 1.2002020E+03
    90001  0.000000E+00 -
2.8213030E+03 0.000000E+00
    91501 -1.5130020E+02 -
2.8213030E+03 1.6600002E+01
    94501  1.5130020E+02 -
2.8213030E+03 1.8600002E+01
    93501  9.0200005E+01 -
2.8213030E+03 -1.9340021E+02
    92501 -9.0200005E+01 -
2.8213030E+03 -1.9340021E+02
    15001  0.000000E+00 -
9.5410004E+02 0.000000E+00
    154501  1.5130001E+02 -
9.5410004E+02 1.8600002E+01
    151501 -1.5130001E+02 -
9.5410004E+02 1.8600002E+01
    153501  9.0200005E+01 -
9.5410004E+02 -1.9340002E+02
    152501 -9.0200005E+01 -
9.5410004E+02 -1.9340002E+02
    14501  1.5130001E+02 -
4.0951021E+03 1.8600002E+01
    11501 -1.5130001E+02 -
4.0951021E+03 1.8600002E+01
    13501  9.0200005E+01 -
4.0951021E+03 -1.9340012E+02
    12501 -9.0200005E+01 -
4.0951021E+03 -1.9340012E+02
    171501 -1.5130002E+02 -
6.4010004E+02 1.8600002E+01
    174501  1.5130002E+02 -
6.4010004E+02 1.8600002E+01
    173501  9.0200005E+01 -
6.4010004E+02 -1.9340002E+02
    172501 -9.0200005E+01 -
6.4010004E+02 -1.9340002E+02
    14301  0.000000E+00 -
1.5240001E+02 0.000000E+00
    104  0.000000E+00 -
3.0480002E+02 0.000000E+00
    17406  5.0290002E+02
    17407 -5.0290002E+02
    17408  5.0290002E+02
    17409 -5.0290002E+02
    6.4010004E+02 5.0290002E+02
    174010  1.9320001E+02
    6.4010004E+02 -1.9320001E+02
    174011 -1.9320001E+02
    6.4010004E+02 -1.9320001E+02
    174012 -1.5110002E+02
    6.4010004E+02 1.5110002E+02
    174013 -1.5110004E+02
    6.4010004E+02 -1.5110004E+02
    174014  1.5110002E+02
    6.4010004E+02 1.5110002E+02
    174015  1.5110001E+02
    6.4010004E+02 -1.5110001E+02
    129  5.0290002E+02
    6.9020001E+02 -5.0290002E+02
    130 -5.0290002E+02
    6.9020001E+02 -5.0290002E+02
    131  5.0290002E+02
    6.9020001E+02 5.0290002E+02
    132 -5.0290002E+02
    6.9020001E+02 5.0290002E+02
    174016  1.2819846E+02
    6.4010004E+02 -1.2819846E+02
    174017 -1.2819846E+02
    6.4010004E+02 -1.2819846E+02
    174018 -1.2819847E+02
    6.4010004E+02 1.2819847E+02
    174019  1.2819847E+02
    6.4010004E+02 1.2819847E+02
    174020  4.1104120E+02
    6.4010004E+02 -4.1104120E+02
    174021 -4.1104120E+02
    6.4010004E+02 -4.1104120E+02
    174022 -4.1104120E+02
    6.4010004E+02 4.1104120E+02
    174023  4.1104120E+02
    6.4010004E+02 4.1104120E+02
    18401  5.0290042E+02
    18402 -5.0290042E+02
    18403  5.0290042E+02
    18404  -5.0290042E+02
    18405 -8.0770087E+02
    18406  8.0770087E+02
    18407  8.0770087E+02
    18408  9.3290112E+02
    18409  5.0290042E+02
    18410  9.3290112E+02
    18411  5.0290042E+02
    18412 -5.0290042E+02
    18413  8.0770087E+02
    18414  8.0770087E+02
    18415 -8.0770087E+02
    18416  -8.0770087E+02
    18417  9.3290112E+02
    18418  5.0290042E+02
    18419 -8.0770087E+02
    18420  8.0770087E+02
    18421  8.0770087E+02
    18422 -5.0290042E+02
    18423  8.0770087E+02
    18424  8.0770087E+02
    18425 -5.0290042E+02
    18426  8.0770087E+02
    18427  8.0770087E+02
    18428  9.3290112E+02
    18429  5.0290042E+02
    18430  9.3290112E+02
    18431  5.0290042E+02
    18432 -5.0290042E+02
    18433  8.0770087E+02
    18434  8.0770087E+02
    18435 -5.0290042E+02
    18436  8.0770087E+02
    18437  8.0770087E+02
    18438  9.3290112E+02
    18439  5.0290042E+02
    18440  9.3290112E+02
    18441  5.0290042E+02
    18442 -5.0290042E+02
    18443  8.0770087E+02
    18444  8.0770087E+02
    18445 -5.0290042E+02
    18446  8.0770087E+02
    18447  8.0770087E+02
    18448  9.3290112E+02
    18449  5.0290042E+02
    18450  9.3290112E+02
    18451  5.0290042E+02
    18452 -5.0290042E+02
    18453  8.0770087E+02
    18454  8.0770087E+02
    18455 -5.0290042E+02
    18456  8.0770087E+02
    18457  2.1330022E+02
    18458  8.0770087E+02
    18459  8.0770087E+02
    18460  5.0290042E+02
    18461  8.0770087E+02
    18462  5.0290042E+02
    18463  5.0290042E+02
    18464  5.0290042E+02
    18465  5.0290042E+02
    18466  -8.0770087E+02
    18467 -8.0770087E+02
    18468 -2.1330011E+02
    18469 -2.1330011E+02
    18470  8.0770087E+02
    18471  8.0770087E+02
    18472  2.1330031E+02
    18473  8.0770087E+02
    18474  8.0770087E+02
    18475  2.1330031E+02
    18476  8.0770087E+02
    18477  8.0770087E+02
    18478  2.1330031E+02
    18479  5.0290042E+02
    18480  2.1330031E+02
    18481  8.0770087E+02
    18482  8.0770087E+02
    18483  2.1330031E+02
    18484  8.0770087E+02
    18485  1.2575021E+02
    18486  5.0290042E+02
    18487  2.1330031E+02
    18488  8.0770087E+02
    18489  0.000000E+00
    18490  7.1790070E+02
    18491  1.0000001E-04
    18492  5.0290042E+02
    18493  -5.0290042E+02
    18494  6.1040057E+02
    18495  -5.0290042E+02
    18496  8.0770087E+02
    18497  8.0770087E+02
    18498  2.1330022E+02
    18499  -2.1330022E+02
    18500  8.0000000E+00
    18501  9.0200005E+01
    18502  1.5130002E+02
    18503  1.5130001E+02
    18504  8.0770087E+02
    18505  8.0770087E+02
    18506  2.1330022E+02
    18507  8.0770087E+02
    18508  2.1330022E+02
    18509  8.0770087E+02
    18510  2.1330022E+02
    18511  8.0770087E+02
    18512  2.1330022E+02
    18513  8.0770087E+02
    18514  2.1330022E+02
    18515  8.0770087E+02
    18516  2.1330022E+02
    18517  8.0770087E+02
    18518  2.1330022E+02
    18519  8.0770087E+02
    18520  2.1330022E+02
    18521  8.0770087E+02
    18522  2.1330022E+02
    18523  8.0770087E+02
    18524  2.1330022E+02
    18525  8.0770087E+02
    18526  2.1330022E+02
    18527  8.0770087E+02
    18528  2.1330022E+02
    18529  8.0770087E+02
    18530  2.1330022E+02
    18531  8.0770087E+02
    18532  2.1330022E+02
    18533  8.0770087E+02
    18534  2.1330022E+02
    18535  8.0770087E+02
    18536  2.1330022E+02
    18537  8.0770087E+02
    18538  2.1330022E+02
    18539  8.0770087E+02
    18540  2.1330022E+02
    18541  8.0770087E+02
    18542  2.1330022E+02
    18543  8.0770087E+02
    18544  2.1330022E+02
    18545  8.0770087E+02
    18546  2.1330022E+02
    18547  8.0770087E+02
    18548  2.1330022E+02
    18549  8.0770087E+02
    18550  2.1330022E+02
    18551  8.0770087E+02
    18552  2.1330022E+02
    18553  8.0770087E+02
    18554  2.1330022E+02
    18555  8.0770087E+02
    18556  2.1330022E+02
    18557  8.0770087E+02
    18558  2.1330022E+02
    18559  8.0770087E+02
    18560  2.1330022E+02
    18561  8.0770087E+02
    18562  2.1330022E+02
    18563  8.0770087E+02
    18564  2.1330022E+02
    18565  8.0770087E+02
    18566  2.1330022E+02
    18567  8.0770087E+02
    18568  2.1330022E+02
    18569  8.0770087E+02
    18570  2.1330022E+02
    18571  8.0770087E+02
    18572  2.1330022E+02
    18573  8.0770087E+02
    18574  2.1330022E+02
    18575  8.0770087E+02
    18576  2.1330022E+02
    18577  8.0770087E+02
    18578  2.1330022E+02
    18579  8.0770087E+02
    18580  2.1330022E+02
    18581  8.0770087E+02
    18582  2.1330022E+02
    18583  8.0770087E+02
    18584  2.1330022E+02
    18585  8.0770087E+02
    18586  2.1330022E+02
    18587  8.0770087E+02
    18588  2.1330022E+02
    18589  8.0770087E+02
    18590  2.1330022E+02
    18591  8.0770087E+02
    18592  2.1330022E+02
    18593  8.0770087E+02
    18594  2.1330022E+02
    18595  8.0770087E+02
    18596  2.1330022E+02
    18597  8.0770087E+02
    18598  2.1330022E+02
    18599  8.0770087E+02
    18600  2.1330022E+02
    18601  8.0770087E+02
    18602  2.1330022E+02
    18603  8.0770087E+02
    18604  2.1330022E+02
    18605  8.0770087E+02
    18606  2.1330022E+02
    18607  8.0770087E+02
    18608  2.1330022E+02
    18609  8.0770087E+02
    18610  2.1330022E+02
    18611  8.0770087E+02
    18612  2.1330022E+02
    18613  8.0770087E+02
    18614  2.1330022E+02
    18615  8.0770087E+02
    18616  2.1330022E+02
    18617  8.0770087E+02
    18618  2.1330022E+02
    18619  8.0770087E+02
    18620  2.1330022E+02
    18621  8.0770087E+02
    18622  2.1330022E+02
    18623  8.0770087E+02
    18624  2.1330022E+02
    18625  8.0770087E+02
    18626  2.1330022E+02
    18627  8.0770087E+02
    18628  2.1330022E+02
    18629  8.0770087E+02
    18630  2.1330022E+02
    18631  8.0770087E+02
    18632  2.1330022E+02
    18633  8.0770087E+02
    18634  2.1330022E+02
    18635  8.0770087E+02
    18636  2.1330022E+02
    18637  8.0770087E+02
    18638  2.1330022E+02
    18639  8.0770087E+02
    18640  2.1330022E+02
    18641  8.0770087E+02
    18642  2.1330022E+02
    18643  8.0770087E+02
    18644  2.1330022E+02
    18645  8.0770087E+02
    18646  2.1330022E+02
    18647  8.0770087E+02
    18648  2.1330022E+02
    18649  -2.1330011E+02
    18650  1.2819846E+02
    18651  0.000000E+00
    18652  5.0290002E+02
    18653  -5.0290002E+02
    18654  8.0770087E+02
    18655  8.0770087E+02
    18656  2.1330022E+02
    18657  8.0770087E+02
    18658  2.1330022E+02
    18659  8.0770087E+02
    18660  2.1330022E+02
    18661  8.0770087E+02
    18662  2.1330022E+02
    18663  8.0770087E+02
    18664  2.1330022E+02
    18665  8.0770087E+02
    18666  2.1330022E+02
    18667  8.0770087E+02
    18668  2.1330022E+02
    18669  8.0770087E+02
    18670  2.1330022E+02
    18671  8.0770087E+02
    18672  2.1330022E+02
    18673  8.0770087E+02
    18674  2.1330022E+02
    18675  8.0770087E+02
    18676  2.1330022E+02
    18677  8.0770087E+02
    18678  2.1330022E+02
    18679  8.0770087E+02
    18680  2.1330022E+02
    18681  8.0770087E+02
    18682  2.1330022E+02
    18683  8.0770087E+02
    18684  2.1330022E+02
    18685  8.0770087E+02
    18686  2.1330022E+02
    18687  8.0770087E+02
    18688  2.1330022E+02
    18689  8.0770087E+02
    18690  2.1330022E+02
    18691  8.0770087E+02
    18692  2.1330022E+02
    18693  8.0770087E+02
    18694  2.1330022E+02
    18695  8.0770087E+02
    18696  2.1330022E+02
    18697  8.0770087E+02
    18698  2.1330022E+02
    18699  8.0770087E+02
    18700  2.1330022E+02
    18701  8.0770087E+02
    18702  2.1330022E+02
    18703  8.0770087E+02
    18704  2.1330022E+02
    18705  8.0770087E+02
    18706  2.1330022E+02
    18707  8.0770087E+02
    18708  2.1330022E+02
    18709  8.0770087E+02
    18710  2.1330022E+02
    18711  8.0770087E+02
    18712  2.1330022E+02
    18713  8.0770087E+02
    18714  2.1330022E+02
    18715  8.0770087E+02
    18716  2.1330022E+02
    18717  8.0770087E+02
    18718  2.1330022E+02
    18719  8.0770087E+02
    18720  2.1330022E+02
    18721  8.0770087E+02
    18722  2.1330022E+02
    18723  8.0770087E+02
    18724  2.1330022E+02
    18725  8.0770087E+02
    18726  2.1330022E+02
    18727  8.0770087E+02
    18728  2.1330022E+02
    18729  8.0770087E+02
    18730  2.1330022E+02
    18731  8.0770087E+02
    18732  2.1330022E+02
    18733  8.0770087E+02
    18734  2.1330022E+02
    18735  8.0770087E+02
    18736  2.1330022E+02
    18737  8.0770087E+02
    18738  2.1330022E+02
    18739  8.0770087E+02
    18740  2.1330022E+02
    18741  8.0770087E+02
    18742  2.1330022E+02
    18743  8.0770087E+02
    18744  2.1330022E+02
    18745  8.0770087E+02
    18746  2.1330022E+02
    18747  8.0770087E+02
    18748  2.1330022E+02
    18749  8.0770087E+02
    18750  2.1330022E+02
    18751  8.0770087E+02
    18752  2.1330022E+02
    18753  8.0770087E+02
    18754  2.1330022E+02
    18755  8.0770087E+02
    18756  2.1330022E+02
    18757  8.0770087E+02
    18758  2.1330022E+02
    18759  8.0770087E+02
    18760  2.1330022E+02
    18761  8.0770087E+02
    18762  2.1330022E+02
    18763  8.0770087E+02
    18764  2.1330022E+02
    18765  8.0770087E+02
    18766  2.1330022E+02
    18767  8.0770087E+02
    18768  2.1330022E+02
    18769  8.0770087E+02
    18770  2.1330022E+02
    18771  8.0770087E+02
    18772  2.1330022E+02
    18773  8.0770087E+02
    18774  2.1330022E+02
    18775  8.0770087E
```

1840134	8.6450110E+02	214020	7.0610004E+02	214080	5.0290002E+02
1.1430021E+03	7.1790088E+02	1.8898002E+03	-8.0770007E+02	1.8898002E+03	3.5524303E-05
1840135	9.8770117E+02	214021	-7.0610004E+02	214081	-5.0290002E+02
1.1430021E+03	0.000000E+00	1.8898002E+03	8.0770007E+02	1.8898002E+03	3.5524303E-05
1840136	9.8770117E+02	214022	-6.0450006E+02	214082	-2.5140007E+02
1.1430021E+03	2.5140021E+02	1.8898002E+03	8.07700078E+02	1.8898002E+03	3.5524303E-05
1840137	1.1977020E+03	214023	-5.0290005E+02	214083	2.5139996E+02
1.1430021E+03	-8.07700097E+02	1.8898002E+03	8.0770007E+02	1.8898002E+03	3.5524303E-05
1840138	1.1977020E+03	214024	-3.7715005E+02	214084	5.0290002E+02
1.1430021E+03	-2.5150023E+02	1.8898002E+03	8.0770007E+02	1.8898002E+03	1.2190005E+02
1840139	1.1977020E+03	214025	-2.5140004E+02	214085	-5.0290002E+02
1.1430021E+03	-5.0290042E+02	1.8898002E+03	8.0770007E+02	1.8898002E+03	1.2190005E+02
1840140	9.8770117E+02	214026	-1.2570005E+02	214086	-2.5140007E+02
1.1430021E+03	2.5140021E+02	1.8898002E+03	8.0770007E+02	1.8898002E+03	1.2190005E+02
1840141	9.8770117E+02	214027	-4.8142676E-05	214087	2.5139996E+02
1.1430021E+03	0.000000E+00	1.8898002E+03	8.0770007E+02	1.8898002E+03	1.2190005E+02
1840142	-9.7530109E+02	214028	1.2569995E+02	214088	5.0290002E+02
1.1430021E+03	7.1790070E+02	1.8898002E+03	8.0770007E+02	1.8898002E+03	2.4380003E+02
1840143	-9.7530109E+02	214029	2.5139999E+02	214089	-5.0290002E+02
1.1430021E+03	9.3290112E+02	1.8898002E+03	8.0770007E+02	1.8898002E+03	2.4380003E+02
1840146	-8.07700087E+02	214030	3.7715002E+02	214090	-7.0610004E+02
1.1430021E+03	-7.06100083E+02	1.8898002E+03	8.0770007E+02	1.8898002E+03	2.4380006E+02
1840147	-5.0290042E+02	214031	5.0290002E+02	214091	-6.0450006E+02
1.1430021E+03	-7.06100083E+02	1.8898002E+03	8.0770007E+02	1.8898002E+03	2.4380006E+02
1840148	-2.13300111E+02	214032	6.0450006E+02	214092	-3.7715009E+02
1.1430021E+03	-7.06100083E+02	1.8898002E+03	8.0770007E+02	1.8898002E+03	2.4380003E+02
1840149	1.0000001E-04	214033	7.0610004E+02	214093	-2.5140005E+02
1.1430021E+03	-7.06100083E+02	1.8898002E+03	8.0770007E+02	1.8898002E+03	2.4380003E+02
1840150	2.1330031E+02	214034	-8.0770007E+02	214094	-1.2570007E+02
1.1430021E+03	-7.06100083E+02	1.8898002E+03	5.0290005E+02	1.8898002E+03	2.4380003E+02
1840151	5.0290060E+02	214035	-8.0770007E+02	214095	-6.7515568E-05
1.1430021E+03	-7.06100083E+02	1.8898002E+03	2.4380003E+02	1.8898002E+03	2.4380003E+02
1840152	8.07700087E+02	214036	-8.0770007E+02	214096	1.2569994E+02
1.1430021E+03	-7.06100083E+02	1.8898002E+03	1.2190005E+02	1.8898002E+03	2.4380003E+02
19401	-3.2000040E+02	214037	-8.0770007E+02	214097	2.5139996E+02
1.1430021E+03	-3.5810040E+02	1.8898002E+03	4.8142676E-05	1.8898002E+03	2.4380003E+02
19402	3.2000040E+02	214038	-8.0770007E+02	214098	3.7714996E+02
1.1430021E+03	-3.5810040E+02	1.8898002E+03	-1.2189995E+02	1.8898002E+03	2.4380003E+02
19403	-3.2000040E+02	214039	-8.0770007E+02	214099	-7.0610004E+02
1.1430021E+03	2.5140021E+02	1.8898002E+03	-2.4380006E+02	1.8898002E+03	5.0290012E+02
19404	3.2000040E+02	214040	-8.0770007E+02	214100	-6.0450006E+02
1.1430021E+03	2.5140021E+02	1.8898002E+03	-5.0290002E+02	1.8898002E+03	5.0290002E+02
19405	-2.1330022E+02	214041	-8.0770007E+02	214101	6.0450006E+02
1.1430021E+03	-3.5810040E+02	1.8898002E+03	5.02900002E+02	1.8898002E+03	5.0290002E+02
19406	2.1330022E+02	214042	-8.0770007E+02	214102	7.0610004E+02
1.1430021E+03	-3.5810040E+02	1.8898002E+03	1.2190005E+02	1.8898002E+03	5.0290012E+02
19407	-2.1330022E+02	214043	8.0770007E+02	214103	-8.0770007E+02
1.1430021E+03	2.5140021E+02	1.8898002E+03	4.8142676E-05	1.8898002E+03	7.5770007E+02
19408	2.1330022E+02	214044	8.0770007E+02	214104	-8.0770007E+02
1.1430021E+03	2.5140021E+02	1.8898002E+03	-1.2189995E+02	1.8898002E+03	6.5100012E+02
19409	-3.2000040E+02	214045	8.0770007E+02	214105	-7.0610004E+02
1.1430021E+03	1.4470021E+02	1.8898002E+03	-2.4380006E+02	1.8898002E+03	7.5770007E+02
19410	-3.2000040E+02	214046	8.0770007E+02	214106	-7.0610004E+02
1.1430021E+03	-2.5140021E+02	1.8898002E+03	5.0290002E+02	1.8898002E+03	6.5100012E+02
19411	3.2000040E+02	214047	-3.7715005E+02	214107	7.0610004E+02
1.1430021E+03	1.4470021E+02	1.8898002E+03	5.0290002E+02	1.8898002E+03	7.5770007E+02
19416	3.2000040E+02	214048	-3.7715005E+02	214108	7.0610004E+02
1.1430021E+03	-2.5140021E+02	1.8898002E+03	-5.0290002E+02	1.8898002E+03	6.5100012E+02
194017	-7.1100006E+01	214049	-2.5140004E+02	214109	8.0770007E+02
1.1430021E+01	-3.5810040E+02	1.8898002E+03	5.0290002E+02	1.8898002E+03	7.5770007E+02
194018	7.1100105E+01	214050	-2.5140010E+02	214110	8.0770007E+02
1.1430021E+03	-3.5810040E+02	1.8898002E+03	-5.0290002E+02	1.8898002E+03	6.5100012E+02
194019	-7.1100006E+01	214051	-1.2570006E+02	214111	5.7910004E+02
1.1430021E+03	-2.5140021E+02	1.8898002E+03	5.0290002E+02	1.8898002E+03	2.4379995E+02
194020	7.1100105E+01	214052	-1.2570010E+02	214112	7.3150006E+02
1.1430021E+03	2.5140021E+02	1.8898002E+03	-5.0290002E+02	1.8898002E+03	5.0290002E+02
194021	-2.1330022E+02	214053	-5.5118096E-05	214113	5.7910004E+02
1.1430021E+03	-2.5140021E+02	1.8898002E+03	5.0290002E+02	1.8898002E+03	7.3150006E+02
194024	-2.1330022E+02	214054	-1.0324382E-04	214114	7.3150006E+02
1.1430021E+03	1.4470021E+02	1.8898002E+03	-5.0290002E+02	1.8898002E+03	2.1290005E+02
194025	-7.1100105E+01	214055	1.2569995E+02	214115	5.7910004E+02
1.1430021E+03	-2.5140021E+02	1.8898002E+03	5.0290002E+02	1.8898002E+03	-5.0290002E+02
194028	-7.1100006E+01	214056	1.2569989E+02	214116	5.7910004E+02
1.1430021E+03	1.4470021E+02	1.8898002E+03	-5.0290002E+02	1.8898002E+03	5.0290002E+02
194029	7.1100005E+01	214057	2.5139998E+02	214117	7.3150006E+02
1.1430021E+03	-2.5140021E+02	1.8898002E+03	5.0290002E+02	1.8898002E+03	-5.0290002E+02
194032	7.1100006E+01	214058	2.5139993E+02	214118	7.3150006E+02
1.1430021E+03	1.4470021E+02	1.8898002E+03	-5.0290002E+02	1.8898002E+03	5.0290002E+02
194033	2.1330022E+02	214059	3.7715002E+02	214119	5.7910004E+02
1.1430021E+03	-2.5140021E+02	1.8898002E+03	5.0290002E+02	1.8898002E+03	-2.7409998E+02
194036	2.1330022E+02	214060	3.7714996E+02	214120	5.7910004E+02
1.1430021E+03	1.4470021E+02	1.8898002E+03	-5.0290002E+02	1.8898002E+03	-4.2650006E+02
21401	-8.0770007E+02	214061	-7.0610004E+02	214121	7.3150006E+02
1.8898002E+03	-8.0770007E+02	1.8898002E+03	-5.0290002E+02	1.8898002E+03	-2.7410001E+02
21402	-8.0770007E+02	214062	-6.0450006E+02	214122	7.3150006E+02
1.8898002E+03	8.0770007E+02	1.8898002E+03	-5.0290002E+02	1.8898002E+03	-4.2650006E+02
21403	8.0770007E+02	214063	6.0450006E+02	214123	5.7910004E+02
1.8898002E+03	-8.0770007E+02	1.8898002E+03	-5.0290002E+02	1.8898002E+03	2.7430002E+02
21404	8.0770007E+02	214064	7.0610004E+02	214124	7.3150006E+02
1.8898002E+03	8.0770007E+02	1.8898002E+03	-5.0290002E+02	1.8898002E+03	2.7430005E+02
21405	-5.0290002E+02	214065	5.0290002E+02	214125	2.5139996E+02
1.8898002E+03	-5.0290002E+02	1.8898002E+03	-5.0290002E+02	1.8898002E+03	-5.7910004E+02
21406	-5.0290002E+02	214066	-5.0290002E+02	214126	2.5139998E+02
1.8898002E+03	5.0290002E+02	1.8898002E+03	-2.4379998E+02	1.8898002E+03	-7.3150006E+02
21407	-5.0290002E+02	214067	-7.0610004E+02	214127	5.0290002E+02
1.8898002E+03	-5.0290002E+02	1.8898002E+03	-2.4379998E+02	1.8898002E+03	-5.7910004E+02
21408	5.0290002E+02	214068	-6.0450006E+02	214128	5.0290002E+02
1.8898002E+03	5.0290002E+02	1.8898002E+03	-2.4379998E+02	1.8898002E+03	-7.3150006E+02
21409	-7.0610004E+02	214069	-3.7715005E+02	214129	-2.5140007E+02
1.8898002E+03	-8.0770007E+02	1.8898002E+03	-2.4379998E+02	1.8898002E+03	1.4370003E+02
214010	-6.0450006E+02	214070	-2.5140007E+02	214130	2.5139996E+02
1.8898002E+03	-8.0770007E+02	1.8898002E+03	-2.4379998E+02	1.8898002E+03	1.4370003E+02
214011	-5.0290005E+02	214071	-1.2570010E+02	214131	-2.5140007E+02
1.8898002E+03	-8.0770007E+02	1.8898002E+03	-2.4379998E+02	1.8898002E+03	-1.0629997E+02
214012	-3.7715005E+02	214072	-9.0846355E-05	214132	2.5139996E+02
1.8898002E+03	-8.0770007E+02	1.8898002E+03	-2.4379998E+02	1.8898002E+03	-1.0629997E+02
214013	-2.5140004E+02	214073	1.2569991E+02	214133	-2.0320007E+02
1.8898002E+03	-8.0770007E+02	1.8898002E+03	-2.4379998E+02	1.8898002E+03	-1.0629997E+02
214014	-1.2570005E+02	214074	2.5139996E+02	214134	-1.0160007E+02
1.8898002E+03	-8.0770007E+02	1.8898002E+03	-2.4379998E+02	1.8898002E+03	-1.0629997E+0

2140140	-1.0160007E+02	10307	-8.8940118E+02	184501	1.5130020E+02
1.8898002E+03	1.437003E+02	4.0951042E+03	-1.1501021E+03	1.1430021E+03	1.8600002E+01
2140141	-5.0800068E+01	10308	-1.1894020E+03	182501	-9.0200005E+01
1.8898002E+03	1.437003E+02	4.0951042E+03	-5.0100002E+01	1.1430021E+03	-1.9340021E+02
2140142	5.0800003E+01	10309	-8.8940063E+02	183501	9.0200005E+01
1.8898011E+03	1.4370012E+02	4.0951021E+03	-5.0100002E+01	1.1430021E+03	-1.9340021E+02
2140143	1.0159939E+02	10206	8.8940100E+02	60201	1.0394020E+03
1.8898002E+03	1.437003E+02	4.0951042E+03	-1.1501021E+03	3.1451042E+03	-6.0010065E+02
2140144	2.3139992E+02	10207	1.1894020E+03	60101	0.0000000E+00
1.8898002E+03	1.437003E+02	4.0951042E+03	-1.1501021E+03	3.1451042E+03	1.2002020E+03
2140145	-5.0800056E+01	10208	8.8940057E+02	60301	-1.0394020E+03
1.8898002E+03	2.4380003E+02	4.0951021E+03	-5.0100002E+01	3.1451042E+03	-6.0010065E+02
2140146	5.0799938E+01	10209	1.1894020E+03	20101	0.0000000E+00
1.8898002E+03	2.4380003E+02	4.0951042E+03	-5.0100002E+01	3.9254041E+03	1.2002020E+03
2140147	-2.5140007E+02	103010	-1.5894021E+03	20301	-1.0394020E+03
1.8898002E+03	-1.4219994E+02	4.0951042E+03	-2.5010022E+02	3.9254041E+03	-6.0010065E+02
2140148	2.5139996E+02	103011	-1.5894021E+03	20201	1.0394020E+03
1.8898002E+03	-1.4219994E+02	4.0951042E+03	-4.5010052E+02	3.9254041E+03	-6.0010065E+02
2140149	-5.8135956E-05	103012	-1.5894021E+03	40101	0.0000000E+00
1.8898002E+03	-1.4219994E+02	4.0951042E+03	-7.5010008E+02	3.7079043E+03	1.2002020E+03
2140150	-7.2669951E-05	103013	-1.5894021E+03	50101	0.0000000E+00
1.8898002E+03	-1.0629997E+02	4.0951042E+03	-9.5010107E+02	3.5657041E+03	1.2002020E+03
2140151	-5.0250002E+02	103014	-4.8940033E+02	40201	1.0394020E+03
1.8898002E+03	-3.8100000E+02	4.0951021E+03	-2.5010101E+02	3.7079043E+03	-6.0010065E+02
2140152	-3.7715009E+02	103015	-4.8940033E+02	50201	1.0394020E+03
1.8898002E+03	-3.8100000E+02	4.0951021E+03	-4.5010034E+02	3.5657041E+03	-6.0010065E+02
2140153	4.0379996E+02	103016	-4.8940033E+02	40301	-1.0394020E+03
1.8898002E+03	-5.7910004E+02	4.0951021E+03	-7.5010046E+02	3.7079043E+03	-6.0010065E+02
2140154	4.0379996E+02	103017	-4.8940033E+02	50301	-1.0394020E+03
1.8898002E+03	-7.3150006E+02	4.0951021E+03	-9.5010052E+02	3.5657041E+03	-6.0010065E+02
2140155	-5.0800068E+01	102010	4.8940033E+02	90101	0.0000000E+00
1.8898002E+03	6.2000284E+00	4.0951021E+03	-2.5010011E+02	2.8639031E+03	1.2002020E+03
2140156	5.0800003E+01	102011	4.8940033E+02	100101	0.0000000E+00
1.88980011E+03	6.2000000E+00	4.0951021E+03	-4.5010034E+02	2.7217024E+03	1.2002020E+03
2140157	3.7714996E+02	102012	4.8940033E+02	90201	1.0394020E+03
1.8898002E+03	-8.8100000E+02	4.0951021E+03	-7.5010046E+02	2.8639031E+03	-6.0010065E+02
2140158	5.0790002E+02	102013	4.8940033E+02	10201	1.0394020E+03
1.8898002E+03	-3.8100000E+02	4.0951021E+03	-9.5010052E+02	2.7217024E+03	-6.0010065E+02
10102	5.5000037E+02	102014	1.5894021E+03	90301	-1.0394020E+03
4.0951021E+03	1.7502012E+03	4.0951042E+03	-2.5010022E+02	2.8639031E+03	-6.0010065E+02
10103	5.5000037E+02	102015	1.5894021E+03	10301	-1.0394020E+03
4.0951021E+03	6.5020032E+02	4.0951042E+03	-4.5010052E+02	2.7217024E+03	-6.0010065E+02
10104	-5.5000037E+02	102016	1.5894021E+03	120101	0.0000000E+00
4.0951021E+03	1.7502012E+03	4.0951042E+03	-7.5010038E+02	2.4398022E+03	1.2002020E+03
10105	-5.5000037E+02	102017	1.5894021E+03	120201	1.0394020E+03
4.0951021E+03	6.5020032E+02	4.0951042E+03	-9.5010107E+02	2.4398022E+03	-6.0010065E+02
10106	-5.5000061E+02	103018	-1.1894020E+03	120301	-1.0394020E+03
4.0951021E+03	1.5502021E+03	4.0951042E+03	-9.5010107E+02	2.4398022E+03	-6.0010065E+02
10107	-5.5000061E+02	103019	-8.8940063E+02	130101	0.0000000E+00
4.0951021E+03	1.3502020E+03	4.0951021E+03	-9.5010052E+02	2.3780822E+03	1.2002020E+03
10108	-5.5000061E+02	103020	-1.1894020E+03	130301	-1.0394020E+03
4.0951021E+03	1.0502010E+03	4.0951042E+03	-7.5010038E+02	2.3780822E+03	-6.0010065E+02
10109	-5.5000037E+02	103021	-8.8940063E+02	140301	-1.0394020E+03
4.0951021E+03	8.5020050E+02	4.0951021E+03	-7.5010046E+02	2.3366021E+03	-6.0010065E+02
10109	5.5000061E+02	103022	-1.1894020E+03	130201	1.0394020E+03
4.0951021E+03	1.5502021E+03	4.0951042E+03	-9.5010052E+02	2.3780822E+03	-6.0010065E+02
10109	5.5000061E+02	103023	-8.8940063E+02	140201	1.0394020E+03
4.0951021E+03	1.3502020E+03	4.0951021E+03	-9.5010034E+02	2.2366021E+03	-6.0010065E+02
10109	5.5000061E+02	103024	-1.1894020E+03	140101	0.0000000E+00
4.0951021E+03	1.0502010E+03	4.0951042E+03	-2.5010022E+02	2.2366021E+03	1.2002020E+03
10109	5.5000017E+02	103025	-8.8940063E+02	678	0.0000000K+00
4.0951021E+03	8.5020050E+02	4.0951021E+03	-2.5010011E+02	2.7509031E+03	0.0000000K+00
10109	-1.5000011E+02	102018	8.8940057E+02	679	0.0000000E+00
4.0951021E+03	1.7502012E+03	4.0951021E+03	-9.5010052E+02	1.0179011E+03	0.0000000E+00
10109	1.5000011E+02	102019	1.1894020E+03	680	0.0000000E+00
4.0951021E+03	1.7502012E+03	4.0951042E+03	-9.5010107E+02	2.8990020E+02	0.0000000E+00
10109	-1.5000011E+02	102020	8.8940057E+02	20401	6.0700070E+02
4.0951021E+03	6.5020032E+02	4.0951021E+03	-7.5010045E+02	1.6002020E+03	-1.0477020E+03
10109	1.5000011E+02	102021	1.1894020E+03	20402	-8.0770070E+02
4.0951021E+03	6.5020032E+02	4.0951042E+03	-7.5010038E+02	1.6002020E+03	-1.0477020E+03
10109	-3.5000021E+02	102022	8.8940057E+02	20403	1.6002020E+03
4.0951021E+03	8.5020050E+02	4.0951021E+03	-10.5020034E+02	1.6002020E+03	-8.0770087E+02
10109	-1.5000011E+02	102023	1.1894020E+03	20404	-1.0477020E+03
4.0951021E+03	8.5020050E+02	4.0951042E+03	-4.5010052E+02	1.6002020E+03	0.0000000E+00
10109	1.5000011E+02	102024	8.8940057E+02	20405	-6.8580084E+02
4.0951021E+03	8.5020050E+02	4.0951021E+03	-10.5020034E+02	1.6002020E+03	-8.0770087E+02
10109	3.5000021E+02	102025	1.1894020E+03	20406	-6.8580084E+02
4.0951021E+03	8.5020050E+02	4.0951021E+03	-10.5020034E+02	1.6002020E+03	-8.0770087E+02
10109	-3.5000040E+02	103026	-8.8940045E+02	20407	8.0770087E+02
4.0951021E+03	1.0502010E+03	4.0951021E+03	-9.5010107E+02	20408	-1.0477020E+03
10109	-1.5000021E+02	103027	-6.8940045E+02	20409	1.6002020E+03
4.0951021E+03	1.0502010E+03	4.0951021E+03	-9.5010052E+02	2.6002020E+03	-8.0770087E+02
10109	1.5000021E+02	103028	-1.3894021E+03	20410	1.6002020E+03
4.0951021E+03	1.3502020E+03	4.0951042E+03	-2.5010222E+02	2.6002020E+03	-8.0770087E+02
10109	3.5000040E+02	103029	-1.3894021E+03	20410	1.6002020E+03
4.0951021E+03	1.0502010E+03	4.0951021E+03	-10.5010111E+02	2.6002020E+03	-8.0770087E+02
10109	-3.5000040E+02	102030	-1.3894021E+03	20410	1.6002020E+03
4.0951021E+03	1.5502021E+03	4.0951042E+03	-9.5010021E+02	2.6002020E+03	-8.0770087E+02
10109	1.5502021E+02	103031	-1.3894021E+03	20410	1.6002020E+03
4.0951021E+03	1.5502021E+03	4.0951042E+03	-9.5010052E+02	2.6002020E+03	-8.0770087E+02
10109	1.5000021E+02	103032	-6.8940045E+02	20410	1.6002020E+03
4.0951021E+03	1.5502021E+03	4.0951021E+03	-10.5010034E+02	2.6002020E+03	-8.0770087E+02
10109	3.5000040E+02	103033	-6.8940045E+02	20410	1.6002020E+03
4.0951021E+03	1.5502021E+03	4.0951021E+03	-10.5010045E+02	2.6002020E+03	-8.0770087E+02
10202	1.5894021E+03	102030	6.8940045E+02	20410	5.0290042E+02
4.0951021E+03	-5.0100002E+01	4.0951021E+03	-7.5010046E+02	1.6002020E+03	-6.8580084E+02
10203	1.5894021E+03	102031	6.8940045E+02	20402	2.5140021E+02
4.0951021E+03	-1.1501021E+03	4.0951021E+03	-10.5010342E+02	1.6002020E+03	-6.8580084E+02
10204	4.8940033E+02	102032	1.3894021E+03	20401	0.0000000E+00
4.0951021E+03	-5.0100002E+01	4.0951042E+03	-4.5010052E+02	1.6002020E+03	-6.8580084E+02
10205	4.8940051E+02	102033	1.3894021E+03	20402	-2.5140021E+02
4.0951021E+03	-1.1501021E+03	4.0951042E+03	-1.1501021E+02	1.6002020E+03	-6.8580084E+02
10302	-4.8940033E+02	191501	-1.5130020E+02	20403	-5.0290040E+02
4.0951021E+03	-5.0100002E+01	4.0951021E+03	1.8600002E+01	1.6002020E+03	-6.8580084E+02
10303	-4.8940051E+02	194501	1.5130020E+02	20404	5.0290040E+02
4.0951021E+03	-1.1501021E+03	4.0951021E+03	1.8600002E+01	1.6002020E+03	-6.8580084E+02
10304	-1.5894021E+03	192501	-9.0200005E+01	20405	2.5140021E+02
4.0951021E+03	-5.0100002E+01	4.0951021E+03	-1.9340021E+02	1.6002020E+03	-6.8580084E+02
10305	-1.5894021E+03	193501	9.0200005E+01	20406	0.0000000E+00
4.0951021E+03	-1.1501021E+03	4.0951021E+03	-1.9340021E+02	1.6002020E+03	-6.8580084E+02
10306	-1.1894020E+03	181501	-1.5130020E+02	20407	-2.5140021E+02
4.0951021E+03	-1.1501021E+03	4.0951021E+03	-1.9340021E+02	1.6002020E+03	-6.8580084E+02
10307	-1.1894020E+03	181501	-1.5130020E+02	20408	0.0000000E+00
4.0951021E+03	-1.1501021E+03	4.0951021E+03	-1.9340021E+02	1.6002020E+03	-6.8580084E+02
10308	-1.1894020E+03	181501	-1.5130020E+02	20409	-1.0477020E+03
4.0951021E+03	-1.1501021E+03	4.0951021E+03	-1.9340021E+02	1.6002020E+03	-6.8580084E+02
10309	-1.1894020E+03	181501	-1.5130020E+02	20410	-2.5140021E+02
4.0951021E+03	-1.1501021E+03	4.0951021E+03	-1.9340021E+02	1.6002020E+03	-6.8580084E+02
10306	-1.1894020E+03	181501	-1.5130020E+02	20407	-2.5140021E+02
4.0951021E+03	-1.1501021E+03	4.0951021E+03	-1.9340021E+02	1.6002020E+03	-6.8

204028 -5.0290042E+02  
 1.6002020E+03 -1.0477020E+03  
 204029 -6.8580084E+02  
 1.6002020E+03 -1.0477020E+03  
 204030 -8.0770087E+02  
 1.6002020E+03 0.0000000E+00  
 204031 -8.0770087E+02  
 1.6002020E+03 -2.4380022E+02  
 204032 -8.0770087E+02  
 1.6002020E+03 -5.0290042E+02  
 204033 -8.0770087E+02  
 1.6002020E+03 -6.8580084E+02  
 204034 -8.0770087E+02  
 1.6002020E+03 -2.4380022E+02  
 204035 -1.0477020E+03  
 1.6002020E+03 -2.4380022E+02  
 204036 -1.0477020E+03  
 1.6002020E+03 -5.0290042E+02  
 204037 -6.8580084E+02  
 1.6002020E+03 1.9470021E+02  
 204038 -8.0770087E+02  
 1.6002020E+03 1.9470021E+02  
 204039 -1.1177020E+03  
 1.6002020E+03 1.9470021E+02  
 204040 -1.1177020E+03  
 1.6002020E+03 7.2800011E+01  
 204041 -8.0770087E+02  
 1.6002020E+03 7.2800011E+01  
 204042 -9.8770117E+02  
 1.6002020E+03 7.2800011E+01  
 204043 -9.8770117E+02  
 1.6002020E+03 1.9470021E+02  
 204044 -1.1177020E+03  
 1.6002020E+03 1.9470021E+02  
 204045 -8.0770087E+02  
 1.6002020E+03 1.9470021E+02  
 204046 -8.0770087E+02  
 1.6002020E+03 1.9470021E+02  
 204047 -9.8770117E+02  
 1.6002020E+03 1.9470021E+02  
 204048 -8.0770087E+02  
 1.6002020E+03 1.9470021E+02  
 204049 -1.1177020E+03  
 1.6002020E+03 1.9470021E+02  
 204050 -9.8770117E+02  
 1.6002020E+03 1.9460022E+02  
 204051 -8.0770087E+02  
 1.6002020E+03 1.9460022E+02  
 204052 -8.0770087E+02  
 1.6002020E+03 1.9460022E+02  
 204053 -1.0477020E+03  
 1.6002020E+03 1.9460022E+02  
 204054 -8.0770087E+02  
 1.6002020E+03 1.9460022E+02  
 204055 -1.0477020E+03  
 1.6002020E+03 1.9460022E+02  
 204056 -1.0477020E+03  
 1.6002020E+03 5.0290042E+02  
 204057 -8.0770087E+02  
 1.6002020E+03 1.9470021E+02  
 204058 -8.0770087E+02  
 1.6002020E+03 1.9470021E+02  
 204059 -1.1177020E+03  
 1.6002020E+03 1.9470021E+02  
 204060 -1.1177020E+03  
 1.6002020E+03 7.2800011E+01  
 204061 -8.0770087E+02  
 1.6002020E+03 7.2800011E+01  
 204062 -9.8770117E+02  
 1.6002020E+03 5.0290042E+02  
 204063 -7.2800011E+01  
 1.6002020E+03 5.0290042E+02  
 204064 -21.40159 -6.8580005E+02  
 1.6002020E+03 4.3096155E-05  
 2140160 -7.0179528E-05  
 1.6002020E+03 -6.8580005E+02  
 1840157 -9.8770117E+02  
 1.430021E+03 1.9470021E+02  
 1840158 -9.8770117E+02  
 1.430021E+03 7.2800011E+01  
 1840159 -8.0770087E+02  
 1.430021E+03 7.2800011E+01  
 1840160 -8.0770087E+02  
 1.430021E+03 1.9470021E+02  
 733 -9.8770117E+02  
 1.2954021E+03 1.9470021E+02  
 734 -9.8770117E+02  
 1.4478021E+03 1.9470021E+02  
 735 -9.8770117E+02  
 1.2954021E+03 7.2800011E+01  
 736 -9.8770117E+02  
 1.4478021E+03 7.2800011E+01  
 737 -8.0770087E+02  
 1.2954021E+03 1.9470021E+02  
 738 -8.0770087E+02  
 1.4478021E+03 1.9470021E+02  
 739 -8.0770087E+02  
 1.2954021E+03 7.2800011E+01  
 740 -8.0770087E+02  
 1.4478021E+03 7.2800011E+01  
 1840162 -2.9830032E+02  
 1.430021E+03 5.0290042E+02  
 1840163 -1.5590010E+02  
 1.430021E+03 -8.0770087E+02  
 1840164 8.0770087E+02  
 1.430021E+03 1.6140021E+02  
 1840165 5.0290042E+02  
 1.430021E+03 -9.2500008E+01  
 746 5.0290002E+02  
 1.7983008E+03 5.0290002E+02  
 747 5.0290002E+02  
 1.7983008E+03 -5.0290002E+02  
 748 5.0290002E+02  
 8.7170007E+02 5.0290002E+02  
 749 5.0290002E+02  
 8.7170007E+02 -5.0290002E+02  
 750 5.0290002E+02  
 1.7983008E+03 5.0290002E+02  
 751 5.0290002E+02  
 1.7983008E+03 -5.0290002E+02  
 752 5.0290002E+02  
 8.7170007E+02 5.0290002E+02  
 753 5.0290002E+02  
 8.7170007E+02 -5.0290002E+02  
 754 5.0290002E+02  
 1.5240001E+02 -2.8920001E+02  
 16305 1.5130020E+02  
 1.5240042E+03 1.8600002E+01  
 11502 -1.5130020E+02  
 1.5240011E+02 -9.2892001E+02  
 12502 -9.0200005E+01  
 13502 9.0200005E+01  
 4.5523042E+03 -1.9340021E+02  
 '00101' 0.0000000E+00  
 '00201' 1.0394020E+03  
 '00301' -1.0394020E+03  
 5.0061064E+03 -6.0010065E+02  
 1.5240001E+02 -2.8920001E+02  
 16306 1.7840001E+02  
 1.5240001E+02 -2.8920001E+02  
 16307 -9.7530109E+02  
 1.5240021E+03 7.6280084E+02  
 184104 -1.1122020E+03  
 1.1430021E+03 -8.0770087E+02  
 184105 6.5530084E+02  
 1.1430021E+03 5.0290021E+02  
 184106 1.0000000E+00  
 1.1430021E+03 1.9470021E+02  
 184107 -8.050037E+02  
 1.7831012E+03 5.0290015E+02  
 184108 6.5530084E+02  
 1.1430021E+03 8.0770087E+02  
 184109 6.5530084E+02  
 1.1430021E+03 -9.2696010E+02  
 184110 8.0770087E+02  
 1.1430021E+03 1.9470021E+02  
 184111 -8.0770087E+02  
 1.1430021E+03 1.9470021E+02  
 184112 -5.0290021E+02  
 1.1430021E+03 1.9470021E+02  
 184113 -1.1195959E+03  
 1.7831012E+03 5.02899975E+02  
 184114 8.0049998E+02  
 1.7831012E+03 5.02899902E+02  
 184115 5.0290002E+02  
 1.7831012E+03 5.0290002E+02  
 184116 1.1195959E+03  
 1.7831012E+03 5.02899975E+02  
 184117 2.1330022E+02  
 1.4430021E+03 -2.7400004E+02  
 1840183 -2.1330011E+02  
 1.4430021E+03 -2.7400004E+02  
 1840184 1.0000000E-04  
 1.4430021E+03 -2.7400004E+02  
 1840185 1.0000000E-04  
 1.4430021E+03 -1.2575021E+02  
 1940111 -3.2000404E+02  
 1.4430021E+03 -2.7300001E+01  
 1940114 -2.1330022E+02  
 1.4430021E+03 -2.7300001E+01  
 1940115 2.1330022E+02  
 1.4430021E+03 -2.7300001E+01  
 1940117 3.2000404E+02  
 1.4430021E+03 -2.7300001E+01  
 1940123 0.0000000E+00  
 1.4430021E+03 -2.7300001E+01  
 1940126 -3.2000404E+02  
 1.4430021E+03 -1.2530021E+02  
 194027 -2.1330022E+02  
 1.4430021E+03 -1.2530021E+02  
 194030 2.1330022E+02  
 1.4430021E+03 -1.2530021E+02  
 194031 3.2000404E+02  
 1.4430021E+03 -1.2530021E+02  
 194034 0.0000000E+00  
 1.4430021E+03 -1.2530021E+02  
 194035 -2.1330022E+02  
 1.4430021E+03 0.0000000E+00  
 194037 2.1330022E+02  
 1.4430021E+03 0.0000000E+00  
 1840166 6.5530084E+02  
 1.1430021E+03 9.3290112E+02  
 '00101' 0.0000000E+00  
 5.0061064E+03 1.2002020E+03  
 '00201' 1.0394020E+03  
 5.0061064E+03 -6.0010065E+02  
 '00301' -1.0394020E+03  
 5.0061064E+03 -6.0010065E+02  
 11502 -1.5130020E+02  
 4.5523042E+03 1.8600002E+01  
 12502 -9.0200005E+01  
 4.5523042E+03 -1.9340021E+02  
 13502 9.0200005E+01  
 4.5523042E+03 -1.9340021E+02  
 14502 1.5130020E+02  
 4.5523042E+03 1.8600002E+01  
 16302 0.0000000E+00  
 1.5240001E+02 -2.8920001E+02  
 16303 1.7840001E+02  
 1.5240001E+02 -2.8920001E+02  
 16304 -1.1140001E+02  
 1.5240001E+02 -2.8920001E+02  
 16305 -1.5270001E+02  
 1.5240001E+02 -2.6980002E+02  
 16306 -2.5370001E+02  
 1.5240001E+02 -2.5100000E+01  
 16307 -2.3370001E+02  
 1.5240001E+02 1.2890001E+02  
 16308 -1.3670001E+02  
 1.5240001E+02 1.1490000E+02  
 16309 2.0380002E+02  
 1.5240001E+02 -2.8920001E+02  
 16310 1.7840001E+02  
 1.5240001E+02 -2.3900001E+02  
 16311 1.7840001E+02  
 1.5240001E+02 -1.4590002E+02  
 16312 0.0000000E+00  
 1.5240001E+02 -2.3900001E+02  
 16313 -2.3042879E+02  
 1.5240001E+02 -2.8920001E+02  
 16314 -1.9611797E+02  
 1.5240001E+02 -1.6460818E+02  
 16315 -1.5766695E+02  
 1.5240001E+02 -1.3233499E+02  
 16316 -1.1749774E+02  
 1.5240001E+02 -9.8619682E+01  
 16317 0.0000000E+00  
 1.5240001E+02 -1.5340002E+02  
 16318 1.1757460E+02  
 1.5240001E+02 -9.8528038E+01  
 16319 -1.1742867E+02  
 1.5240001E+02 9.8701935E+01  
 16201 0.0000000E+00  
 1.0820001E+02 0.0000000E+00  
 16203 -1.1742870E+02  
 1.7460001E+02 9.8701940E+01  
 16205 -1.1749771E+02  
 1.2460001E+02 -9.8617905E+01  
 16207 0.0000000E+00  
 1.2460001E+02 -1.5340001E+02  
 16209 1.1757461E+02  
 1.2460001E+02 -9.8528080E+01  
 16202 -6.2082577E+01  
 1.0820001E+02 5.2182034E+01  
 16208 6.2159714E+01  
 1.0820001E+02 -5.2090096E+01  
 16204 -6.2119072E+01  
 1.0820001E+02 -5.2138588E+01  
 \$ END MEMBER INCIDENCES



'HD47'	214023	21406	'MD71'	184046	1840159	'WH49'	194033	194016
'HD48'	21405	214011	'MD259'	1840159	184042	'WH56'	194033	19406
'HD55'	214049	214051	'MD260'	1840160	184046	'HD1'	21402	214021
'HD56'	214050	214052	'MD314'	184042	1840181	'HD2'	21404	2140109
'HD60'	214051	214053	'MD317'	1840181	184066	'HD3'	21402	2140103
'HD61'	214052	214054	'MD6'	18408	184010	'HD4'	21401	21409
'HD65'	214053	214055	'MD7'	184010	184026	'HD9'	21409	214010
'HD66'	214054	214056	'MD8'	18409	18407	'HD10'	214010	214011
'HD70'	214055	214057	'MD10'	184012	18405	'HD11'	214011	214012
'HD71'	214056	214058	'MD13'	184013	184059	'HD12'	214012	214013
'HD83'	214031	21408	'MD26'	18407	1840125	'HD13'	214013	214014
'HD84'	21407	2140127	'MD33'	184018	184024	'HD14'	214014	214015
'HD87'	214040	214061	'MD39'	184026	184027	'HD15'	214015	214016
'HD90'	214061	214062	'MD40'	184027	184026	'HD16'	214016	214017
'HD91'	214062	21405	'MD41'	184028	18409	'HD17'	214018	214019
'HD92'	21407	2140115	'MD44'	184031	184012	'HD18'	214019	214020
'HD95'	214063	214064	'MD45'	184026	184036	'HD19'	214020	21403
'HD96'	214064	2140117	'MD51'	184036	184035	'HD20'	214021	214022
'HD119'	214076	214065	'MD52'	184035	184034	'HD21'	214022	214023
'HD120'	214077	214066	'MD53'	184034	1840178	'HD22'	214023	214024
'HD123'	214080	214076	'MD54'	184032	184047	'HD23'	214024	214025
'HD124'	214081	214077	'MD55'	184033	1840104	'HD24'	214025	214026
'HD127'	214084	214080	'MD56'	184028	184041	'HD25'	214026	214027
'HD128'	214085	214081	'MD59'	184039	184020	'HD26'	214027	214028
'HD132'	214088	214084	'MD60'	184040	184021	'HD27'	214028	214029
'HD133'	214089	214085	'MD61'	184041	184022	'HD28'	214029	214030
'HD146'	214034	2140171	'MD62'	184041	184040	'HD29'	214030	214031
'HD149'	214099	2140100	'MD63'	184040	184039	'HD30'	214031	214032
'HD150'	2140100	21406	'MD64'	184039	184037	'HD31'	214032	214033
'HD151'	21408	2140116	'MD65'	184037	184056	'HD33'	214034	214035
'HD152'	2140101	2140102	'MD66'	184038	1840105	'HD34'	214035	214036
'HD153'	2140102	2140118	'MD72'	184047	184048	'HD35'	214036	214037
'HD179'	2140115	214063	'MD73'	184048	184049	'HD36'	214037	214038
'HD180'	2140116	2140101	'MD74'	184049	184043	'HD37'	214038	214039
'HD181'	2140117	214046	'MD77'	184050	184043	'HD38'	214039	214040
'HD182'	2140118	2140170	'MD78'	184046	184051	'HD39'	214040	21401
'HD195'	2140127	2140128	'MD80'	184051	184049	'HD40'	214042	214043
'HD196'	2140128	214018	'MD81'	184045	184052	'HD41'	214043	214044
'HD254'	2140171	214099	'MD83'	184052	184040	'HD42'	214044	214045
'HD1'	18404	1840177	'MD84'	184044	184053	'HD43'	214045	214046
'MD2'	18403	184065	'MD86'	184053	184047	'HD44'	214046	21403
'MD4'	18404	184053	'MD89'	184056	184057	'HD45'	214021	2140105
'MD12'	18402	1840103	'MD90'	184057	184058	'HD46'	214022	2140100
'MD19'	18403	184020	'MD91'	184058	184055	'HD49'	214024	214047
'MD20'	18404	184016	'MD92'	184059	184060	'HD52'	214047	2140162
'MD22'	18404	184023	'MD93'	184060	1840170	'HD53'	214048	214012
'MD27'	184020	184021	'MD95'	184055	184062	'HD54'	214025	214049
'MD28'	184021	184022	'MD97'	184062	184054	'HD57'	214049	214093
'MD29'	184022	18409	'MD98'	184058	1840108	'HD58'	214050	214013
'MD31'	184023	184024	'MD100'	184063	184061	'MD59'	214026	214051
'MD34'	184024	184025	'MD101'	184057	1840109	'HD62'	214051	214094
'MD37'	184025	184010	'MD103'	184064	184060	'HD63'	214052	214014
'MD46'	184032	184087	'MD104'	184056	1840110	'HD69'	214028	214055
'MD57'	184037	1840107	'MD106'	184065	184059	'HD72'	214055	214096
'MD76'	184050	184076	'MD107'	184047	184091	'HD73'	214056	214016
'MD79'	184051	184050	'MD108'	184048	184092	'HD74'	214029	214057
'MD82'	184052	184051	'MD112'	184068	184069	'HD77'	214057	214097
'MD85'	184053	184052	'MD113'	184069	184033	'HD78'	214058	2140125
'MD96'	184062	1840165	'MD114'	184067	184070	'HD79'	214030	214059
'MD99'	184063	184062	'MD116'	184070	184069	'HD82'	214059	2140161
'MD102'	184064	184061	'MD119'	184071	184068	'HD85'	214032	2140101
'MD105'	184065	184064	'MD124'	184075	184068	'HD86'	214033	2140107
'MD110'	184066	184067	'MD127'	184076	184075	'HD88'	214061	21409
'MD111'	184057	184015	'MD129'	184078	184080	'HD89'	214062	214010
'MD115'	184070	18402	'MD130'	184078	184079	'HD93'	214063	214019
'MD118'	184071	184070	'MD133'	184080	184038	'HD94'	214064	214020
'MD126'	184076	184071	'MD135'	184080	184080	'HD100'	214067	214061
'MD132'	184079	184077	'MD137'	184082	184081	'HD101'	214068	214062
'MD147'	184087	184037	'MD138'	184083	184078	'HD102'	214069	2140152
'MD171'	1840100	184015	'MD140'	184083	184085	'HD103'	214070	214050
'MD178'	1840107	18403	'MD142'	184085	184084	'HD104'	214071	214052
'MD221'	184077	1840138	'MD144'	184069	184095	'HD106'	214073	214056
'MD223'	1840138	1840139	'MD151'	184091	184056	'HD107'	214074	214058
'MD225'	1840139	1840137	'MD152'	184092	184057	'HD108'	214075	2140157
'MD237'	1840100	1840146	'MD160'	184093	184095	'HD121'	214078	2140147
'MD243'	1840103	1840147	'MD162'	184095	184080	'HD122'	214079	2140140
'MD245'	1840147	184012	'MD163'	184095	184094	'HD125'	214082	2140131
'MD289'	18403	184013	'MD164'	184094	1840106	'HD126'	214083	2140132
'MD305'	1840177	184032	'MD179'	1840108	184063	'HD129'	214086	214082
'MD64'	214027	214053	'MD181'	1840109	184064	'HD130'	214087	214083
'MD67'	214053	214095	'MD182'	1840110	184065	'HD134'	214093	2140129
'MD68'	214054	2140160	'MD204'	1840125	1840130	'HD135'	214097	2140130
'MD97'	214039	214067	'MD212'	1840130	1840173	'HD147'	214099	214090
'MD105'	214072	214054	'MD213'	1840125	1840133	'HD148'	2140100	214091
'MD109'	214067	214068	'MD215'	1840130	1840134	'HD154'	214038	214077
'MD110'	214068	214066	'MD216'	1840133	1840132	'HD155'	214077	214078
'MD111'	214066	214069	'MD217'	1840134	1840131	'HD156'	214037	2140159
'MD112'	214069	214070	'MD219'	184060	1840136	'HD157'	214081	214082
'MD113'	214070	214071	'MD220'	184054	1840135	'HD158'	214036	214085
'MD114'	214071	214072	'MD224'	1840136	1840169	'HD159'	214085	214086
'MD115'	214072	214073	'MD227'	1840148	1840143	'HD160'	214079	214076
'MD116'	214073	214074	'MD228'	1840168	1840167	'HD161'	214083	214080
'MD117'	214074	214075	'MD230'	184045	1840140	'HD162'	214087	214084
'MD118'	214075	214065	'MD231'	184045	1840141	'HD163'	214084	2140113
'MD131'	214035	214090	'MD232'	1840140	1840157	'HD164'	214080	214043
'MD136'	214090	214091	'MD240'	1840105	1840150	'HD165'	214076	214044
'MD137'	214091	214089	'MD241'	1840106	1840149	'HD166'	2140103	2140104
'MD138'	214089	214092	'MD242'	1840104	1840148	'HD167'	2140104	214034
'MD139'	214092	214093	'MD244'	1840146	18405	'HD168'	2140105	2140106
'MD140'	214093	214094	'MD246'	1840146	184031	'HD169'	2140106	214099
'MD141'	214094	2140145	'MD247'	1840149	184030	'HD170'	2140107	2140108
'MD142'	214095	2140146	'MD248'	1840150	184029	'HD171'	2140108	2140102
'MD143'	214096	214097	'WR1'	19403	19407	'HD172'	2140109	2140110
'MD144'	214097	214098	'WR2'	19404	194013	'HD173'	2140110	214041
'MD145'	214098	214098	'WR3'	19403	19409	'HD177'	2140113	2140114
'MD174'	214065	2140111	'WR4'	19401	19405	'HD178'	2140114	214042
'MD175'	2140111	2140112	'WR5'	19405	194017	'HD183'	2140116	2140123
'MD176'	2140112	214045	'WR6'	19406	19402	'HD184'	2140118	2140124
'MD231'	2140145	214095	'WR7'	19407	194019	'HD191'	2140123	2140113
'MD232'	2140146	214096	'WR8'	19408	19404	'HD192'	2140124	2140114
'MD240'	2140150	2140149	'WR12'	194012	19401	'HD193'	2140125	2140126
'MD241'	2140149	214072	'WR16'	194016	19402	'HD194'	2140126	214017
'MD264'	2140160	214015	'WR17'	194017	194018	'HD197'	2140129	214086
'MD255'	2140170	214041	'WR18'	194018	19406	'HD198'	2140130	214087
'MD15'	184016	184044	'WR19'	194019	194020	'HD199'	214041	214042
'MD16'	184016	184017	'WR20'	194020	19408	'HD209'	214041	214018
'MD23'	184017	184018	'WR21'	194012	194021	'HD210'	214017	214018
'MD24'	184018	184019	'WR25'	194				

'HD216' 2140135 2140150 'JDT10' 174014 174501 'TR10' 214080 18401  
 'HD217' 2140136 2140137 'JDT11' 174501 174015 'SP57' 204042 204038  
 'HD218' 2140137 2140138 'JDT13' 172501 173501 'SP58' 204038 20405  
 'HD219' 2140138 2140132 'JDT30' 17401 174501 'SP59' 20405 204031  
 'HD227' 2140141 2140155 'JDT31' 17401 171501 'SP60' 204031 204012  
 'HD228' 2140142 2140156 'WH-TR1' 19407 184048 'SP61' 204012 204033  
 'HD233' 2140145 2140141 'WH-TR10' 19408 184057 'SP62' 204033 20408  
 'HD234' 2140146 2140142 'WH-TR4' 194021 184068 'SP63' 20408 204023  
 'HD235' 2140147 214070 'WH-TR7' 194033 184078 'SP64' 204023 204016  
 'HD236' 2140148 214074 'MD261' 184077 1840139 'SP65' 204016 204021  
 'HD239' 2140150 2140136 'CA1' 1 17401 'SP66' 204021 204014  
 'HD243' 2140152 214048 'CA2' 17401 680 'SP67' 204014 204019  
 'HD246' 2140155 2140135 'WH-TR5' 19408 184048 'SP68' 204019 20409  
 'HD247' 2140156 2140136 'WH-TR6' 194021 184078 'SP76' 204044 204046  
 'HD251' 2140157 214060 'DLG27' 726 20407 'JDT1' 17401 174016  
 'SP9' 204011 204012 'DLG28' 726 204020 'JDT2' 17401 174019  
 'SP21' 204010 204019 'DLG29' 725 204034 'JDT3' 17401 174018  
 'SP30' 204011 204023 'DLG30' 725 204022 'JDT4' 17401 174017  
 'HD263' 2140159 214081 'HD-TR6' 20405 214081 'JDT5' 174013 174011  
 'MD257' 1840157 1840158 'HD-TR4' 204030 214037 'JDT12' 174015 174010  
 'MD258' 1840158 1840141 'HD-TR5' 20405 2140159 'JDT14' 174016 174015  
 'MD266' 1840163 184031 'HD-TR3' 204021 214054 'JDT15' 174017 174013  
 'MD272' 1840167 1840142 'HD-TR1' 204015 214015 'JDT16' 174018 174012  
 'MD275' 1840169 1840172 'HD-TR2' 204021 2140160 'JDT17' 174019 174014  
 'MD276' 1840170 1840164 'SP51' 1840157 733 'JDT22' 174011 174024  
 'MD278' 1840172 1840135 'SP810' 1840158 735 'JDT24' 174010 174025  
 'HD265' 2140161 214098 'SP54' 1840160 737 'JDT26' 174012 174026  
 'HD266' 2140162 214092 'SP57' 1840159 739 'JDT27' 174014 174027  
 'HD260' 2140165 2140168 'SP52' 733 734 'JDT18' 174020 17406  
 'HD261' 2140168 2140167 'SP53' 734 204043 'JDT19' 174021 17407  
 'HD32' 214033 21404 'SP511' 735 736 'JDT20' 174023 17408  
 'HD262' 2140170 2140168 'SP512' 736 204042 'JDT21' 174022 17409  
 'HD256' 2140172 2140174 'SP55' 737 738 'JDT23' 174024 174021  
 'HD257' 2140174 2140173 'SP56' 738 204048 'JDT25' 174025 174020  
 'HD258' 2140171 2140174 'SP58' 739 740 'JMT28' 174026 174022  
 'MD288' 1840173 1840173 'SP59' 740 204041 'JMT29' 174027 174023  
 'MD290' 184020 1840173 'SP525' 204044 785 'MD332' 1840186 184101  
 'MD300' 184021 1840130 'SP534' 204045 787 'MD333' 1840187 184102  
 'MD301' 184022 1840125 'SP528' 204047 783 'MD334' 1840186 1840187  
 'MD306' 1840178 184032 'SP531' 204046 789 \$ END MEMBER INCIDENCES  
 'MD315' 184066 184071 'SP527' 783 784 \$  
 'MD316' 184042 184050 'SP526' 784 1840169 \$  
 'MD318' 1840181 184076 'SP524' 785 786 \$ UNITS M KN DEG FAM  
 'MD319' 184043 1840183 'SP823' 786 1840170 \$ INITIAL CONDITIONS  
 'MD320' 184055 1840182 'SP533' 787 788 \$ JNT2 1.0 0.0 0.0 JNT3 0.0 0.0 -1.0 -  
 'MD321' 184068 184093 'SP532' 788 1840171 \$ LINEAR DISPLACEMENT ORIGIN X 0. Y 0. Z 0.  
 'MD322' 184093 184078 'SP530' 789 790 \$  
 'MD323' 184049 184086 'SP829' 790 1840172 \$ END MEMBER MARINE GROWTHS DATA ALL  
 'MD324' 184086 184058 'WH-TR2' 184057 194037 \$ IREF 0. 43.15  
 'MD325' 1840182 184083 'WH-TR3' 184078 194037 \$ THICKNESS 0.0762 0.0762  
 'MD326' 1840183 184075 'WH-TR8' 184048 194035 \$  
 'WH11' 19409 194011 'RSA2' 171501 181501 \$ UNITS M SECONDS DEGREES  
 'WH13' 194024 194015 'RNB2' 172501 182501 \$ UNITS M  
 'WH14' 194016 194017 'RSC2' 173501 183501 \$ MEMBER MARINE GROWTHS DATA ALL  
 'WH15' 194013 194022 'RSD2' 174501 184501 \$ EXECUTE STEP WAVE LOADINGS TYPE STRUCTURE  
 'WH29' 194011 194026 'RSA1' 181501 191501 \$ FIXED -  
 'WH30' 194014 194027 'RSB1' 182501 192501 \$ DEAD LOADS COMPUTE CONSISTENT WITH  
 'WH31' 194015 194030 'RSD1' 184501 194501 \$ ORIENTATION  
 'WH35' 194022 194031 'RSC1' 183501 193501 \$ WAVE WIND LIST  
 'WH36' 194026 194012 'SP320' 733 737 \$ 'W1' HEIGHT 1. PERIOD 2.778 DEPTH 43.15 -  
 'WH38' 194027 194021 'SP522' 735 739 \$ DIRECTION 0. OCCURRENCES 1000. FROM -1.389 TO  
 'WH42' 194031 194016 'SP519' 734 738 1.389 INCR 0.5  
 'WH53' 194035 194014 'SP521' 736 740 \$ 'W2' HEIGHT 1. PERIOD 3.125 DEPTH 43.15 -  
 'WH54' 194037 194015 'SP541' 785 783 \$ DIRECTION 0. OCCURRENCES 1000. FROM -1.563 TO  
 'SP1' 20407 204019 'SP543' 787 789 1.563 INCR 0.5  
 'SP2' 204012 20406 'SP542' 786 784 \$ 'W3' HEIGHT 1. PERIOD 3.57 DEPTH 43.15 -  
 'SP3' 20406 20408 'SP544' 788 790 \$ DIRECTION 0. OCCURRENCES 1000. FROM -1.785 TO  
 'SP4' 20405 204034 'SP538' 204046 783 1.785 INCR 0.5  
 'SP6' 20409 20401 'SP539' 783 790 \$ 'W4' HEIGHT 1. PERIOD 4.16 DEPTH 43.15 -  
 'SP7' 20409 204013 'SP540' 790 1840169 \$ DIRECTION 0. OCCURRENCES 1000. FROM -2.08 TO  
 'SP8' 20408 204018 'SP535' 204045 785 2.08 INCR 0.5  
 'SP10' 204013 204014 'SP536' 785 788 \$ 'W5' HEIGHT 1. PERIOD 5. DEPTH 43.15 -  
 'SP11' 204014 204015 'SP537' 788 1840170 \$ DIRECTION 0. OCCURRENCES 1000. FROM -2.5 TO  
 'SP12' 204015 204016 'SP515' 204042 734 2.5 INCR 0.5  
 'SP13' 204016 204017 'SP514' 734 735 \$ 'W6' HEIGHT 1. PERIOD 6.25 DEPTH 43.15 -  
 'SP14' 204017 20409 'SP513' 735 1840157 \$ DIRECTION 0. OCCURRENCES 1000. FROM -3.125 TO  
 'SP15' 204018 20403 'SP518' 204041 738 3.125 INCR 0.5  
 'SP16' 204019 204020 'SP517' 738 739 \$ 'W7' HEIGHT 1. PERIOD 8.33 DEPTH 43.15 -  
 'SP17' 204020 204021 'SP516' 739 1840160 \$ DIRECTION 0. OCCURRENCES 1000. FROM -4.165 TO  
 'SP18' 204021 204022 'DLG16' 18404 2140172 4.165 INCR 0.5  
 'SP19' 204022 204023 'DLG4' 18403 2140165 \$ 'W8' HEIGHT 1. PERIOD 12.5 DEPTH 43.15 -  
 'SP20' 204023 20406 'DLG21' 18402 725 \$ DIRECTION 0. OCCURRENCES 1000. FROM -6.25 TO  
 'SP22' 204019 204013 'DLG23' 204041 751 6.25 INCR 0.5  
 'SP23' 204013 204024 'DLG9' 18401 726 \$ 'W9' HEIGHT 1. PERIOD 13. DEPTH 43.15 -  
 'SP25' 204014 204025 'DLG11' 204040 747 \$ DIRECTION 0. OCCURRENCES 1000. FROM -6.5 TO  
 'SP27' 204015 204026 'DLG22' 725 204041 6.5 INCR 0.5  
 'SP29' 204016 204027 'DLG10' 726 204040 \$ 'W10' HEIGHT 1. PERIOD 13.5 DEPTH 43.15 -  
 'SP31' 204023 204017 'DLG3' 748 18403 \$ DIRECTION 0. OCCURRENCES 1000. FROM -6.75 TO  
 'SP32' 204017 204028 'DLG8' 749 18401 \$ 'W11' HEIGHT 1. PERIOD 14. DEPTH 43.15 -  
 'SP33' 20408 204029 'DLG15' 752 18404 \$ DIRECTION 0. OCCURRENCES 1000. FROM -7. TO 7.  
 'SP35' 204030 20404 'DLG20' 753 18402 INCR 0.5  
 'SP36' 204030 204031 'DLG26' 2140165 746 \$ 'W12' HEIGHT 1. PERIOD 14.5 DEPTH 43.15 -  
 'SP37' 204018 20402 'DLG25' 2140172 750 \$ DIRECTION 0. OCCURRENCES 1000. FROM -7.25 TO  
 'SP38' 204031 204032 'DLG6' 17406 129 7.25 INCR 0.5  
 'SP39' 204032 204033 'DLG1' 17408 131 \$ 'W13' HEIGHT 1. PERIOD 15. DEPTH 43.15 -  
 'SP40' 204033 204018 'DLG13' 17409 132 \$ DIRECTION 0. OCCURRENCES 1000. FROM -7.5 TO  
 'SP41' 204034 204012 'DLG18' 17407 130 7.5 INCR 0.5  
 'SP42' 20406 204033 'DLG2' 131 748 \$ 'W14' HEIGHT 1. PERIOD 16. DEPTH 43.15 -  
 'SP43' 204012 204032 'DLG7' 129 749 \$ DIRECTION 0. OCCURRENCES 1000. FROM -7.75 TO  
 'SP44' 204032 204036 'DLG14' 132 752 7.75 INCR 0.5  
 'SP46' 204031 204035 'DLG19' 130 753 \$ FINIS  
 'SP47' 204037 20405 'DLG5' 746 21408  
 'SP48' 204037 204038 'DLG12' 747 21407  
 'SP49' 204038 204043 'DLG17' 750 21406  
 'SP50' 204038 204041 'DLG24' 751 21405  
 'SP51' 204041 204030 'TR5' 132 184087  
 'SP52' 204041 204042 'TR6' 184087 131  
 'SP53' 204039 204040 'TR7' 130 184094  
 'SP54' 204042 204040 'TR8' 184094 129  
 'SP55' 204043 204039 'TR13' 18404 214053  
 'SP69' 204044 204045 'TR14' 214053 18403  
 'SP70' 204048 204049 'TR15' 18402 214054  
 'SP71' 204044 204047 'TR16' 214054 18401  
 'SP72' 204047 204049 'TR4' 130 184050  
 'SP73' 204045 204046 'TR3' 184050 132  
 'SP74' 204046 204048 'TR12' 18402 214081  
 'JDT5' 173501 174010 'TR11' 214081 18404  
 'JDT6' 172501 174011 'TR1' 131 184062  
 'JDT7' 174012 171501 'TR2' 184062 129  
 'JDT8' 171501 174013 'TR9' 18403 214080

Catatan :

Lampiran A ini hanya sebagai contoh input permodelan dan pembebanan struktur dengan menggunakan *software* GT-Strudl pada arah  $0^\circ$ . Dengan cara yang sama, perhitungan ini dilakukan untuk arah gelombang yang lain sesuai dengan parameter yang ada.

**LAMPIRAN B**

**OUTPUT PERIODE NATURAL DARI SODTWARE GT-STRUCL**

# OUTPUT PERIODE NATURAL DARI SOFTWARE GT-STRU\_DL

## Commercial Software Rights Legend

Any use, duplication or disclosure of this software by or for the U.S. Government shall be restricted to the terms of a license agreement in accordance with the clause at DFARS 227.7202-3.

This computer software is an unpublished work containing valuable trade secrets owned by the Georgia Tech Research Corporation (GTRC). No access, use, transfer, duplication or disclosure thereof may be made except under a license agreement executed by GTRC or its authorized representatives and no right, title or interest thereto is conveyed or granted herein, notwithstanding receipt or possession hereof. Decompilation of the object code is strictly prohibited.

Georgia Tech Research Corporation  
Georgia Institute of Technology  
Atlanta, Georgia 30332 U.S.A.

Copyright (c) 2003 GTRC  
ALL RIGHTS RESERVED.

# Mon Jan 3 19:22:22 2005

1GTICES/C-NP 2.5.0 MD-NT 2.0, January 1995.  
Proprietary to Georgia Tech Research Corporation, U.S.A.

Reading password file C:\Program Files\GTStrudl\27\password27.pwd  
CI-i-audfile, Command AUDIT file FILE1922.aud has been activated.

\*\*\* G T S T R U D L \*\*\*

RELEASE DATE	VERSION	COMPLETION NO.
June, 2003	27.0	4449

**** ACTIVE UNITS -	LENGTH	WEIGHT	ANGLE	TEMPERATURE	TIME
**** ASSUMED TO BE	INCH	POUND	RADIAN	FAHRENHEIT	SECOND

```
{1      } > $ -----
{2      } > $ This is the Common Startup Macro; put your company-wide startup commands here.
{3      } > $ You can edit this file from Tools -- Macros. Click "Startup" and then "Edit".
{4      } > $ -----
{5      } > RESTORE 'E:\APN_A\NEW FILE\MBULET_FORM LOAD_A.gts'
DAM-i-filrest, Sub-system 27.0      restored from file E:\APN_A\NEW
FILE\SISMIK\100\MAX\MBULET_FORM LOAD_A.gts.
```

\*\*\* G T S T R U D L \*\*\*

RELEASE DATE	VERSION	COMPLETION NO.
June, 2003	27.0	4449

\*\*\*\* INFORMATION -- Saved GTSTRU\_DL version: 27.0  
Restored under GTSTRU\_DL version: 27.0

-----  
\*\*\*\* CURRENT GTSTRU\_DL PROBLEM STATISTICS \*\*\*\*

ACTIVE UNITS: INCH KIP DEG DEGF SEC

INPUT MODE: ADDITIONS SCAN MODE INITIATED: NO

CURRENT STRUCTURAL TYPE: SPACE FRAME

	JOINTS	MEMBERS	ELEMENTS	SUPERELEMENTS
ACTIVE	703	1184	0	0
INACTIVE	0	1	0	0

RIGID BODIES 0  
JOINT TIES 0

	LOADS:	INDEPENDENT	DEPENDENT
ACTIVE		1	0
INACTIVE		48	17

{6 } > OPEN USERDATA FILE 'E:\APN\_A\NEW FILE\YES.ds'

Opening specified User dataset E:\APN\_A\NEW FILE\SISMIK\100\MAX\YES.ds  
Deleting empty User dataset E:\APN\_A\NEW FILE\userdat200513192221600.ds

	UNITS FEET LBS SECONDS	MEMBER ADDED INERTIA WEIGHT
{7 }	'CA10 ' T Y Z UNI FR	1099.995 0.000 1.000
{8 }	'CA11 ' T Y Z UNI FR	1099.995 0.000 1.000
{9 }	'CA9 ' T Y Z UNI FR	1099.995 0.000 1.000
{10 }	'BRC7 ' T Y Z UNI FR	202.420 0.000 1.000
{11 }	'BRC13 ' T Y Z UNI FR	202.420 0.000 1.000
{12 }	'BRC8 ' T Y Z UNI FR	202.420 0.000 1.000
{13 }	'PLQ9 ' T Y Z UNI FR	1120.203 0.000 1.000
{14 }	'PLP9 ' T Y Z UNI FR	1120.203 0.000 1.000
{15 }	'PLR9 ' T Y Z UNI FR	1120.203 0.000 1.000
{16 }	'BRC2 ' T Y Z UNI FR	236.964 0.000 1.000
{17 }	'BRC1 ' T Y Z UNI FR	236.964 0.000 1.000
{18 }	'BRC3 ' T Y Z UNI FR	236.964 0.000 1.000
{19 }	'BRC4 ' T Y Z UNI FR	202.420 0.000 1.000
{20 }	'BRC10 ' T Y Z UNI FR	202.420 0.000 1.000
{21 }	'BRC5 ' T Y Z UNI FR	202.420 0.000 1.000
{22 }	'BRC11 ' T Y Z UNI FR	202.420 0.000 1.000
{23 }	'BRC9 ' T Y Z UNI FR	202.420 0.000 1.000
{24 }	'BRC6 ' T Y Z UNI FR	202.420 0.000 1.000
{25 }	'PLR11 ' T Y Z UNI FR	1120.203 0.000 1.000
{26 }	'FLO11 ' T Y Z UNI FR	1120.203 0.000 1.000
{27 }	'PLP11 ' T Y Z UNI FR	1120.203 0.000 1.000
{28 }	'CA6 ' T Y Z UNI FR	1099.995 0.000 1.000
{29 }	'RG1 ' T Y Z UNI FR	202.420 0.000 1.000
{30 }	'RG2 ' T Y Z UNI FR	202.420 0.000 1.000
{31 }	'RG3 ' T Y Z UNI FR	202.420 0.000 1.000
{32 }	'RG4 ' T Y Z UNI FR	202.420 0.000 1.000
{33 }	'RG8 ' T Y Z UNI FR	202.420 0.000 1.000
{34 }	'RG7 ' T Y Z UNI FR	202.420 0.000 1.000
{35 }	'RG6 ' T Y Z UNI FR	202.420 0.000 1.000
{36 }	'RG5 ' T Y Z UNI FR	202.420 0.000 1.000
{37 }	'RSD4 ' T Y Z UNI FR	315.866 0.000 1.000
{38 }	'RSD4 ' T Y Z UNI FR	315.866 0.000 1.000
{39 }	'RSC4 ' T Y Z UNI FR	315.866 0.000 1.000
{40 }	'RSB4 ' T Y Z UNI FR	315.866 0.000 1.000
{41 }	'RSA4 ' T Y Z UNI FR	315.866 0.000 1.000
{42 }	'RSD5 ' T Y Z UNI FR	315.866 0.000 1.000
{43 }	'RSC5 ' T Y Z UNI FR	315.866 0.000 1.000
{44 }	'RSB5 ' T Y Z UNI FR	315.866 0.000 1.000
{45 }	'RSA5 ' T Y Z UNI FR	315.866 0.000 1.000
{46 }	'CA5 ' T Y Z UNI FR	1099.995 0.000 1.000
{47 }	'PLQ6 ' T Y Z UNI FR	1061.660 0.000 1.000
{48 }	'PLP6 ' T Y Z UNI FR	1061.660 0.000 1.000
{49 }	'PLR6 ' T Y Z UNI FR	1061.660 0.000 1.000
{50 }	'BRQ3 ' T Y Z UNI FR	40.543 0.000 1.000
{51 }	'BRQ2 ' T Y Z UNI FR	40.543 0.000 1.000
{52 }	'BRP4 ' T Y Z UNI FR	40.543 0.000 1.000
{53 }	'BRP2 ' T Y Z UNI FR	40.543 0.000 1.000
{54 }	'BRR1 ' T Y Z UNI FR	40.543 0.000 1.000
{55 }	'BRR4 ' T Y Z UNI FR	40.543 0.000 1.000
{56 }	'BRQ1 ' T Y Z UNI FR	40.543 0.000 1.000
{57 }	'BRQ4 ' T Y Z UNI FR	40.543 0.000 1.000
{58 }	'BRP1 ' T Y Z UNI FR	40.543 0.000 1.000
{59 }	'BRP3 ' T Y Z UNI FR	40.543 0.000 1.000
{60 }	'BRR3 ' T Y Z UNI FR	40.543 0.000 1.000
{61 }	'BRR2 ' T Y Z UNI FR	40.543 0.000 1.000
{62 }	'FLP10 ' T Y Z UNI FR	1120.203 0.000 1.000
{63 }	'PLR10 ' T Y Z UNI FR	1120.203 0.000 1.000

```

{66 } > 'PLQ10 ' T Y Z UNI FR 1120.203 0.000 1.000
{67 } > 'PLP8 ' T Y Z UNI FR 1081.510 0.000 1.000
{68 } > 'PLQ8 ' T Y Z UNI FR 1081.510 0.000 1.000
{69 } > 'PLR8 ' T Y Z UNI FR 1081.510 0.000 1.000
{70 } > 'PLP5 ' T Y Z UNI FR 1081.510 0.000 1.000
{71 } > 'PLQ5 ' T Y Z UNI FR 1081.510 0.000 1.000
{72 } > 'PLR5 ' T Y Z UNI FR 1081.510 0.000 1.000
{73 } > 'PLP7 ' T Y Z UNI FR 1061.660 0.000 1.000
{74 } > 'PLQ7 ' T Y Z UNI FR 1061.660 0.000 1.000
{75 } > 'PLR7 ' T Y Z UNI FR 1061.660 0.000 1.000
{76 } > 'PLP4 ' T Y Z UNI FR 1120.203 0.000 1.000
{77 } > 'PLQ4 ' T Y Z UNI FR 1120.203 0.000 1.000
{78 } > 'PLR4 ' T Y Z UNI FR 1120.203 0.000 1.000
{79 } > 'PLP3 ' T Y Z UNI FR 1120.203 0.000 1.000
{80 } > 'PLQ3 ' T Y Z UNI FR 1120.203 0.000 1.000
{81 } > 'PLR3 ' T Y Z UNI FR 1120.203 0.000 1.000
{82 } > 'PLP2 ' T Y Z UNI FR 1120.203 0.000 1.000
{83 } > 'PLQ2 ' T Y Z UNI FR 1120.203 0.000 1.000
{84 } > 'PLR2 ' T Y Z UNI FR 1120.203 0.000 1.000
{85 } > 'PLP1 ' T Y Z UNI FR 1120.203 0.000 1.000
{86 } > 'PLR1 ' T Y Z UNI FR 1120.203 0.000 1.000
{87 } > 'PLQ1 ' T Y Z UNI FR 1120.203 0.000 1.000
{88 } > 'CA8 ' T Y Z UNI FR 1099.995 0.000 1.000
{89 } > 'CA12 ' T Y Z UNI FR 1099.995 0.262 1.000
{90 } > 'CA7 ' T Y Z UNI FR 1099.995 0.000 1.000
{91 } > 'RSA6 ' T Y Z UNI FR 315.866 0.000 1.000
{92 } > 'RSB6 ' T Y Z UNI FR 315.866 0.000 1.000
{93 } > 'RSC6 ' T Y Z UNI FR 315.866 0.000 1.000
{94 } > 'RSD6 ' T Y Z UNI FR 315.866 0.000 1.000
{95 } > 'PLQ12 ' T Y Z UNI FR 315.866 0.000 1.000
{96 } > 'PLP12 ' T Y Z UNI FR 315.866 0.000 1.000
{97 } > 'PLR12 ' T Y Z UNI FR 315.866 0.000 1.000
{98 } > LOAD LIST 100
{99 } >
{100 } > EIGENVALUE PARAMETERS
{101 } > SOLVE USING GTLANCZOS
{102 } > NUMBER OF MODES 10
{103 } > PRINT MAXIMUM
{104 } > INITIAL STRESS LOADING OFF
{105 } > END EIGENVALUE PARAMETERS
{106 } > DYNAMIC ANALYSIS EIGENVALUES

```

BANDWIDTH INFORMATION BEFORE RENUMBERING.

```

THE MAXIMUM BANDWIDTH IS      632 AND OCCURS AT JOINT 2140259
THE AVERAGE BANDWIDTH IS      110.884
THE STANDARD DEVIATION OF THE BANDWIDTH IS    189.187
-----  

300.071  

=====
```

BANDWIDTH INFORMATION AFTER RENUMBERING.

```

THE MAXIMUM BANDWIDTH IS      87 AND OCCURS AT JOINT 2140241
THE AVERAGE BANDWIDTH IS      36.366
THE STANDARD DEVIATION OF THE BANDWIDTH IS    26.673
-----  

63.040  

=====
```

TIME FOR CONSISTENCY CHECKS FOR	1184 MEMBERS	0.02 SECONDS
TIME FOR BANDWIDTH REDUCTION		0.02 SECONDS
TIME TO GENERATE	1184 ELEMENT STIF. MATRICES	6.57 SECONDS
TIME TO PROCESS	16 MEMBER RELEASES	0.00 SECONDS
TIME TO ASSEMBLE THE STIFFNESS MATRIX		0.12 SECONDS
TIME TO PROCESS	703 JOINTS	0.03 SECONDS
TIME TO GENERATE REDUCED STIFFNESS MATRIX		0.27 SECONDS
TIME TO ASSEMBLE LUMPED MASS MATRIX		0.01 SECONDS

```
*****
* GT/LANCS SOLUTION DATA *
```

```
*****
NUMBER OF DYNAMIC DEGREES-OF-FREEDOM = 4176
NUMBER OF MODES REQUESTED = 10
EIGENVALUE TOLERANCE = 1.00000E-06
NUMBER OF TERMS IN SKYLINE = 920244
AVERAGE COLUMN HEIGHT OF SKYLINE = 220
RANK OF MASS MATRIX = 4176
OUT-OF-CORE EQUATION SOLVER USED ( 8 BLOCKS)
NUMBER OF LANCZOS VECTORS COMPUTED = 26
```

```
*****
* END OF GT/LANCZOS SOLUTION DATA *
*****
```

TIME TO SOLVE EIGENPROBLEM	11.31 SECONDS
TIME TO TRANSFORM EIGENVECTORS TO JOINTS	0.16 SECONDS

```
*****
* EIGEN-SOLUTION CHECKS *
*****
```

\*\*\*\* STRUDL MESSAGE - STURM SEQUENCE CHECK WAS SUCCESSFUL - THERE ARE NO MISSING MODES

MODE-----	EIGENVALUE-----	FREQUENCY-----	FREQUENCY-----	PERIOD-----	ESTIMATED---/
	((RAD/SEC)**2)	(RAD/SEC)	(CYC/SEC)	(SEC/CYC)	ACCURACY
1	3.077000D+00	1.754138D+00	2.791797D-01	3.581922D+00	1.411693D-09
2	3.578498D+00	1.891692D+00	3.010721D-01	3.321463D+00	1.105976D-09
3	5.383795D+00	2.320301D+00	3.692873D-01	2.707919D+00	7.380849D-10
4	2.878072D+01	5.364767D+00	8.538292D-01	1.171194D+00	2.209798D-13
5	2.896433D+01	5.381852D+00	8.565483D-01	1.167476D+00	2.049191D-13
6	4.640362D+01	6.812020D+00	1.084167D+00	9.223674D-01	2.463707D-05
7	4.682107D+01	6.842592D+00	1.089032D+00	9.182464D-01	3.849911D-03
8	4.682992D+01	6.843239D+00	1.089135D+00	9.181596D-01	2.853830D-02
9	5.617743D+01	7.495160D+00	1.192892D+00	8.382990D-01	2.409069D-03
10	5.699265D+01	7.549347D+00	1.201516D+00	8.322819D-01	2.546839D-03

**LAMPIRAN C**

**OUTPUT RESPON TEGANGAN DARI SOFTWARE GT-STRUCL**

## OUTPUT RESPON TEGANGAN DARI SOFTWARE GT-STRUDL

Commercial Software Rights Legend

Any use, duplication or disclosure of this software by or for the U.S. Government shall be restricted to the terms of a license agreement in accordance with the clause at DFARS 227.7202-3.

This computer software is an unpublished work containing valuable trade secrets owned by the Georgia Tech Research Corporation (GTRC). No access, use, transfer, duplication or disclosure thereof may be made except under a license agreement executed by GTRC or its authorized representatives and no right, title or interest thereto is conveyed or granted herein, notwithstanding receipt or possession hereof. Decompilation of the object code is strictly prohibited.

Georgia Tech Research Corporation  
Georgia Institute of Technology  
Atlanta, Georgia 30332 U.S.A.

Copyright (c) 2003 GTRC  
ALL RIGHTS RESERVED.

# Wed Sep 29 10:20:50 2004

Version 2.5.0 and 2.0, January 1995.  
Proprietary to Georgia Tech Research Corporation, U.S.A.

Reading password file C:\Program Files\GTStrudl\27\password27.pwd  
CI-i-audfile, Command AUDIT file FILE1020.aud has been activated.

\*\*\* G T S T R U D L \*\*\*  
RELEASE DATE                   VERSION                   COMPLETION NO.  
June, 2003                   27.0                   4449  
  
\*\*\*\* ACTIVE UNITS - LENGTH   WEIGHT   ANGLE   TEMPERATURE   TIME  
\*\*\*\* ASSUMED TO BE           INCH     POUND   RADIAN   FAHRENHEIT   SECOND

```
| 1) > $-----  
| 2) > $ This is the Common Startup Macro; put your company-wide startup commands here.  
| 3) > $ You can edit this file from Tools -- Macros. Click "Startup" and then "Edit".  
| 4) > $-----  
| 5) > CINPUT 'E:\RIDLOUDDIN\APN\FATIGUE 3\spectra\bwh.gti'  
| 6) > STRUDL ''
```

\*\*\*\*\* CURRENT GTSTRUDL PROBLEM STATISTICS \*\*\*\*\*

ACTIVE UNITS: M KN DEG DEGF SEC

ACTIVE	JOINTS	MEMBERS	ELEMENTS	SUPERELEMENTS
	194	321	0	0

RIGID BODIES 0

	LOADS:	INDEPENDENT	DEPENDENT
ACTIVE	46	17	2
INACTIVE	2	2	2

( 1201) > READ WAVE LOADS FOR FATIGUE FROM FILE 'DIR-0.LDS' ALL

\*\*\*\* INFO\_RWL0IL -- THE FOLLOWING INDEPENDENT LOADS HAVE BEEN FOUND:  
W1 0001 W1 0002 W1 0003 W1 0004 W1 0005  
W1 0006 W2 0007 W2 0008 W2 0009 W2 0010  
W2 0011 W2 0012 W2 0013 W3 0014 W3 0015  
W3 0016 W3 0017 W3 0018 W3 0019 W3 0020  
W3 0021 W4 0022 W4 0023 W4 0024 W4 0025  
W4 0026 W4 0027 W4 0028 W4 0029 W4 0030  
W5 0031 W5 0032 W5 0033 W5 0034 W5 0035  
W5 0036 W5 0037 W5 0038 W5 0039 W5 0040  
W5 0041 W6 0042 W6 0043 W6 0044 W6 0045  
W6 0046 W6 0047 W6 0048 W6 0049 W6 0050  
W6 0051 W6 0052 W6 0053 W6 0054 W7 0055  
W7 0056 W7 0057 W7 0058 W7 0059 W7 0060  
W7 0061 W7 0062 W7 0063 W7 0064 W7 0065  
W7 0066 W7 0067 W7 0068 W7 0069 W7 0070  
W7 0071 W8 0072 W8 0073 W8 0074 W8 0075  
W8 0076 W8 0077 W8 0078 W8 0079 W8 0080  
W8 0081 W8 0082 W8 0083 W8 0084 W8 0085  
W8 0086 W8 0087 W8 0088 W8 0089 W8 0090  
W8 0091 W8 0092 W8 0093 W8 0094 W8 0095  
W8 0096 W8 0097 W9 0098 W9 0099 W9 0100  
W9 0101 W9 0102 W9 0103 W9 0104 W9 0105  
W9 0106 W9 0107 W9 0108 W9 0109 W9 0110  
W9 0111 W9 0112 W9 0113 W9 0114 W9 0115  
W9 0116 W9 0117 W9 0118 W9 0119 W9 0120  
W9 0121 W9 0122 W9 0123 W9 0124 W10 0125  
W10 0126 W10 0127 W10 0128 W10 0129 W10 0130  
W10 0131 W10 0132 W10 0133 W10 0134 W10 0135  
W10 0136 W10 0137 W10 0138 W10 0139 W10 0140  
W10 0141 W10 0142 W10 0143 W10 0144 W10 0145  
W10 0146 W10 0147 W10 0148 W10 0149 W10 0150  
W10 0151 W10 0152 W11 0153 W11 0154 W11 0155  
W11 0156 W11 0157 W11 0158 W11 0159 W11 0160  
W11 0161 W11 0162 W11 0163 W11 0164 W11 0165  
W11 0166 W11 0167 W11 0168 W11 0169 W11 0170  
W11 0171 W11 0172 W11 0173 W11 0174 W11 0175  
W11 0176 W11 0177 W11 0178 W11 0179 W11 0180  
W11 0181 W12 0182 W12 0183 W12 0184 W12 0185  
W12 0186 W12 0187 W12 0188 W12 0189 W12 0190  
W12 0191 W12 0192 W12 0193 W12 0194 W12 0195  
W12 0196 W12 0197 W12 0198 W12 0199 W12 0200  
W12 0201 W12 0202 W12 0203 W12 0204 W12 0205  
W12 0206 W12 0207 W12 0208 W12 0209 W12 0210  
W12 0211 W13 0212 W13 0213 W13 0214 W13 0215  
W13 0216 W13 0217 W13 0218 W13 0219 W13 0220  
W13 0221 W13 0222 W13 0223 W13 0224 W13 0225  
W13 0226 W13 0227 W13 0228 W13 0229 W13 0230  
W13 0231 W13 0232 W13 0233 W13 0234 W13 0235  
W13 0236 W13 0237 W13 0238 W13 0239 W13 0240  
W13 0241 W13 0242

\*\*\*\* INFO\_RWL0IL -- TIME TO READ WAVELOADS FILE = 39.69 SECONDS

( 12021) > PRINT FATIGUE WAVE PASSAGE DEFS

\*\*\*\*\*  
\*RESULTS OF LATEST ANALYSIS\*  
\*\*\*\*\*

PROBLEM = TITLE - NONE GIVEN

ACTIVE UNITS M KN DEG DEGF SEC

/--  
WAVE PASSAGE DEFINITIONS, DIRECTION = 0.00  
/--

HEIGHT = 1.000 PERIOD = 2.778 OCCURRENCES = 1000  
LOAD IDENTIFIERS: W1 0001 W1 0002 W1 0003 W1 0004 W1 0005  
W1 0006  
FRACTIONS OF PERIOD: -0.500000 -0.320014 -0.140029 0.039957 0.219942  
0.399928  
/-----/  
HEIGHT = 1.000 PERIOD = 3.125 OCCURRENCES = 1000  
LOAD IDENTIFIERS: W2 0007 W2 0008 W2 0009 W2 0010 W2 0011  
W2 0012 W2 0013  
FRACTIONS OF PERIOD: -0.500160 -0.340160 -0.180160 -0.020160 0.139840  
0.299840 0.459840  
/-----/

HEIGHT = 1.000 PERIOD = 3.570 OCCURRENCES = 1000  
 LOAD IDENTIFIERS: W3 0014 W3 0015 W3 0016 W3 0017 W3 0018  
 FRACTIONS OF PERIOD:  
 -0.500000 -0.359944 -0.219888 -0.079832 0.060224  
 0.200280 0.340336 0.480392  
 /-----/  
 HEIGHT = 1.000 PERIOD = 4.160 OCCURRENCES = 1000  
 LOAD IDENTIFIERS: W4 0022 W4 0023 W4 0024 W4 0025 W4 0026  
 FRACTIONS OF PERIOD:  
 -0.500000 -0.379808 -0.259615 -0.139423 -0.019231  
 0.100962 0.221154 0.341346 0.461538  
 /-----/  
 HEIGHT = 1.000 PERIOD = 5.000 OCCURRENCES = 1000  
 LOAD IDENTIFIERS: W5 0031 W5 0032 W5 0033 W5 0034 W5 0035  
 W5 0036 W5 0037 W5 0038 W5 0039 W5 0040  
 FRACTIONS OF PERIOD:  
 -0.500000 -0.400000 -0.300000 -0.200000 -0.100000  
 0.000000 0.100000 0.200000 0.300000 0.400000  
 0.500000  
 /-----/  
 HEIGHT = 1.000 PERIOD = 6.250 OCCURRENCES = 1000  
 LOAD IDENTIFIERS: W6 0042 W6 0043 W6 0044 W6 0045 W6 0046  
 W6 0047 W6 0048 W6 0049 W6 0050 W6 0051  
 FRACTIONS OF PERIOD:  
 -0.500000 -0.420000 -0.340000 -0.260000 -0.180000  
 -0.100000 -0.020000 0.060000 0.140000 0.220000  
 0.300000 0.380000 0.460000  
 /-----/  
 HEIGHT = 1.000 PERIOD = 8.330 OCCURRENCES = 1000  
 LOAD IDENTIFIERS: W7 0055 W7 0056 W7 0057 W7 0058 W7 0059  
 W7 0060 W7 0061 W7 0062 W7 0063 W7 0064  
 W7 0065 W7 0066 W7 0067 W7 0068 W7 0069  
 FRACTIONS OF PERIOD:  
 -0.500000 -0.439976 -0.379952 -0.319928 -0.259904  
 -0.199880 -0.139856 -0.079832 -0.019808 0.040216  
 0.100240 0.160264 0.220288 0.280312 0.340336  
 /-----/  
 HEIGHT = 1.000 PERIOD = 12.500 OCCURRENCES = 1000  
 LOAD IDENTIFIERS: W8 0072 W8 0073 W8 0074 W8 0075 W8 0076  
 W8 0077 W8 0078 W8 0079 W8 0080 W8 0081  
 W8 0082 W8 0083 W8 0084 W8 0085 W8 0086  
 W8 0087 W8 0088 W8 0089 W8 0090 W8 0091  
 W8 0092 W8 0093 W8 0094 W8 0095 W8 0096  
 W8 0097  
 FRACTIONS OF PERIOD:  
 -0.500000 -0.460000 -0.420000 -0.380000 -0.340000  
 -0.300000 -0.260000 -0.220000 -0.180000 -0.140000  
 -0.100000 -0.060000 -0.020000 0.020000 0.060000  
 0.100000 0.140000 0.180000 0.220000 0.260000  
 0.300000 0.340000 0.380000 0.420000 0.460000  
 0.500000  
 /-----/  
 HEIGHT = 1.000 PERIOD = 13.000 OCCURRENCES = 1000  
 LOAD IDENTIFIERS: W9 0098 W9 0099 W9 0100 W9 0101 W9 0102  
 W9 0103 W9 0104 W9 0105 W9 0106 W9 0107  
 W9 0108 W9 0109 W9 0110 W9 0111 W9 0112  
 W9 0113 W9 0114 W9 0115 W9 0116 W9 0117  
 W9 0118 W9 0119 W9 0120 W9 0121 W9 0122  
 W9 0123 W9 0124  
 FRACTIONS OF PERIOD:  
 -0.500000 -0.461538 -0.423077 -0.384615 -0.346154  
 -0.307692 -0.269231 -0.230769 -0.192308 -0.153846  
 -0.115385 -0.076923 -0.038462 0.000000 0.038462  
 0.076923 0.115385 0.153846 0.192308 0.230769  
 0.269231 0.307692 0.346154 0.384615 0.423077  
 0.461538 0.500000  
 /-----/  
 HEIGHT = 1.000 PERIOD = 13.500 OCCURRENCES = 1000  
 LOAD IDENTIFIERS: W10 0125 W10 0126 W10 0127 W10 0128 W10 0129  
 W10 0130 W10 0131 W10 0132 W10 0133 W10 0134  
 W10 0135 W10 0136 W10 0137 W10 0138 W10 0139  
 W10 0140 W10 0141 W10 0142 W10 0143 W10 0144

	W10 0145	W10 0146	W10 0147	W10 0148	W10 0149
FRACTIONS OF PERIOD:	W10 0150	W10 0151	W10 0152		
	-0.500000	-0.462963	-0.425926	-0.388889	-0.351852
	-0.314815	-0.277778	-0.240741	-0.203704	-0.166667
	-0.129630	-0.092593	-0.055556	-0.018519	0.018519
	0.055556	0.092593	0.129630	0.166667	0.203704
	0.240741	0.277778	0.314815	0.351852	0.388889
	0.425926	0.462963	0.500000		
	-----/				
HEIGHT =	1.000	PERIOD =	14.000	OCCURRENCES =	1000
LOAD IDENTIFIERS:	W11 0153	W11 0154	W11 0155	W11 0156	W11 0157
	W11 0158	W11 0159	W11 0160	W11 0161	W11 0162
	W11 0163	W11 0164	W11 0165	W11 0166	W11 0167
	W11 0168	W11 0169	W11 0170	W11 0171	W11 0172
	W11 0173	W11 0174	W11 0175	W11 0176	W11 0177
	W11 0178	W11 0179	W11 0180	W11 0181	
FRACTIONS OF PERIOD:					
	-0.500000	-0.464286	-0.428571	-0.392857	-0.357143
	-0.321429	-0.285714	-0.250000	-0.214286	-0.178571
	-0.142857	-0.107143	-0.071429	-0.035714	0.000000
	0.035714	0.071429	0.107143	0.142857	0.178571
	0.214286	0.250000	0.285714	0.321429	0.357143
	0.392857	0.428571	0.464286	0.500000	
	-----/				
HEIGHT =	1.000	PERIOD =	14.500	OCCURRENCES =	1000
LOAD IDENTIFIERS:	W12 0182	W12 0183	W12 0184	W12 0185	W12 0186
	W12 0187	W12 0188	W12 0189	W12 0190	W12 0191
	W12 0192	W12 0193	W12 0194	W12 0195	W12 0196
	W12 0197	W12 0198	W12 0199	W12 0200	W12 0201
	W12 0202	W12 0203	W12 0204	W12 0205	W12 0206
	W12 0207	W12 0208	W12 0209	W12 0210	W12 0211
FRACTIONS OF PERIOD:					
	-0.500000	-0.465517	-0.431034	-0.396552	-0.362069
	-0.327586	-0.293103	-0.258621	-0.224138	-0.189655
	-0.155172	-0.120690	-0.086207	-0.051724	-0.017241
	0.017241	0.051724	0.086207	0.120690	0.155172
	0.189655	0.224138	0.258621	0.293103	0.327586
	0.362069	0.396552	0.431034	0.465517	0.500000
	-----/				
HEIGHT =	1.000	PERIOD =	15.000	OCCURRENCES =	1000
LOAD IDENTIFIERS:	W13 0212	W13 0213	W13 0214	W13 0215	W13 0216
	W13 0217	W13 0218	W13 0219	W13 0220	W13 0221
	W13 0222	W13 0223	W13 0224	W13 0225	W13 0226
	W13 0227	W13 0228	W13 0229	W13 0230	W13 0231
	W13 0232	W13 0233	W13 0234	W13 0235	W13 0236
	W13 0237	W13 0238	W13 0239	W13 0240	W13 0241
	W13 0242				
FRACTIONS OF PERIOD:					
	-0.500000	-0.466667	-0.433333	-0.400000	-0.366667
	-0.333333	-0.300000	-0.266667	-0.233333	-0.200000
	-0.166667	-0.133333	-0.100000	-0.066667	-0.033333
	0.000000	0.033333	0.066667	0.100000	0.133333
	0.166667	0.200000	0.233333	0.266667	0.300000
	0.333333	0.366667	0.400000	0.433333	0.466667
	0.500000				

{ 1203) > STATUS SUPPORT -  
{ 1204) > '00101' '00201' '00301' 11502 12502 -  
{ 1205) >\_ 13502 14502  
{ 1206) >~ MATERIAL STEEL  
{ 1207) > ASSEMBLE FOR STATICS

BANDWIDTH INFORMATION BEFORE RENUMBERING.

THE MAXIMUM BANDWIDTH IS 158 AND OCCURS AT JOINT 680  
THE AVERAGE BANDWIDTH IS 29.829  
THE STANDARD DEVIATION OF THE BANDWIDTH IS 43.547

-----  
73.376  
=====

BANDWIDTH INFORMATION AFTER RENUMBERING.

THE MAXIMUM BANDWIDTH IS 39 AND OCCURS AT JOINT 101028  
THE AVERAGE BANDWIDTH IS 15.759  
THE STANDARD DEVIATION OF THE BANDWIDTH IS 13.410

-----  
29.169  
=====

```

TIME TO RECOMPUTE 1 SELF WEIGHT LOADING          0.02 SECONDS
TIME FOR CONSISTENCY CHECK FOR      321 MEMBERS    0.06 SECONDS
TIME FOR BANDWIDTH REDUCTION           0.05 SECONDS
TIME TO GENERATE      321 ELEMENT STIF. MATRICES 0.13 SECONDS
TIME TO PROCESS      8 MEMBER RELEASES        0.01 SECONDS
TIME TO PROCESS 262240 MEMBER LOADS       7.62 SECONDS
TIME TO ASSEMBLE THE STIFFNESS MATRIX     0.07 SECONDS
TIME TO PROCESS 194 JOINTS             0.04 SECONDS

**** STRUDL MESSAGE - STATIC MATRICES HAVE BEEN ASSEMBLED

( 1208) > SOLVE FOR FATIGUE

**** INFO_STFSLV -- STATIC MATRICES HAVE BEEN RESTORED FOR FATIGUE ANALYSIS
FROM THE LATEST STATIC ASSEMBLY.

TIME TO SOLVE WITH   32 PARTITIONS      1.28 SECONDS
TIME TO PROCESS 194 JOINT DISPLACEMENTS  0.01 SECONDS.

( 1209) > UNITS KIPS INCHES
( 1210) > STORE S/N DATA YIELD STRESS 30.0
( 1211) > 60.0 3977.0 50.0 8837.0 40.0 23485.0 30.0 82.8E3
( 1212) > 20.0 4.89E5 10.0 10.182E6 5.07 1.995E8 5.00 1.0E9
( 1213) > END S/N DATA

( 1214) > UNITS DEGREES
( 1215) > FATIGUE MEMBER DATA PIPE EQUAL 45.0 -
( 1216) > SCF VAR EQUATIONS KUANG SMEDEY MIN SCF 1.6
( 1217) > 'BRC1' 'BRC2' 'BRC3' 'BRC4' 'BRC5' 'BRC6' 'BRC9' 'BRC10' 'BRC11' -
( 1218) > 'CA5' 'CA6' 'CA7' 'CA9' 'CA10' 'PLR4' 'PLQ3' 'PLQ4' 'PLP1' -
( 1219) > 'PLP4' 'HPP1' 'HPP2' 'HPP3' 'HPP4' 'PLF6' 'PLP7' 'BRR1' 'BRR2' -
( 1220) > 'BRR3' 'BRR4' 'PLR6' 'PLR7' 'BRQ1' 'BRQ2' -
( 1221) > 'BRQ3' 'BRQ4'

( 1222) > UNITS INCHES
( 1223) > CHORD FOR FATIGUE ANALYSIS AUTOMATIC APIOCT84 CLASSIFICATION -
( 1224) > _JOINTS 16001 15001 90001 80001 110301 110201 110101 60101 -
( 1225) > _60201 60301 LOADS ALL LIST CHORD

( 1226) > UNITS KILOGRAMS METERS
( 1227) > COMPUTE FATIGUE STRESSES

**** INFO_STFCHK -- TIME TO PROCESS FATIGUE DATA CHECKS      0.71 SECONDS

( 1230) > LIST FATIGUE STRESSES

```

\*\*\*\*\*  
\*RESULTS OF LATEST ANALYSIS\*  
\*\*\*\*\*

PROBLEM - TITLE - NONE GIVEN

ACTIVE UNITS M KG DEG DEGF SEC

## ARAH 0°

STRESSES RESULTING FROM WAVE PASSAGE LOADINGS

MEMBER BRC2		POINT	1	DIRECTION	0.00				
WAVE HEIGHT	WAVE PERIOD	START	STRESS( ***VARIABLE SCFS*** )	STEADY	AMPLITUDE	END	STRESS( ***VARIABLE SCFS*** )	STEADY	AMPLITUDE
1.00	15.00	-161870.38	2161026.75			-22517.46	251951.69		
1.00	14.50	-158099.09	2195194.50			-24717.96	256270.17		
1.00	14.00	-154134.11	2221712.50			-26503.44	262043.25		
1.00	13.50	-150035.77	2238698.25			-28104.15	266064.97		
1.00	13.00	-146074.30	2244174.25			-29686.04	267630.31		
1.00	12.50	-378605.91	2000314.62			31244.84	204034.17		
1.00	8.33	-21286.48	2128814.25			-57718.27	502670.56		
1.00	6.25	-199595.05	2073848.75			11797.31	864785.94		
1.00	5.00	-149907.80	1809831.00			-14432.71	878824.69		
1.00	4.16	-164973.25	1867192.25			-29613.76	950864.12		
1.00	3.57	-13203.15	2033426.75			-265891.72	1195920.88		
1.00	3.12	441292.28	1571278.38			-515334.44	924956.25		
1.00	2.78	393223.28	1516065.38			-504993.25	889710.25		

### Catatan :

Output di atas hanya sebagai contoh output permodelan dan pembebanan struktur dengan menggunakan *software* GT-Strudl pada arah 0°. Dengan cara yang sama, perhitungan ini dilakukan untuk arah gelombang yang lain sesuai dengan parameter yang ada.

## ARAH 45°

STRESSES RESULTING FROM WAVE PASSAGE LOADINGS

MEMBER BRC2		POINT 1	DIRECTION 45.00			
WAVE HEIGHT	WAVE PERIOD		START STRESS( ***VARIABLE SCFS*** )	END STRESS( ***VARIABLE SCFS*** )	STEADY	AMPLITUDE
1.00	15.00		-154509.69	3122376.25	-29870.81	124108.74
1.00	14.50		-156999.09	3156880.75	-30663.73	150829.00
1.00	14.00		-149856.31	3185755.50	-31187.31	181175.81
1.00	13.50		-137078.50	3201134.50	-33082.66	216827.34
1.00	13.00		-134377.97	3183414.25	-27929.41	249162.53
1.00	12.50		-515056.44	2755632.25	106173.00	479359.88
1.00	8.33		106124.12	2362998.75	-31456.60	414412.19
1.00	6.25		-309854.59	2039938.38	33614.13	364757.12
1.00	5.00		-237112.98	1193734.38	8967.00	247127.44
1.00	4.16		-207238.92	1007492.44	-37752.18	307843.88
1.00	3.57		-165894.44	1014286.25	-168825.44	623485.81
1.00	3.12		363776.09	439640.16	-516400.03	249699.75
1.00	2.78		347697.53	424056.56	-529275.88	219653.09

## ARAH 90°

STRESSES RESULTING FROM WAVE PASSAGE LOADINGS

MEMBER BRC2		POINT 5	DIRECTION 90.00			
WAVE HEIGHT	WAVE PERIOD		START STRESS( ***VARIABLE SCFS*** )	END STRESS( ***VARIABLE SCFS*** )	STEADY	AMPLITUDE
1.00	15.00		42365.78	3010697.25	285835.41	155268.55
1.00	14.50		37067.53	3042139.00	287867.47	183731.19
1.00	14.00		31404.01	3060685.00	280763.81	207830.05
1.00	13.50		25753.53	3063391.75	272951.25	233695.30
1.00	13.00		25369.55	3052521.25	267176.28	263306.69
1.00	12.50		342229.28	2709131.50	208177.98	462183.84
1.00	8.33		-88289.48	2261182.25	329387.12	245628.55
1.00	6.25		133856.50	2215021.00	268258.84	375384.78
1.00	5.00		98107.57	1633425.62	262536.09	364713.50
1.00	4.16		39797.84	1460601.12	301475.41	341469.25
1.00	3.57		480815.97	1007142.00	178573.86	329670.88
1.00	3.12		472015.66	1002052.75	-182680.41	308986.16
1.00	2.78		555436.50	918337.38	-173284.33	284071.22

## ARAH 135°

STRESSES RESULTING FROM WAVE PASSAGE LOADINGS

MEMBER BRC2		POINT 5	DIRECTION 135.00			
WAVE HEIGHT	WAVE PERIOD		START STRESS( ***VARIABLE SCFS*** )	END STRESS( ***VARIABLE SCFS*** )	STEADY	AMPLITUDE
1.00	15.00		56802.23	1498006.38	281251.94	213042.31
1.00	14.50		55239.46	1528149.62	281969.53	221596.36
1.00	14.00		53476.89	1555933.50	282797.91	229946.56
1.00	13.50		51650.30	150460.00	283747.53	239183.89
1.00	13.00		49864.99	1601094.50	284913.56	249107.00
1.00	12.50		138721.64	1526484.12	270638.19	242747.78
1.00	8.33		29198.33	1647573.50	299010.03	316552.78
1.00	6.25		52880.33	1878707.88	280331.91	576511.50
1.00	5.00		62116.87	1970324.88	276354.38	639403.06
1.00	4.16		40078.57	2056022.25	289508.72	648116.88
1.00	3.57		468836.44	1684855.75	47115.95	420176.28
1.00	3.12		556627.94	1771911.62	-185304.44	643080.69
1.00	2.78		580290.25	1714196.88	-186815.08	625324.12

## ARAH 180°

STRESSES RESULTING FROM WAVE PASSAGE LOADINGS

MEMBER BRC2		POINT 1	DIRECTION 180.00			
WAVE HEIGHT	WAVE PERIOD		START STRESS( ***VARIABLE SCFS*** )	END STRESS( ***VARIABLE SCFS*** )	STEADY	AMPLITUDE
1.00	15.00		-184981.20	2189572.75	-11336.75	286263.91
1.00	14.50		-187982.22	2223201.25	-10688.16	301741.09
1.00	14.00		-191316.05	2250430.75	-9154.79	317920.59
1.00	13.50		-194742.39	2269412.75	-7349.68	333657.81
1.00	13.00		-198066.61	2278619.25	-5237.21	348375.66
1.00	12.50		-23748.51	2098883.50	-21803.36	342420.03
1.00	8.33		-244240.41	1926223.00	24017.27	397145.34
1.00	6.25		-157933.55	2009309.38	-13749.55	844923.06

1.00	5.00	-154522.47	1863051.12	-18237.63	937988.25
1.00	4.16	-179477.41	1852968.00	-7316.66	939940.31
1.00	3.57	238103.31	1461763.50	-253343.28	711147.38
1.00	3.12	325390.53	1584533.25	-468712.56	932481.88
1.00	2.78	371073.19	1534272.50	-479411.03	897121.00

## ARAH 225°

STRESSES RESULTING FROM WAVE PASSAGE LOADINGS

MEMBER BRC2 POINT 1 DIRECTION 225.00

WAVE HEIGHT	WAVE PERIOD	START STRESS( ***VARIABLE SCFS*** )		END STRESS( ***VARIABLE SCFS*** )	
		STEADY	AMPLITUDE	STEADY	AMPLITUDE
1.00	15.00	-199541.67	3148380.50	-4316.37	175694.33
1.00	14.50	-205475.53	3173566.75	-2554.83	208193.58
1.00	14.00	-203732.45	3191476.75	-9866.71	234968.66
1.00	13.50	-204026.66	3200949.75	-10227.37	271936.50
1.00	13.00	-212312.09	3196093.50	-16388.35	306026.00
1.00	12.50	161028.69	2783165.25	-115375.58	528634.31
1.00	8.33	-368338.28	2267816.25	35326.52	343884.59
1.00	6.25	-184809.39	2001463.88	-32106.27	336821.22
1.00	5.00	-191746.58	1237414.88	-45518.25	342624.25
1.00	4.16	-234221.45	991385.69	-9115.10	286377.00
1.00	3.57	307789.03	391300.56	-256433.58	353661.38
1.00	3.12	354822.88	448425.09	-504966.09	264330.72
1.00	2.78	345744.53	434483.75	-508570.12	239558.97

## ARAH 270°

STRESSES RESULTING FROM WAVE PASSAGE LOADINGS

MEMBER BRC2 POINT 5 DIRECTION 270.00

WAVE HEIGHT	WAVE PERIOD	START STRESS( ***VARIABLE SCFS*** )		END STRESS( ***VARIABLE SCFS*** )	
		STEADY	AMPLITUDE	STEADY	AMPLITUDE
1.00	15.00	76755.09	2981454.00	266685.12	77080.95
1.00	14.50	82886.52	3023625.75	266067.25	100018.80
1.00	14.00	89406.91	3052329.75	265702.59	126059.52
1.00	13.50	96279.17	3064154.00	264620.94	157095.81
1.00	13.00	103168.95	3055472.25	269340.03	184644.95
1.00	12.50	-269079.66	2644153.25	382295.72	390794.59
1.00	8.33	323571.66	2447781.50	283365.09	357513.00
1.00	6.25	11365.58	2250885.25	327254.78	399320.91
1.00	5.00	92888.53	1568638.62	293981.66	294065.62
1.00	4.16	74894.08	1473871.88	267808.66	344119.59
1.00	3.57	92384.48	1475430.75	181086.44	737466.50
1.00	3.12	548443.69	1002405.38	-191140.81	312904.47
1.00	2.78	538143.44	985133.88	-195762.98	283206.25

## ARAH 315°

STRESSES RESULTING FROM WAVE PASSAGE LOADINGS

MEMBER BRC2 POINT 5 DIRECTION 315.00

WAVE HEIGHT	WAVE PERIOD	START STRESS( ***VARIABLE SCFS*** )		END STRESS( ***VARIABLE SCFS*** )	
		STEADY	AMPLITUDE	STEADY	AMPLITUDE
1.00	15.00	72748.44	1469021.75	275013.88	192734.22
1.00	14.50	74901.55	1498426.12	274472.62	196401.52
1.00	14.00	77158.20	1524678.62	273947.09	199315.20
1.00	13.50	79503.00	1546932.12	272767.94	202088.50
1.00	13.00	81775.19	1564272.25	271148.97	204519.95
1.00	12.50	-39292.12	1452815.12	315195.47	160827.05
1.00	8.33	139696.22	1756546.75	251463.44	368592.75
1.00	6.25	50815.75	1920842.25	295035.38	585619.19
1.00	5.00	82050.59	1940031.12	282003.41	605888.06
1.00	4.16	75282.61	2060772.62	276027.06	648053.44
1.00	3.57	209926.70	2233839.75	97004.47	966705.81
1.00	3.12	667641.50	1774627.62	-212938.27	637227.44
1.00	2.78	638345.31	1735192.38	-209766.39	623509.00

**LAMPIRAN D**  
**PERHITUNGAN RAO TEGANGAN STRUKTUR**

**PERHITUNGAN RAO TEGANGAN STRUKTUR**

$$\frac{\sigma}{\eta}$$

RUMUS :

dimana :  $\sigma$  = rentang tegangan ( $N/mm^2$ )  
 $\eta$  = amplitudo gelombang di atas MWL (m)

**Wave Direction: W (0 degree)**  
**JOINT ID: 110201**

NO	$\omega$ (rad/sec)	Stress, $\sigma$ (KG/m <sup>2</sup> )	$\eta$	$\sigma/\eta$ (N/mm <sup>2</sup> /m)
1	0.000	0.000E+00	1	0.000E+00
2	0.005	1.202E+01	1	1.179E-04
3	0.010	2.455E+01	1	2.409E-04
4	0.015	8.869E+01	1	8.700E-04
5	0.020	1.793E+02	1	1.759E-03
6	0.025	8.806E+02	1	8.638E-03
7	0.030	1.524E+03	1	1.495E-02
8	0.035	5.721E+03	1	5.612E-02
9	0.040	1.168E+04	1	1.146E-01
10	0.045	4.554E+04	1	4.468E-01
11	0.050	6.099E+04	1	5.983E-01
12	0.055	8.855E+04	1	8.687E-01
13	0.060	9.357E+04	1	9.179E-01
14	0.065	9.825E+04	1	9.638E-01
15	0.070	1.823E+05	1	1.789E+00
16	0.075	2.224E+05	1	2.181E+00
17	0.080	2.701E+05	1	2.649E+00
18	0.085	2.779E+05	1	2.726E+00
19	0.090	2.805E+05	1	2.752E+00
20	0.095	2.822E+05	1	2.769E+00
21	0.100	2.894E+05	1	2.839E+00
22	0.105	2.902E+05	1	2.847E+00
23	0.110	2.985E+05	1	2.928E+00
24	0.115	3.119E+05	1	3.059E+00
25	0.120	3.275E+05	1	3.213E+00
26	0.125	2.213E+05	1	2.171E+00
27	0.130	1.586E+05	1	1.555E+00
28	0.135	1.112E+05	1	1.091E+00
29	0.140	9.993E+04	1	9.803E-01
30	0.145	8.869E+04	1	8.701E-01
31	0.150	7.970E+04	1	7.818E-01
32	0.155	6.136E+04	1	6.019E-01
33	0.160	3.990E+04	1	3.915E-01
34	0.165	4.052E+04	1	3.975E-01
35	0.170	4.433E+04	1	4.348E-01
36	0.175	4.535E+04	1	4.449E-01
37	0.180	4.625E+04	1	4.537E-01
38	0.185	4.985E+04	1	4.890E-01

39	0.190	5.032E+04	1	4.937E-01
40	0.195	5.333E+04	1	5.232E-01
41	0.200	5.434E+04	1	5.331E-01
42	0.205	5.884E+04	1	5.772E-01
43	0.210	6.087E+04	1	5.972E-01
44	0.215	6.235E+04	1	6.117E-01
45	0.220	6.895E+04	1	6.764E-01
46	0.225	7.058E+04	1	6.924E-01
47	0.230	7.537E+04	1	7.394E-01
48	0.235	8.137E+04	1	7.982E-01
49	0.240	8.729E+04	1	8.564E-01
50	0.245	9.965E+04	1	9.776E-01
51	0.250	1.022E+05	1	1.003E+00
52	0.255	1.095E+05	1	1.074E+00
53	0.260	1.287E+05	1	1.262E+00
54	0.265	1.528E+05	1	1.499E+00
55	0.270	1.998E+05	1	1.960E+00
56	0.275	2.686E+05	1	2.635E+00
57	0.280	2.758E+05	1	2.706E+00
58	0.285	1.735E+05	1	1.702E+00
59	0.290	1.470E+05	1	1.442E+00
60	0.295	1.233E+05	1	1.210E+00
61	0.300	1.103E+05	1	1.082E+00
62	0.305	9.922E+04	1	9.733E-01
63	0.310	8.815E+04	1	8.648E-01
64	0.315	7.709E+04	1	7.562E-01
65	0.320	6.602E+04	1	6.477E-01
66	0.325	5.496E+04	1	5.392E-01
67	0.330	5.089E+04	1	4.993E-01
68	0.335	4.683E+04	1	4.594E-01
69	0.340	4.276E+04	1	4.195E-01
70	0.345	3.870E+04	1	3.796E-01
71	0.350	3.464E+04	1	3.398E-01
72	0.355	3.057E+04	1	2.999E-01
73	0.360	2.751E+04	1	2.698E-01
74	0.365	2.444E+04	1	2.398E-01
75	0.370	2.138E+04	1	2.097E-01
76	0.375	1.831E+04	1	1.796E-01
77	0.380	1.525E+04	1	1.496E-01
78	0.385	1.218E+04	1	1.195E-01

79	0.390	9.916E+03		9.728E-02
80	0.395	8.741E+03		8.575E-02
81	0.400	8.366E+03		8.207E-02
82	0.405	7.991E+03		7.839E-02
83	0.410	7.616E+03		7.471E-02
84	0.415	7.241E+03		7.103E-02
85	0.420	6.866E+03		6.735E-02
86	0.425	6.491E+03		6.367E-02
87	0.430	6.115E+03		5.999E-02
88	0.435	5.740E+03		5.631E-02
89	0.440	5.365E+03		5.263E-02
90	0.445	4.990E+03		4.895E-02
91	0.450	3.887E+03		3.813E-02
92	0.455	2.784E+03		2.731E-02
93	0.460	1.681E+03		1.649E-02
94	0.465	1.349E+03		1.323E-02
95	0.470	1.234E+03		1.211E-02
96	0.475	1.120E+03		1.099E-02
97	0.480	1.006E+03		9.870E-03
98	0.485	9.799E+02		9.613E-03
99	0.490	9.600E+02		9.418E-03
100	0.495	9.401E+02		9.222E-03
101	0.500	9.202E+02		9.027E-03
102	0.505	9.004E+02		8.832E-03
103	0.510	8.837E+02		8.669E-03
104	0.515	8.670E+02		8.505E-03
105	0.520	8.503E+02		8.342E-03
106	0.525	8.336E+02		8.178E-03
107	0.530	8.170E+02		8.014E-03
108	0.535	8.003E+02		7.851E-03
109	0.540	7.836E+02		7.687E-03
110	0.545	7.669E+02		7.523E-03
111	0.550	7.502E+02		7.360E-03
112	0.555	7.336E+02		7.196E-03
113	0.560	7.169E+02		7.032E-03
114	0.565	7.002E+02		6.869E-03
115	0.570	6.835E+02		6.705E-03
116	0.575	6.668E+02		6.542E-03
117	0.580	6.502E+02		6.378E-03
118	0.585	6.335E+02		6.214E-03
119	0.590	6.168E+02		6.051E-03
120	0.595	6.001E+02		5.887E-03
121	0.600	5.834E+02		5.723E-03
122	0.605	5.668E+02		5.560E-03
123	0.610	5.501E+02		5.396E-03
124	0.615	5.334E+02		5.233E-03
125	0.620	5.167E+02		5.069E-03
126	0.625	5.000E+02		4.905E-03
127	0.630	4.834E+02		4.742E-03
128	0.635	4.667E+02		4.578E-03
129	0.640	4.500E+02		4.414E-03
130	0.645	4.333E+02		4.251E-03
131	0.650	4.166E+02		4.087E-03
132	0.655	4.000E+02		3.924E-03
133	0.660	3.833E+02		3.760E-03
134	0.665	3.666E+02		3.596E-03
135	0.670	3.499E+02		3.433E-03

136	0.675	3.332E+02		3.269E-03
137	0.680	3.166E+02		3.105E-03
138	0.685	2.999E+02		2.942E-03
139	0.690	2.832E+02		2.778E-03
140	0.695	2.665E+02		2.614E-03
141	0.700	2.498E+02		2.451E-03
142	0.705	2.332E+02		2.287E-03
143	0.710	2.311E+02		2.267E-03
144	0.715	2.290E+02		2.246E-03
145	0.720	2.269E+02		2.226E-03
146	0.725	2.248E+02		2.206E-03
147	0.730	2.227E+02		2.185E-03
148	0.735	2.207E+02		2.165E-03
149	0.740	2.186E+02		2.144E-03
150	0.745	2.165E+02		2.124E-03
151	0.750	2.144E+02		2.104E-03
152	0.755	2.123E+02		2.083E-03
153	0.760	2.103E+02		2.063E-03
154	0.765	2.082E+02		2.042E-03
155	0.770	2.061E+02		2.022E-03
156	0.775	2.040E+02		2.002E-03
157	0.780	2.019E+02		1.981E-03
158	0.785	1.999E+02		1.961E-03
159	0.790	1.978E+02		1.940E-03
160	0.795	1.957E+02		1.920E-03
161	0.800	1.936E+02		1.900E-03
162	0.805	1.915E+02		1.879E-03
163	0.810	1.895E+02		1.859E-03
164	0.815	1.874E+02		1.838E-03
165	0.820	1.853E+02		1.818E-03
166	0.825	1.832E+02		1.797E-03
167	0.830	1.811E+02		1.777E-03
168	0.835	1.791E+02		1.757E-03
169	0.840	1.770E+02		1.736E-03
170	0.845	1.749E+02		1.716E-03
171	0.850	1.728E+02		1.695E-03
172	0.855	1.707E+02		1.675E-03
173	0.860	1.687E+02		1.655E-03
174	0.865	1.666E+02		1.634E-03
175	0.870	1.645E+02		1.614E-03
176	0.875	1.624E+02		1.593E-03
177	0.880	1.603E+02		1.573E-03
178	0.885	1.583E+02		1.553E-03
179	0.890	1.562E+02		1.532E-03
180	0.895	1.541E+02		1.512E-03
181	0.900	1.520E+02		1.491E-03
182	0.905	1.499E+02		1.471E-03
183	0.910	1.479E+02		1.451E-03
184	0.915	1.458E+02		1.430E-03
185	0.920	1.437E+02		1.410E-03
186	0.925	1.416E+02		1.389E-03
187	0.930	1.395E+02		1.369E-03
188	0.935	1.375E+02		1.349E-03
189	0.940	1.354E+02		1.328E-03
190	0.945	1.333E+02		1.308E-03
191	0.950	1.312E+02		1.287E-03
192	0.955	1.291E+02		1.267E-03

193	0.960	1.271E+02		1.247E-03
194	0.965	1.250E+02		1.226E-03
195	0.970	1.229E+02		1.206E-03
196	0.975	1.208E+02		1.185E-03
197	0.980	1.187E+02		1.165E-03
198	0.985	1.167E+02		1.145E-03
199	0.990	1.146E+02		1.124E-03
200	0.995	1.125E+02		1.104E-03
201	1.000	1.080E+02		1.059E-03
202	1.005	1.035E+02		1.015E-03
203	1.010	9.898E+01		9.710E-04
204	1.015	9.447E+01		9.268E-04
205	1.020	8.996E+01		8.825E-04
206	1.025	8.545E+01		8.383E-04
207	1.030	8.094E+01		7.940E-04
208	1.035	7.643E+01		7.498E-04
209	1.040	7.192E+01		7.055E-04
210	1.045	6.741E+01		6.613E-04
211	1.050	6.290E+01		6.170E-04
212	1.055	5.839E+01		5.728E-04
213	1.060	5.388E+01		5.286E-04
214	1.065	4.541E+01		4.455E-04
215	1.070	3.694E+01		3.624E-04
216	1.075	2.847E+01		2.793E-04
217	1.080	2.001E+01		1.963E-04
218	1.085	1.873E+01		1.837E-04
219	1.090	1.706E+01		1.673E-04
220	1.095	1.539E+01		1.510E-04
221	1.100	1.372E+01		1.346E-04
222	1.105	1.205E+01		1.182E-04
223	1.110	1.038E+01		1.018E-04
224	1.115	9.320E+00		9.143E-05
225	1.120	8.263E+00		8.106E-05
226	1.125	7.206E+00		7.070E-05
227	1.130	6.150E+00		6.033E-05
228	1.135	5.093E+00		4.996E-05
229	1.140	4.036E+00		3.959E-05
230	1.145	2.979E+00		2.923E-05
231	1.150	1.923E+00		1.886E-05
232	1.155	8.657E-01		8.493E-06
233	1.160	5.000E-01		4.905E-06
234	1.165	4.200E-01		4.120E-06
235	1.170	2.100E-01		2.060E-06
236	1.175	1.000E-01		9.810E-07
237	1.180	9.980E-02		9.790E-07
238	1.185	9.970E-02		9.781E-07
239	1.190	9.960E-02		9.771E-07
240	1.195	9.950E-02		9.761E-07
241	1.200	9.940E-02		9.751E-07
242	1.205	9.930E-02		9.741E-07
243	1.210	9.920E-02		9.732E-07
244	1.215	9.910E-02		9.722E-07
245	1.220	9.900E-02		9.712E-07
246	1.225	9.890E-02		9.702E-07
247	1.230	9.880E-02		9.692E-07
248	1.235	9.870E-02		9.682E-07
249	1.240	9.860E-02		9.673E-07

250	1.245	9.850E-02		9.663E-07
251	1.250	9.840E-02		9.653E-07
252	1.255	9.830E-02		9.643E-07
253	1.260	9.820E-02		9.633E-07
254	1.265	9.810E-02		9.624E-07
255	1.270	9.800E-02		9.614E-07
256	1.275	9.790E-02		9.604E-07
257	1.280	9.780E-02		9.594E-07
258	1.285	9.770E-02		9.584E-07
259	1.290	9.760E-02		9.575E-07
260	1.295	9.750E-02		9.565E-07
261	1.300	9.740E-02		9.555E-07
262	1.305	9.730E-02		9.545E-07
263	1.310	9.720E-02		9.535E-07
264	1.315	9.710E-02		9.526E-07
265	1.320	9.700E-02		9.516E-07
266	1.325	9.690E-02		9.506E-07
267	1.330	9.680E-02		9.496E-07
268	1.335	9.670E-02		9.486E-07
269	1.340	9.660E-02		9.476E-07
270	1.345	9.650E-02		9.467E-07
271	1.350	9.640E-02		9.457E-07
272	1.355	9.630E-02		9.447E-07
273	1.360	9.620E-02		9.437E-07
274	1.365	9.610E-02		9.427E-07
275	1.370	9.600E-02		9.418E-07
276	1.375	9.590E-02		9.408E-07
277	1.380	9.580E-02		9.398E-07
278	1.385	9.570E-02		9.388E-07
279	1.390	9.560E-02		9.378E-07
280	1.395	9.550E-02		9.369E-07
281	1.400	9.540E-02		9.359E-07
282	1.405	9.530E-02		9.349E-07
283	1.410	9.520E-02		9.339E-07
284	1.415	9.510E-02		9.329E-07
285	1.420	9.500E-02		9.319E-07
286	1.425	9.490E-02		9.310E-07
287	1.430	9.480E-02		9.300E-07
288	1.435	9.470E-02		9.290E-07
289	1.440	9.460E-02		9.280E-07
290	1.445	9.450E-02		9.270E-07
291	1.450	9.440E-02		9.261E-07
292	1.455	9.430E-02		9.251E-07
293	1.460	9.420E-02		9.241E-07
294	1.465	9.410E-02		9.231E-07
295	1.470	9.400E-02		9.221E-07
296	1.475	9.390E-02		9.212E-07
297	1.480	9.380E-02		9.202E-07
298	1.485	9.370E-02		9.192E-07
299	1.490	9.360E-02		9.182E-07
300	1.495	9.350E-02		9.172E-07
301	1.500	9.340E-02		9.163E-07

### **Catatan :**

Lampiran D ini hanya sebagai contoh perhitungan RAO tegangan struktur *Jacket Monotower* APN-A akibat eksitasi gelombang arah Barat. Dengan cara yang sama, perhitungan ini dilakukan untuk arah gelombang yang lain sesuai dengan parameter yang ada.

**LAMPIRAN E**  
**PERHITUNGAN SPEKTRA GELOMBANG P – M**

## PERHITUNGAN SPEKTRA GELOMBANG P - M

RUMUS :

$$S(\omega) = \frac{H_s^2}{4\pi T_z^4 \omega^5} \exp\left[-\frac{1}{\pi} (\omega T_z)^{-4}\right]$$

Hs = 1.25m

Tp = 5.5s

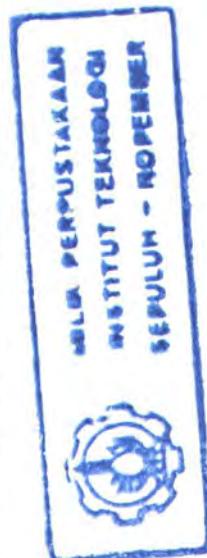
Tz = 0.714xTp  
3.927s

$\pi$  = 3.14

$\omega$	S( $\omega$ )
0	0
0.005	0
0.01	0
0.015	0
0.02	0
0.025	0
0.03	0
0.035	0
0.04	3.4E-224
0.045	4.2E-139
0.05	1.48E-90
0.055	2.89E-61
0.06	8.97E-43
0.065	1.18E-30
0.07	1.86E-22
0.075	9.17E-17
0.08	1.01E-12
0.085	8.52E-10
0.09	1.21E-07
0.095	4.89E-06
0.1	7.99E-05
0.105	0.000673
0.11	0.003462
0.115	0.012299
0.12	0.03296
0.125	0.071101
0.13	0.129595
0.135	0.206995
0.14	0.297879
0.145	0.394549
0.15	0.48902
0.155	0.574563
0.16	0.646492
0.165	0.702293
0.17	0.74133
0.175	0.764365

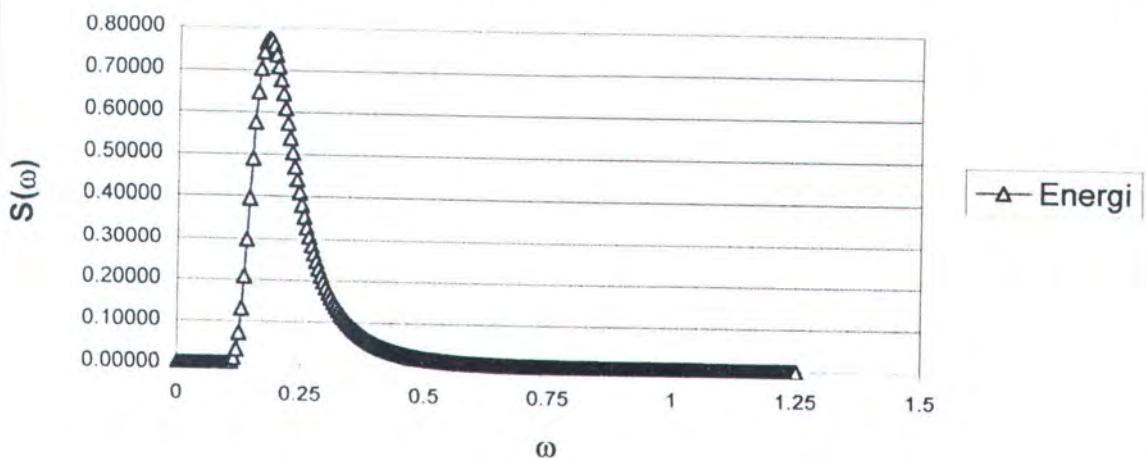
0.18	0.773054
0.185	0.769525
0.19	0.756049
0.195	0.734828
0.2	0.707861
0.205	0.676884
0.21	0.64335
0.215	0.608435
0.22	0.573067
0.225	0.53796
0.23	0.503642
0.235	0.470492
0.24	0.43877
0.245	0.408639
0.25	0.380191
0.255	0.353459
0.26	0.328437
0.265	0.305089
0.27	0.283356
0.275	0.263168
0.28	0.244443
0.285	0.227097
0.29	0.211042
0.295	0.196193
0.3	0.182465
0.305	0.169778
0.31	0.158053
0.315	0.147219
0.32	0.137206
0.325	0.12795
0.33	0.119392
0.335	0.111477
0.34	0.104153
0.345	0.097373
0.35	0.091094
0.355	0.085276
0.36	0.079882

0.365	0.074878	0.62	0.005658
0.37	0.070234	0.625	0.005437
0.375	0.065921	0.63	0.005226
0.38	0.061912	0.635	0.005025
0.385	0.058185	0.64	0.004833
0.39	0.054717	0.645	0.00465
0.395	0.051489	0.65	0.004475
0.4	0.048481	0.655	0.004307
0.405	0.045677	0.66	0.004148
0.41	0.043061	0.665	0.003995
0.415	0.04062	0.67	0.003849
0.42	0.03834	0.675	0.003709
0.425	0.036209	0.68	0.003575
0.43	0.034216	0.685	0.003447
0.435	0.032352	0.69	0.003325
0.44	0.030606	0.695	0.003208
0.445	0.02897	0.7	0.003095
0.45	0.027437	0.705	0.002987
0.455	0.025999	0.71	0.002884
0.46	0.02465	0.715	0.002785
0.465	0.023382	0.72	0.00269
0.47	0.022191	0.725	0.002599
0.475	0.021071	0.73	0.002511
0.48	0.020018	0.735	0.002427
0.485	0.019027	0.74	0.002347
0.49	0.018093	0.745	0.002269
0.495	0.017214	0.75	0.002195
0.5	0.016384	0.755	0.002124
0.505	0.015602	0.76	0.002055
0.51	0.014864	0.765	0.001989
0.515	0.014167	0.77	0.001925
0.52	0.013509	0.775	0.001864
0.525	0.012886	0.78	0.001805
0.53	0.012298	0.785	0.001749
0.535	0.011741	0.79	0.001694
0.54	0.011214	0.795	0.001642
0.545	0.010715	0.8	0.001591
0.55	0.010243	0.805	0.001542
0.555	0.009795	0.81	0.001496
0.56	0.00937	0.815	0.00145
0.565	0.008967	0.82	0.001407
0.57	0.008584	0.825	0.001365
0.575	0.008221	0.83	0.001324
0.58	0.007876	0.835	0.001285
0.585	0.007548	0.84	0.001247
0.59	0.007236	0.845	0.001211
0.595	0.00694	0.85	0.001176
0.6	0.006658	0.855	0.001142
0.605	0.00639	0.86	0.001109
0.61	0.006134	0.865	0.001078
0.615	0.00589	0.87	0.001047



0.875	0.001018		
0.88	0.000989		
0.885	0.000961		
0.89	0.000935		
0.895	0.000909		
0.9	0.000884		
0.905	0.00086		
0.91	0.000837		
0.915	0.000814		
0.92	0.000792		
0.925	0.000771		
0.93	0.000751		
0.935	0.000731		
0.94	0.000712		
0.945	0.000693		
0.95	0.000675		
0.955	0.000657		
0.96	0.000641		
0.965	0.000624		
0.97	0.000608		
0.975	0.000593		
0.98	0.000578		
0.985	0.000563		
0.99	0.000549		
0.995	0.000536		
1	0.000522		
1.005	0.00051		
1.01	0.000497		
1.015	0.000485		
1.02	0.000473		
1.025	0.000462		
1.03	0.000451		
1.035	0.00044		
1.04	0.000429		
1.045	0.000419		
1.05	0.000409		
1.055	0.0004		
1.06	0.00039		
1.065	0.000381		
		1.07	0.000373
		1.075	0.000364
		1.08	0.000356
		1.085	0.000348
		1.09	0.00034
		1.095	0.000332
		1.1	0.000325
		1.105	0.000317
		1.11	0.00031
		1.115	0.000303
		1.12	0.000297
		1.125	0.00029
		1.13	0.000284
		1.135	0.000277
		1.14	0.000271
		1.145	0.000266
		1.15	0.00026
		1.155	0.000254
		1.16	0.000249
		1.165	0.000244
		1.17	0.000238
		1.175	0.000233
		1.18	0.000228
		1.185	0.000224
		1.19	0.000219
		1.195	0.000215
		1.2	0.00021
		1.205	0.000206
		1.21	0.000202
		1.215	0.000197
		1.22	0.000193
		1.225	0.00019
		1.23	0.000186
		1.235	0.000182
		1.24	0.000178
		1.245	0.000175
		1.25	0.000171

**P-M Wave Spectra**  
 $H_s = 1.25 \text{ m}$   $T_p = 5.5 \text{ s}$



**Catatan :**

Lampiran E ini hanya sebagai contoh perhitungan spektra gelombang P-M untuk gelombang arah Timur dengan kondisi  $H_s = 1,25 \text{ m}$  dan  $T_p = 5,5 \text{ s}$ . Dengan cara yang sama, perhitungan ini dilakukan untuk arah dan kondisi gelombang yang lain sesuai dengan parameter yang ada.

**LAMPIRAN F**

**PERHITUNGAN SPEKTRA RESPON TEGANGAN**

## PERHITUNGAN SPEKTRA RESPON TEGANGAN

RUMUS :  $S_R(\omega) = [RAO(\omega)]^2 S(\omega)$

dimana :  $S_R$  = respons spectra  
 $S$  = wave spectra  
 $\omega$  = frequency angular (rad/sec)

**Wave Direction : E (180 Degrees)**

Hs = 1.25 m

Tp = 5.5 s

Tz =  $0.714 \times T_p$   
 3.927 s

No	w	S( $\omega$ )	RAO( $\omega$ )	$S_R(\omega)$
1	0.000		0	0.000E+00
2	0.005		0	2.113E-04
3	0.010		0	1.220E-03
4	0.015		0	2.460E-03
5	0.020		0	8.509E-03
6	0.025		0	1.448E-02
7	0.030		0	9.298E-02
8	0.035		0	1.398E-01
9	0.040	3.371E-224	2.193E-01	1.622E-225
10	0.045	4.2154E-139	7.404E-01	2.311E-139
11	0.050	1.48114E-90	1.036E+00	1.591E-90
12	0.055	2.88553E-61	1.728E+00	8.617E-61
13	0.060	8.96738E-43	1.903E+00	3.246E-42
14	0.065	1.18448E-30	1.830E+00	3.966E-30
15	0.070	1.86466E-22	1.735E+00	5.612E-22
16	0.075	9.17092E-17	1.652E+00	2.502E-16
17	0.080	1.01008E-12	1.665E+00	2.799E-12
18	0.085	8.51541E-10	1.847E+00	2.904E-09
19	0.090	1.211E-07	2.232E+00	6.031E-07
20	0.095	4.89402E-06	2.766E+00	3.745E-05
21	0.100	7.99402E-05	2.986E+00	7.127E-04
22	0.105	0.000672899	3.225E+00	6.997E-03
23	0.110	0.003462096	3.754E+00	4.880E-02
24	0.115	0.012299369	3.988E+00	1.956E-01
25	0.120	0.032959662	4.198E+00	5.807E-01
26	0.125	0.071101095	4.032E+00	1.156E+00
27	0.130	0.129595315	3.868E+00	1.938E+00

28	0.135	0.206994549	3.388E+00	2.376E+00
29	0.140	0.297879479	2.937E+00	2.569E+00
30	0.145	0.394548841	2.674E+00	2.820E+00
31	0.150	0.489019601	2.445E+00	2.924E+00
32	0.155	0.574562561	2.079E+00	2.484E+00
33	0.160	0.646491702	1.974E+00	2.520E+00
34	0.165	0.70229297	1.955E+00	2.683E+00
35	0.170	0.741330294	1.791E+00	2.377E+00
36	0.175	0.764364719	1.719E+00	2.258E+00
37	0.180	0.773054078	1.620E+00	2.030E+00
38	0.185	0.76952467	1.561E+00	1.876E+00
39	0.190	0.756048827	1.551E+00	1.820E+00
40	0.195	0.734827557	1.520E+00	1.697E+00
41	0.200	0.707860972	1.518E+00	1.631E+00
42	0.205	0.676884442	1.614E+00	1.764E+00
43	0.210	0.643349761	1.711E+00	1.884E+00
44	0.215	0.608434525	1.758E+00	1.881E+00
45	0.220	0.57306728	1.767E+00	1.789E+00
46	0.225	0.537959896	1.794E+00	1.731E+00
47	0.230	0.503641699	1.810E+00	1.651E+00
48	0.235	0.470492102	1.834E+00	1.583E+00
49	0.240	0.438770035	1.841E+00	1.487E+00
50	0.245	0.408639466	1.765E+00	1.273E+00
51	0.250	0.380190894	1.644E+00	1.027E+00
52	0.255	0.353459068	1.610E+00	9.165E-01
53	0.260	0.328437318	1.587E+00	8.268E-01
54	0.265	0.305088983	1.573E+00	7.548E-01
55	0.270	0.283356397	1.569E+00	6.975E-01
56	0.275	0.263167852	1.561E+00	6.413E-01

57	0.280	0.24444294	1.551E+00	5.878E-01	103	0.510	0.014864121	9.124E-03	1.237E-06
58	0.285	0.22709658	1.498E+00	5.097E-01	104	0.515	0.014167166	8.989E-03	1.145E-06
59	0.290	0.211042011	1.475E+00	4.589E-01	105	0.520	0.013508771	8.855E-03	1.059E-06
60	0.295	0.196192979	1.451E+00	4.130E-01	106	0.525	0.012886494	8.721E-03	9.800E-07
61	0.300	0.182465283	1.427E+00	3.718E-01	107	0.530	0.012298064	7.812E-03	7.505E-07
62	0.305	0.169777846	1.404E+00	3.346E-01	108	0.535	0.011741373	6.903E-03	5.595E-07
63	0.310	0.158053412	1.380E+00	3.011E-01	109	0.540	0.011214458	5.994E-03	4.029E-07
64	0.315	0.147218964	1.357E+00	2.709E-01	110	0.545	0.010715493	5.085E-03	2.771E-07
65	0.320	0.137205934	1.333E+00	2.438E-01	111	0.550	0.010242776	4.176E-03	1.787E-07
66	0.325	0.127950265	1.309E+00	2.194E-01	112	0.555	0.009794723	3.454E-03	1.169E-07
67	0.330	0.11939236	1.286E+00	1.974E-01	113	0.560	0.009369857	2.732E-03	6.993E-08
68	0.335	0.111476955	1.262E+00	1.776E-01	114	0.565	0.008966799	2.010E-03	3.622E-08
69	0.340	0.104152943	1.239E+00	1.598E-01	115	0.570	0.008584263	1.956E-03	3.283E-08
70	0.345	0.097373162	1.215E+00	1.438E-01	116	0.575	0.008221049	1.902E-03	2.973E-08
71	0.350	0.091094166	1.191E+00	1.293E-01	117	0.580	0.007876034	1.848E-03	2.689E-08
72	0.355	0.085275988	1.168E+00	1.163E-01	118	0.585	0.00754817	1.794E-03	2.429E-08
73	0.360	0.079881899	1.144E+00	1.046E-01	119	0.590	0.007236476	1.740E-03	2.191E-08
74	0.365	0.074878173	1.121E+00	9.405E-02	120	0.595	0.006940035	1.686E-03	1.973E-08
75	0.370	0.070233864	1.097E+00	8.454E-02	121	0.600	0.006657988	1.632E-03	1.773E-08
76	0.375	0.065920585	1.074E+00	7.597E-02	122	0.605	0.00638953	1.578E-03	1.591E-08
77	0.380	0.061912307	1.050E+00	6.825E-02	123	0.610	0.006133907	1.524E-03	1.425E-08
78	0.385	0.058185165	1.026E+00	6.129E-02	124	0.615	0.005890413	1.470E-03	1.273E-08
79	0.390	0.054717277	1.003E+00	5.502E-02	125	0.620	0.005658384	1.416E-03	1.135E-08
80	0.395	0.051488584	9.792E-01	4.937E-02	126	0.625	0.005437199	1.362E-03	1.009E-08
81	0.400	0.048480688	9.556E-01	4.427E-02	127	0.630	0.005226274	1.308E-03	8.945E-09
82	0.405	0.045676718	9.320E-01	3.968E-02	128	0.635	0.005025059	1.254E-03	7.906E-09
83	0.410	0.043061194	9.084E-01	3.553E-02	129	0.640	0.00483304	1.200E-03	6.964E-09
84	0.415	0.04061991	8.891E-01	3.211E-02	130	0.645	0.004649732	1.146E-03	6.111E-09
85	0.420	0.038339825	8.698E-01	2.901E-02	131	0.650	0.00447468	1.092E-03	5.340E-09
86	0.425	0.036208962	8.505E-01	2.619E-02	132	0.655	0.004307453	1.038E-03	4.645E-09
87	0.430	0.034216313	8.312E-01	2.364E-02	133	0.660	0.00414765	9.845E-04	4.020E-09
88	0.435	0.032351763	5.487E-01	9.741E-03	134	0.665	0.003994889	9.649E-04	3.719E-09
89	0.440	0.030606006	2.336E-01	1.670E-03	135	0.670	0.003848812	9.453E-04	3.439E-09
90	0.445	0.028970481	1.297E-01	4.876E-04	136	0.675	0.003709082	9.257E-04	3.178E-09
91	0.450	0.027437305	9.455E-02	2.453E-04	137	0.680	0.00357538	9.061E-04	2.935E-09
92	0.455	0.025999216	7.897E-02	1.621E-04	138	0.685	0.003447406	8.864E-04	2.709E-09
93	0.460	0.024649522	6.340E-02	9.908E-05	139	0.690	0.003324877	8.668E-04	2.498E-09
94	0.465	0.023382052	4.783E-02	5.349E-05	140	0.695	0.003207525	8.472E-04	2.302E-09
95	0.470	0.022191111	3.226E-02	2.309E-05	141	0.700	0.003095097	8.276E-04	2.120E-09
96	0.475	0.021071442	2.080E-02	9.117E-06	142	0.705	0.002987356	8.080E-04	1.950E-09
97	0.480	0.020018187	9.870E-03	1.950E-06	143	0.710	0.002884074	7.883E-04	1.792E-09
98	0.485	0.019026858	9.795E-03	1.826E-06	144	0.715	0.002785039	7.687E-04	1.646E-09
99	0.490	0.018093304	9.661E-03	1.689E-06	145	0.720	0.002690049	7.491E-04	1.509E-09
100	0.495	0.017213682	9.527E-03	1.562E-06	146	0.725	0.002598913	7.295E-04	1.383E-09
101	0.500	0.016384434	9.392E-03	1.445E-06	147	0.730	0.00251145	7.099E-04	1.266E-09
102	0.505	0.015602266	9.258E-03	1.337E-06	148	0.735	0.002427489	6.902E-04	1.157E-09

149	0.740	0.002346868	6.706E-04	1.055E-09	195	0.970	0.00060823467	9.732E-07	5.760E-16
150	0.745	0.002269434	6.510E-04	9.618E-10	196	0.975	0.00059281630	9.722E-07	5.603E-16
151	0.750	0.00219504	6.314E-04	8.750E-10	197	0.980	0.00057786431	9.712E-07	5.450E-16
152	0.755	0.002123548	6.118E-04	7.947E-10	198	0.985	0.00056336233	9.702E-07	5.303E-16
153	0.760	0.002054829	5.921E-04	7.205E-10	199	0.990	0.00054929465	9.692E-07	5.160E-16
154	0.765	0.001988756	5.725E-04	6.519E-10	200	0.995	0.00053564619	9.682E-07	5.022E-16
155	0.770	0.001925213	5.529E-04	5.885E-10	201	1.000	0.00052240244	9.673E-07	4.888E-16
156	0.775	0.001864087	5.333E-04	5.301E-10	202	1.005	0.00050954950	9.663E-07	4.758E-16
157	0.780	0.001805272	5.137E-04	4.763E-10	203	1.010	0.00049707397	9.653E-07	4.632E-16
158	0.785	0.001748666	4.940E-04	4.268E-10	204	1.015	0.00048496301	9.643E-07	4.510E-16
159	0.790	0.001694175	4.744E-04	3.813E-10	205	1.020	0.00047320424	9.633E-07	4.391E-16
160	0.795	0.001641705	4.548E-04	3.396E-10	206	1.025	0.00046178580	9.624E-07	4.277E-16
161	0.800	0.001591171	4.352E-04	3.013E-10	207	1.030	0.00045069623	9.614E-07	4.166E-16
162	0.805	0.00154249033	4.156E-04	2.664E-10	208	1.035	0.00043992457	9.604E-07	4.058E-16
163	0.810	0.00149558341	3.959E-04	2.345E-10	209	1.040	0.00042946022	9.594E-07	3.953E-16
164	0.815	0.00145037578	3.763E-04	2.054E-10	210	1.045	0.00041929302	9.584E-07	3.852E-16
165	0.820	0.00140679618	3.567E-04	1.790E-10	211	1.050	0.00040941318	9.575E-07	3.753E-16
166	0.825	0.00136477670	3.371E-04	1.551E-10	212	1.055	0.00039981126	9.565E-07	3.658E-16
167	0.830	0.00132425268	3.175E-04	1.335E-10	213	1.060	0.00039047820	9.555E-07	3.565E-16
168	0.835	0.00128516247	2.978E-04	1.140E-10	214	1.065	0.00038140525	9.545E-07	3.475E-16
169	0.840	0.00124744732	2.782E-04	9.656E-11	215	1.070	0.00037258401	9.535E-07	3.388E-16
170	0.845	0.00121105120	2.586E-04	8.099E-11	216	1.075	0.00036400636	9.526E-07	3.303E-16
171	0.850	0.00117592067	2.390E-04	6.716E-11	217	1.080	0.00035566450	9.516E-07	3.220E-16
172	0.855	0.00114200476	2.194E-04	5.495E-11	218	1.085	0.00034755091	9.506E-07	3.141E-16
173	0.860	0.00110925481	1.997E-04	4.425E-11	219	1.090	0.00033965834	9.496E-07	3.063E-16
174	0.865	0.00107762438	1.801E-04	3.496E-11	220	1.095	0.00031979797	9.486E-07	2.987E-16
175	0.870	0.00104706914	1.605E-04	2.697E-11	221	1.100	0.00032450854	9.476E-07	2.914E-16
176	0.875	0.00101754673	1.409E-04	2.020E-11	222	1.105	0.00031723807	9.467E-07	2.843E-16
177	0.880	0.00098901670	1.213E-04	1.454E-11	223	1.110	0.00031016214	9.457E-07	2.774E-16
178	0.885	0.00096144039	1.016E-04	9.933E-12	224	1.115	0.00030327469	9.447E-07	2.707E-16
179	0.890	0.00093478086	8.202E-05	6.289E-12	225	1.120	0.00029656989	9.437E-07	2.641E-16
180	0.895	0.00090900277	6.240E-05	3.540E-12	226	1.125	0.00029004213	9.427E-07	2.578E-16
181	0.900	0.00088407236	4.278E-05	1.618E-12	227	1.130	0.00028368598	9.418E-07	2.516E-16
182	0.905	0.00085995731	2.316E-05	4.613E-13	228	1.135	0.00027749619	9.408E-07	2.456E-16
183	0.910	0.00083662670	3.542E-06	1.050E-14	229	1.140	0.00027146771	9.398E-07	2.398E-16
184	0.915	0.00081405097	2.256E-06	4.144E-15	230	1.145	0.00026559566	9.388E-07	2.341E-16
185	0.920	0.00079220180	1.864E-06	2.752E-15	231	1.150	0.00025987533	9.378E-07	2.286E-16
186	0.925	0.00077105207	1.177E-06	1.069E-15	232	1.155	0.00025430217	9.369E-07	2.232E-16
187	0.930	0.00075057583	9.810E-07	7.223E-16	233	1.160	0.00024887177	9.359E-07	2.180E-16
188	0.935	0.00073074821	9.800E-07	7.018E-16	234	1.165	0.00024357989	9.349E-07	2.129E-16
189	0.940	0.00071154539	9.790E-07	6.820E-16	235	1.170	0.00023842243	9.339E-07	2.080E-16
190	0.945	0.00069294454	9.781E-07	6.629E-16	236	1.175	0.00023339542	9.329E-07	2.031E-16
191	0.950	0.00067492377	9.771E-07	6.443E-16	237	1.180	0.00022849504	9.319E-07	1.985E-16
192	0.955	0.00065746211	9.761E-07	6.264E-16	238	1.185	0.00022371757	9.310E-07	1.939E-16
193	0.960	0.00064053944	9.751E-07	6.091E-16	239	1.190	0.00021905943	9.300E-07	1.895E-16
194	0.965	0.00062413646	9.741E-07	5.923E-16	240	1.195	0.00021451717	9.290E-07	1.851E-16

241	1.200	0.00021008744	9.280E-07	1.809E-16
242	1.205	0.00020576699	9.270E-07	1.768E-16
243	1.210	0.00020155270	9.261E-07	1.729E-16
244	1.215	0.00019744153	9.251E-07	1.690E-16
245	1.220	0.00019343057	9.241E-07	1.652E-16
246	1.225	0.00018951696	9.231E-07	1.615E-16

247	1.230	0.00018569796	9.221E-07	1.579E-16
248	1.235	0.00018197092	9.212E-07	1.544E-16
249	1.240	0.00017833327	9.202E-07	1.510E-16
250	1.245	0.00017478250	9.192E-07	1.477E-16
251	1.250	0.00017131623	9.182E-07	1.444E-16

### PERHITUNGAN RESPON (STRESS)

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

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

FS	$\Sigma m_0$	$\Sigma m_2$
1	0.00E+00	0.00E+00
4	0.00E+00	0.00E+00
2	0.00E+00	0.00E+00
4	0.00E+00	0.00E+00
2	0.00E+00	0.00E+00
4	0.00E+00	0.00E+00
2	0.00E+00	0.00E+00
4	0.00E+00	0.00E+00
2	1.30E-226	1.04E-227
4	4.16E-140	7.49E-141
2	1.59E-91	1.59E-92
4	1.90E-61	4.17E-62
2	3.90E-43	4.67E-44
4	1.03E-30	2.68E-31
2	7.86E-23	1.10E-23
4	7.51E-17	2.25E-17
2	4.48E-13	7.17E-14
4	9.87E-10	3.36E-10
2	1.09E-07	1.95E-08
4	1.42E-05	5.41E-06
2	1.43E-04	2.85E-05
4	2.94E-03	1.23E-03
2	1.07E-02	2.36E-03
4	9.00E-02	4.14E-02
2	1.39E-01	3.35E-02
4	5.78E-01	2.89E-01
2	5.04E-01	1.31E-01
4	1.28E+00	6.93E-01
2	7.19E-01	2.01E-01
4	1.64E+00	9.49E-01

2	8.77E-01	2.63E-01
4	1.54E+00	9.55E-01
2	8.06E-01	2.58E-01
4	1.77E+00	1.17E+00
2	8.08E-01	2.75E-01
4	1.58E+00	1.11E+00
2	7.31E-01	2.63E-01
4	1.39E+00	1.03E+00
2	6.92E-01	2.63E-01
4	1.32E+00	1.03E+00
2	6.52E-01	2.61E-01
4	1.45E+00	1.19E+00
2	7.91E-01	3.32E-01
4	1.62E+00	1.39E+00
2	7.87E-01	3.46E-01
4	1.56E+00	1.40E+00
2	7.59E-01	3.49E-01
4	1.49E+00	1.40E+00
2	7.14E-01	3.43E-01
4	1.25E+00	1.22E+00
2	5.14E-01	2.57E-01
4	9.35E-01	9.53E-01
2	4.30E-01	2.24E-01
4	8.00E-01	8.48E-01
2	3.77E-01	2.03E-01
4	7.05E-01	7.76E-01
2	3.29E-01	1.84E-01
4	5.81E-01	6.62E-01
2	2.66E-01	1.54E-01
4	4.87E-01	5.75E-01
2	2.23E-01	1.34E-01

4	4.08E-01	4.98E-01
2	1.87E-01	1.16E-01
4	3.41E-01	4.30E-01
2	1.56E-01	9.99E-02
4	2.85E-01	3.71E-01
2	1.30E-01	8.60E-02
4	2.38E-01	3.19E-01
2	1.09E-01	7.39E-02
4	1.98E-01	2.74E-01
2	9.05E-02	6.34E-02
4	1.65E-01	2.35E-01
2	7.53E-02	5.42E-02
4	1.37E-01	2.00E-01
2	6.26E-02	4.63E-02
4	1.14E-01	1.71E-01
2	5.19E-02	3.94E-02
4	9.44E-02	1.45E-01
2	4.29E-02	3.35E-02
4	7.80E-02	1.23E-01
2	3.54E-02	2.83E-02
4	6.43E-02	1.04E-01
2	2.91E-02	2.39E-02
4	5.33E-02	8.85E-02
2	2.44E-02	2.05E-02
4	4.45E-02	7.57E-02
2	2.03E-02	1.75E-02
4	1.69E-02	2.95E-02
2	1.47E-03	1.29E-03
4	8.68E-04	1.55E-03
2	2.21E-04	1.99E-04
4	2.95E-04	5.37E-04
2	9.12E-05	8.39E-05
4	9.95E-05	1.85E-04
2	2.17E-05	2.04E-05
4	1.73E-05	3.29E-05
2	1.87E-06	1.80E-06
4	3.54E-06	6.87E-06
2	1.65E-06	1.62E-06
4	3.09E-06	6.12E-06
2	1.45E-06	1.45E-06
4	2.70E-06	5.46E-06
2	1.26E-06	1.29E-06
4	2.36E-06	4.86E-06
2	1.10E-06	1.15E-06
4	2.06E-06	4.32E-06
2	7.96E-07	8.43E-07

4	1.20E-06	2.56E-06
2	4.35E-07	4.70E-07
4	6.04E-07	1.32E-06
2	1.97E-07	2.16E-07
4	2.59E-07	5.76E-07
2	7.83E-08	8.77E-08
4	8.18E-08	1.85E-07
2	3.74E-08	4.27E-08
4	6.84E-08	1.57E-07
2	3.12E-08	3.62E-08
4	5.68E-08	1.33E-07
2	2.58E-08	3.05E-08
4	4.69E-08	1.12E-07
2	2.13E-08	2.55E-08
4	3.85E-08	9.32E-08
2	1.74E-08	2.12E-08
4	3.13E-08	7.70E-08
2	1.41E-08	1.74E-08
4	2.52E-08	6.31E-08
2	1.13E-08	1.42E-08
4	2.01E-08	5.10E-08
2	8.91E-09	1.14E-08
4	1.58E-08	4.07E-08
2	6.94E-09	9.02E-09
4	1.22E-08	3.19E-08
2	5.31E-09	7.01E-09
4	9.89E-09	2.63E-08
2	4.61E-09	6.18E-09
4	8.58E-09	2.32E-08
2	3.99E-09	5.43E-09
4	7.42E-09	2.03E-08
2	3.45E-09	4.76E-09
4	6.40E-09	1.78E-08
2	2.97E-09	4.15E-09
4	5.50E-09	1.55E-08
2	2.55E-09	3.61E-09
4	4.71E-09	1.35E-08
2	2.17E-09	3.13E-09
4	4.01E-09	1.16E-08
2	1.85E-09	2.70E-09
4	3.40E-09	1.00E-08
2	1.56E-09	2.31E-09
4	2.87E-09	8.54E-09
2	1.31E-09	1.97E-09
4	2.40E-09	7.25E-09
2	1.10E-09	1.66E-09

4	1.99E-09	6.10E-09
2	9.06E-10	1.40E-09
4	1.64E-09	5.09E-09
2	7.43E-10	1.16E-09
4	1.34E-09	4.21E-09
2	6.02E-10	9.52E-10
4	1.08E-09	3.43E-09
2	4.82E-10	7.71E-10
4	8.58E-10	2.76E-09
2	3.80E-10	6.15E-10
4	6.70E-10	2.18E-09
2	2.94E-10	4.81E-10
4	5.12E-10	1.69E-09
2	2.22E-10	3.68E-10
4	3.81E-10	1.27E-09
2	1.62E-10	2.73E-10
4	2.74E-10	9.25E-10
2	1.14E-10	1.94E-10
4	1.88E-10	6.43E-10
2	7.61E-11	1.31E-10
4	1.21E-10	4.19E-10
2	4.69E-11	8.17E-11
4	7.07E-11	2.47E-10
2	2.56E-11	4.50E-11
4	3.52E-11	1.24E-10
2	1.12E-11	1.99E-11
4	1.27E-11	4.54E-11
2	2.91E-12	5.24E-12
4	1.67E-12	6.05E-12
2	1.91E-14	3.48E-14
4	1.52E-14	5.55E-14
2	5.06E-15	9.32E-15
4	3.95E-15	1.46E-14
2	1.34E-15	2.50E-15
4	2.62E-15	9.82E-15
2	1.28E-15	2.41E-15
4	2.51E-15	9.47E-15
2	1.22E-15	2.33E-15
4	2.39E-15	9.14E-15
2	1.17E-15	2.25E-15
4	2.29E-15	8.82E-15
2	1.12E-15	2.17E-15
4	2.19E-15	8.52E-15
2	1.07E-15	2.09E-15
4	2.09E-15	8.23E-15
2	1.02E-15	2.02E-15

4	2.00E-15	7.95E-15
2	9.78E-16	1.96E-15
4	1.91E-15	7.69E-15
2	9.36E-16	1.89E-15
4	1.83E-15	7.43E-15
2	8.96E-16	1.83E-15
4	1.75E-15	7.19E-15
2	8.58E-16	1.77E-15
4	1.68E-15	6.95E-15
2	8.22E-16	1.71E-15
4	1.61E-15	6.73E-15
2	7.88E-16	1.66E-15
4	1.54E-15	6.51E-15
2	7.56E-16	1.60E-15
4	1.48E-15	6.31E-15
2	7.25E-16	1.55E-15
4	1.42E-15	6.11E-15
2	6.96E-16	1.50E-15
4	1.36E-15	5.92E-15
2	6.68E-16	1.46E-15
4	1.31E-15	5.73E-15
2	6.41E-16	1.41E-15
4	1.26E-15	5.55E-15
2	6.16E-16	1.37E-15
4	1.21E-15	5.38E-15
2	5.92E-16	1.33E-15
4	1.16E-15	5.22E-15
2	5.69E-16	1.29E-15
4	1.12E-15	5.06E-15
2	5.47E-16	1.25E-15
4	1.07E-15	4.91E-15
2	5.26E-16	1.21E-15
4	1.03E-15	4.76E-15
2	5.06E-16	1.17E-15
4	9.92E-16	4.62E-15
2	4.87E-16	1.14E-15
4	9.55E-16	4.49E-15
2	4.68E-16	1.11E-15
4	9.19E-16	4.36E-15
2	4.51E-16	1.07E-15
4	8.85E-16	4.23E-15
2	4.34E-16	1.04E-15
4	8.52E-16	4.11E-15
2	4.18E-16	1.01E-15
4	8.21E-16	3.99E-15
2	4.03E-16	9.83E-16

4	7.91E-16	3.88E-15
2	3.88E-16	9.56E-16
4	7.63E-16	3.77E-15
2	3.74E-16	9.29E-16
4	7.35E-16	3.66E-15

1	1.81E-16	2.26E-16
$\Sigma =$	3.64E+01	2.59E+01
MOMENT	6.07E-02	4.32E-02

### Catatan :

Lampiran F ini hanya sebagai contoh perhitungan respon spektra tegangan struktur *Jacket Monotower* APN-A akibat eksitasi gelombang arah Timur. Dengan cara yang sama, perhitungan ini dilakukan untuk arah gelombang yang lain sesuai dengan parameter yang ada.