

3100097008684

TUGAS AKHIR
(OE 1701)

ANALISA KEANDALAN TERHADAP FATIGUE DARI SEBUAH PONDASI TIANG PANCANG



RSke
627.98
Jor
a-1
1996

Disusun Oleh :

JACOB JORDANUS
NRP. 4914300233

PROGRAM STUDI TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1996

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	23 SEP 1996
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	6557

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir : Analisa Keandalan Terhadap Fatigue Dari Sebuah Pondasi
Tiang Pancang
Penulis : Jacob Jordanus
NRP : 4914300233

Surabaya, Agustus 1996

Mengetahui / Menyetujui

Program Studi Teknik Kelautan

Dosen Pembimbing



Dr. D.M. Rasyid
DR. Ir. D.M Rasyid PhD
NIP. 131 782 038

Telah direvisi , Surabaya 26 Agustus 1996

Mengetahui / Menyetujui

Program Studi Teknik Kelautan

Dosen Pembimbing



DR. Ir. D.M Rasyid PhD

Nip. 131 782 038

" Sekalipun aku mempunyai karunia untuk bernubuat dan aku mengetahui segala rahasia , dan memiliki seluruh pengetahuan ; dan sekalipun aku memiliki iman yang sempurna untuk memindahkan gunung, tetapi jika aku tidak mempunyai kasih, aku sama sekali tidak berguna Dan sekalipun aku membagi-bagikan segala sesuatu yang ada padaku, bahkan menyerahkan tubuhku untuk dibakar, tetapi jika aku tidak mempunyai kasih, sedikitpun tidak ada faedahnya bagiku ".

" Kasih itu lemah lembut, sabar, dan sederhana ; ia tidak cemburu. Ia tidak memegahkan diri dan tidak sombong . Ia tidak melakukan yang tidak sopan dan tidak mencari keuntungan diri sendiri . Ia tidak pemaarah dan tidak menyimpan kesalahan orang lain . Ia tidak bersuka cita karena ketidakadilan, tetapi karena kebenaran ".

(I KORINTUS 3 : 2 - 6)

ABSTRAK

Tugas akhir ini menganalisa tentang keandalan terhadap batas fatigue sebuah pondasi tiang pancang dari suatu struktur *monopod*. Identifikasi kelelahan (*fatigue*) perlu dilakukan pada pondasi tiang pancang, karena beban gelombang merupakan salah satu dari beban lingkungan yang dominan bekerja padanya adalah bersifat siklis. Sehingga, akibat beban siklis tersebut suatu struktur dapat secara bertahap mengalami keretakan dan selanjutnya kepecahan, meskipun intensitas tegangan yang terjadi masih jauh dari batas tegangan mulurnya.

Dengan menerapkan metode beda hingga (*finite difference method*) untuk menyelesaikan persamaan differensial yang mengekspresikan respon lateral pada pondasi tiang pancang, diperoleh lokasi terjadinya tegangan maksimum. Selanjutnya dilakukan perhitungan kelelahan dengan metode spektral penuh untuk mendapatkan kerusakan total pada lokasi tersebut. Karena parameter yang mempengaruhi kekuatan maupun beban adalah bersifat acak dan terdistribusi secara statistik, maka dilakukan analisa keandalan pada hasil perhitungan tersebut guna memperoleh hasil perhitungan yang lebih realistis, yaitu berupa probabilitas kegagalan struktur tersebut terhadap *fatigue*.

Hasil analisa tersebut menghasilkan indeks keandalan (β) sebesar 1,7364, yang berarti peluang kegagalan struktur *monopod* tersebut terhadap *fatigue* adalah sebesar 0,0412. Harga beta tersebut terlalu kecil dari harga beta minimum yang telah direkomendasikan (Wiersching) yaitu sebesar 2,0 untuk *fatigue*. Untuk itu perancang disarankan mengkaji ulang design nya guna memperoleh hasil yang lebih baik.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur ditujukan kepada Tuhan Yang Maha Esa , karena atas kehedakNya penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir, yang dalam kesempatan ini mengambil judul *Analisa keandalan terhadap fatigue dari sebuah pondasi tiang pancang* .Penulisan ini memakan waktu kurang lebih setahun, hal ini dikarenakan kekompleksitasan dari masalah yang dihadapi, sehingga harus melibatkan beberapa disiplin ilmu guna mengatasi masalah tersebut .

Penulis menyadari, tanpa bantuan dan bimbingan dari pihak yang terkait, penulisan hasil ilmiah ini, akan memerlukan waktu yang lebih panjang lagi, oleh karenanya ingin penulis ucapkan rasa terima kasih yang tulus kepada pihak yang telah membantu selama mengerjakan Tugas Akhir ini, maupun selama penulis menempuh studi di Jurusan Teknik Kelautan ITS, diantaranya untuk :

1. Ibu , kakak serta adik yang telah menimbulkan motivasi tersendiri bagiku.
2. DR. Ir. D.M. Rasyid PhD., selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan meluangkan waktunya untuk penulisan Tugas akhir ini.
3. Ir. Handayanu MSc, selain selaku dosen pembimbing dalam penulisan Tugas Akhir, juga sebagai dosen wali penulis .
4. Ir. Eko Budi Djatmiko MSc, PhD selaku ketua program studi Teknik Kelautan ITS , yang ikut serta memberikan masukan dalam penulisan Tugas Akhir.
5. Ir. Imam Rochani MSc, selaku sekretaris program studi Teknik Kelautan ITS.

6. Ir. Eko Panunggal MSc, PhD, Ir. Indrasurya MSc, PhD, dan Ir. J. Joswan MSc, atas waktu luang yang diberikan untuk berkonsultasi mengenai masalah yang dihadapi dalam penulisan Tugas Akhir .
7. Arek-arek Kelautan ' 91 , diantaranya Herry *penyanyi* , ketiga muridku yaitu : *adik kecil* Ira, Handy *Escobar*, *the demit* Darmono yang akhirnya berhasil menguasai ilmu *catur daya nya*, pakar seksolog Kelautan *Naek Handy bondet L. Tobing* , *the man without hair* Baron *cantona* , *the skleton man* Sukma *gering* , *the Ice man* alias *tompel* , *Gathot si gagal thotal* , dua wanita penggoda Vera *bin kotrik* dan Budi *mintil* Asih, Iwan *fales cah Madiun*, *the wet man* Roni, Budiyono, Wisnu, dan rekan lainnya .
8. Kakak dan adik seperguruanku diantaranya Edi kalab joko, si Komo, Arinta, Anas, Haddy S, Dasril, Bagus, Adi dan rekan lainnya .

Penulis menyadari, walau telah mencurahkan segenap kemampuan yang ada, namun karya tulis ini masihlah belum sempurna, oleh karenanya saran dan kritik untuk penyempurnaan dimasa mendatang, sangat penulis harapkan. Akhir kata, semoga karya tulis ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca khususnya, dan bagi pengembangan ilmu pengetahuan pada umumnya .

Surabaya, Agustus 1996

Jacob Jordanus

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 LATAR BELAKANG	I-1
I.2 PERMASALAHAN	I-2
I.3 MAKSUD DAN TUJUAN	I-3
I.4 BATASAN MASALAH	I-3
I.5 METODOLOGI	I-4
I.6 RUANG LINGKUP	I-6
BAB II GELOMBANG PERENCANAAN	
II.1 PENDAHULUAN	II-1
II.2 GELOMBANG BERATURAN	II-1
II.2.1 GAYA HIDRODINAMIS PADA SILINDER TEGAK	II-3
II.2.1.1 PENDAHULUAN	II-3
II.2.1.2 PERUMUSAN GAYA GELOMBANG	II-4
II.3 GELOMBANG TAK BERATURAN	II-5
II.3.1 PARAMETER GELOMBANG TAK BERATURAN	II-6
II.3.1.1 SPEKTRUM GELOMBANG	II-6

II.3.2	STATISTIK GELOMBANG KURUN WAKTU PANJANG	II-7
II.3.3	TEORI STOKASTIK	II-8
II.4	METODE DETERMINISTIK PERHITUNGAN RESPON	II-9
II.5	METODE SPEKTRAL PERHITUNGAN RESPON	II-10
II.5.1	FUNGSI TRANSFER (RAO)	II-11
II.5.1.1	RAO DARI GAYA INERSIA - DRAG	II-13
II.5.1.2	LINEARISASI GAYA DRAG	II-13
II.5.1.3	LINEARISASI SPEKTRA GAYA DRAG	II-14
II.5.2	FUNGSI TRANSFER GAYA KE DISPLASEMEN	II-15
II.5.3	FUNGSI TRANSFER DISPLASEMEN KE MOMEN	II-17
II.6	DISTRIBUSI KURUN WAKTU PANJANG DARI TEGANGAN	II-17
II.6.1	PENDEKATAN DETERMINISTIK	II-18
II.6.2	PENDEKATAN STOKASTIK	II-19
II.6.3	PENYEDERHANAAN DISTRIBUSI KURUN WAKTU PANJANG	II-20
BAB III ANALISA PERILAKU DAN KELELAHAN TIANG PANCANG TERHADAP BEBAN LATERAL		
III.1	PENDAHULUAN	III-1
III.2	ANALISA PERILAKU PONDASI TIANG PANCANG	III-2
III.3	KURVA P - Y	III-4
III.4	MODEL BEAM-COLUMN	III-6
III.4.1	RESPONS LATERAL	III-6
III.4.2	PERSAMAAN BEAM-COLUMN	III-8

III.4.3 KONDISI BATAS	III-9
III.5 ANALISA KELELAHAN TIANG PANCANG	III-11
III.5.1 ANALISA SPEKTRAL PENUH	III-11
BAB IV ANALISA KEANDALAN TERHADAP FATIGUE	
IV.1 PENDAHULUAN	IV-1
IV.2 KONSEP KEANDALAN	IV-3
IV.3 METODE ANALISA KEANDALAN	IV-4
IV.3.1 METODE ANALISA KEANDALAN LEVEL 2	IV-6
IV.3.1.1 METODE NILAI RATA-RATA	IV-7
IV.3.1.2 ANALISA DENGAN METODE AFOSM	IV-8
IV.4 PERUMUSAN FUNGSI KEANDALAN TERHADAP FATIGUE	IV-10
BAB V ANALISA DATA & HASIL PERHITUNGAN	
V.1 DATA MASUKKAN	V-1
V.2 PEMBAHASAN POKOK	V-4
V.3 HASIL PERHITUNGAN	V-11
V.3.1 HASIL DARI PERHITUNGAN BEDA HINGGA	V-11
V.3.2 HASIL DARI PERHITUNGAN KERUSAKKAN TOTAL	V-13
V.3.3 HASIL PERHITUNGAN INDEKS KEANDALAN	V-13
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	
VI.1 KESIMPULAN	VI-1
VI.2 SARAN	VI-2
DAFTAR PUSTAKA	

LAMPIRAN:

LAMPIRAN A : Data-data untuk perhitungan keandalan terhadap fatigue

LAMPIRAN B : Hasil dari perhitungan

DAFTAR NOTASI

$a(z)$	: Percepatan horisontal partikel air
C	: Damping struktur
c	: Shear strength dari tanah
C_D	: Koefisien drag
C_m	: Koefisien massa
d	: Kedalaman perairan
D	: Diameter tiang pancang
D_i	: Kerusakan yang ditimbulkan oleh rentang tegangan ke- i
E_t	: Energi total dari gelombang
f_p	: Peak frequency
g	: Gaya gravitasi bumi
H	: Tinggi gelombang regular
H_s	: Tinggi gelombang significant
$H(f)$	: Transfer function (RAO) gaya ke displasemen
K	: Kekakuan struktur
L	: Panjang gelombang
M	: Pusat massa
n_i	: Jumlah siklus yang terjadi pada rentang tegangan ke- i
N_i	: Jumlah siklus yang akan menyebabkan kepecahan pada rentang tegangan ke- i
N_1	: Frekwensi natural struktur

$p(x)$	: Probability density function
$P(x)$	: Probability distribution function
P_i	: Tahanan lateral tanah pada elemen ke-i
P_u	: Tahanan tanah lateral ultimat
r	: Jari-jari tiang pancang
RAO	: Response Amplitude operator
R_e	: Reynold number
T_z	: Periode lintas nol
$v(z)$	: Kecepatan horisontal partikel air
y_i	: Displasemen tiang pancang pada elemen ke-i
Z	: Moda kegagalan
$S_{\eta\eta}(f)$	: Spektrum gelombang
ω	: Frekwensi angular gelombang
$S_{vv}(f, z)$	: Spectral density dari kecepatan horisontal partikel air
ζ_a	: Amplitudo gelombang
ξ	: Damping ratio
β	: Indeks keandalan
$S_{aa}(f, z)$	: Spectral density dari percepatan horisontal partikel air
ρ	: Massa jenis air laut
$S_{\sigma\sigma}(f)$	: Spektrum tegangan

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

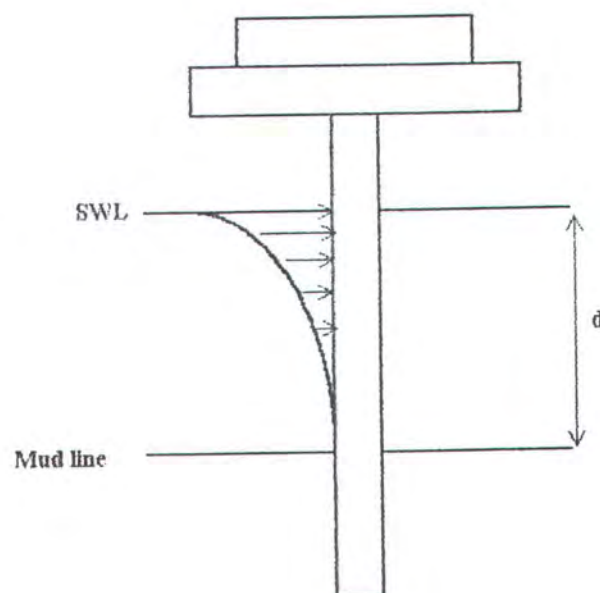
Pengambilan keputusan pada tahap perancangan selalu ditekankan pada suatu hal yaitu bagaimana memperoleh suatu struktur yang bernilai ekonomis dan mempunyai tingkat keandalan yang tinggi. Pada mulanya, metode yang digunakan perancang umumnya mengacu pada sebuah angka keamanan (*safety factor*) dimana ketahanan dari sebuah struktur besarnya ditentukan oleh hasil kali dari beban maksimum yang diterima dengan angka keamanan yang telah ditetapkan. Metode analisis tersebut merupakan metode yang bersifat deterministik, dimana variabel-variabel penentu dan yang diperhitungkan dianggap mempunyai harga konstan. Padahal pada kondisi sebenarnya, variabel tersebut harganya bervariasi karena pengaruh ketidaktentuan (*uncertainty*), sehingga metode ini sebenarnya belum dapat memberikan kepastian tentang apakah struktur tersebut dapat bertahan selama waktu yang telah ditentukan ataupun tidak, meskipun didalam perancangan telah dievaluasi bahwa struktur tersebut telah memenuhi batas ijin yang dipersyaratkan oleh peraturan yang berlaku.

Oleh karena itu pada tahun 80-an, para ahli terus berusaha mengembangkan analisa keandalan ini berdasarkan teori probabilitistik, sehingga penganalisaan ketidaktentuan terhadap variabel penentu atau yang berpengaruh pada ketahanan maupun beban yang bekerja pada sebuah struktur, ditafsirkan dalam parameter-parameter statistik seperti : nilai rata-rata (*mean*), standard deviasi, koefisien variasi, dan sebagainya.

I.2 PERMASALAHAN

Pokok permasalahan pertama disini adalah dalam menentukan lokasi terjadinya tegangan atau momen maksimum pada tiang pancang dari struktur monopod. Sedangkan pokok permasalahan kedua adalah penentuan indeks kendalan atau peluang kegagalan terhadap kelelahan dari struktur *monopod* yang berdiameter 4 ft. pada lokasi di laut Jawa yang kedalamannya sekitar 97 ft.

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas tentang penerapan konsep probabilitas dalam analisa keandalan terhadap fatigue dari sebuah pondasi tiang pancang maka akan ditinjau sebuah struktur *monopod*, seperti pada gambar I.1



Gb.1 Monopod structure

I.3 MAKSUD DAN TUJUAN

- Maksud dari penulisan Tugas Akhir ini adalah menentukan indeks keandalan sebuah tiang pancang dari struktur Bangunan Lepas Pantai yang telah ditinjau tersebut terhadap fatigue akibat beban gelombang yang bersifat siklis.
- Tujuan dari penulisan ini adalah untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam tentang penerapan konsep probabilistik kedalam analisa keandalan terhadap fatigue sebuah tiang pancang, sehingga dapat membantu para designer untuk mendapatkan sebuah struktur rekayasa yang lebih efisien .

I.4 BATASAN MASALAH

Beberapa batasan dilakukan untuk menyederhanakan dan memperjelas permasalahan, sehingga memudahkan dalam melakukan analisa dan perhitungan.

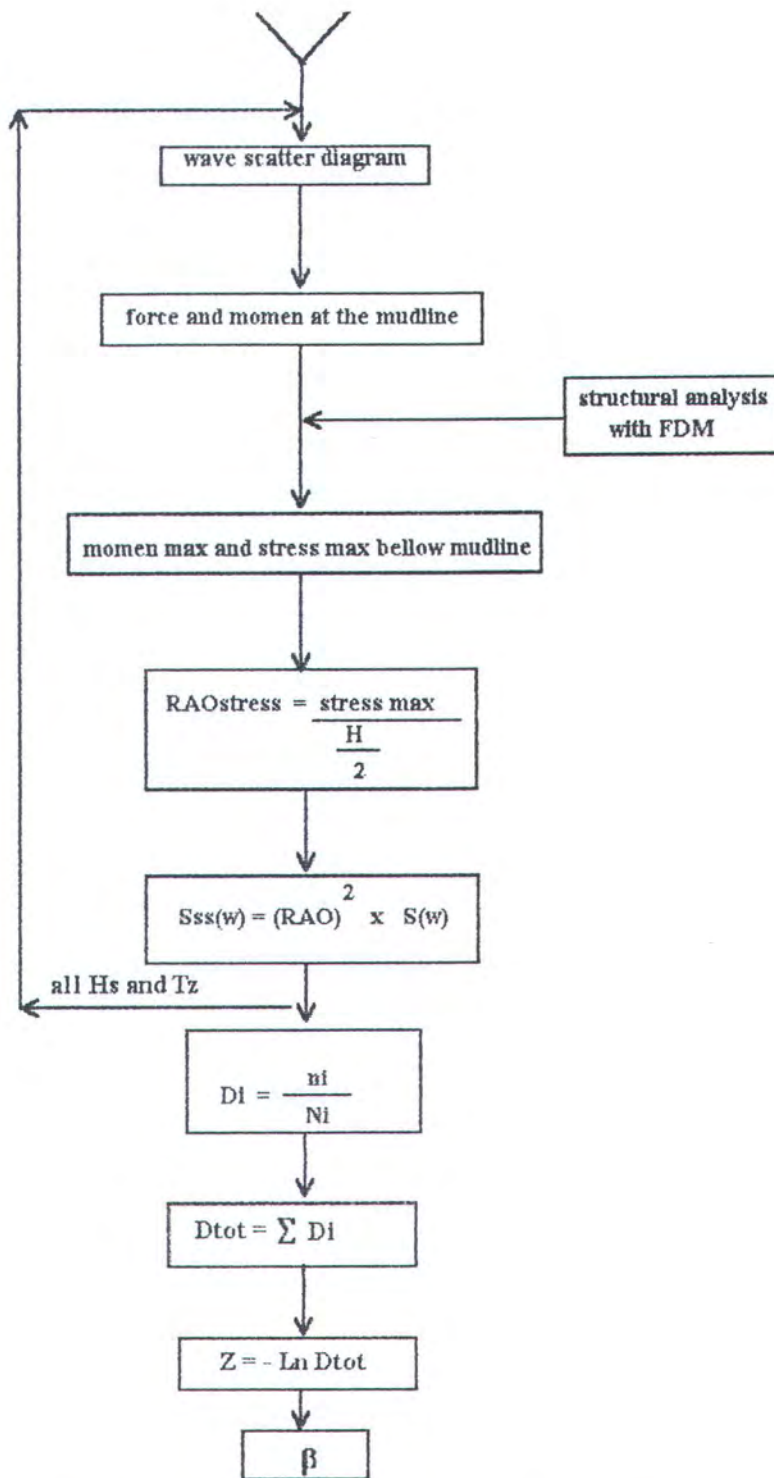
Batasan masalah tersebut antara lain adalah :

1. Beban lingkungan yang bekerja pada struktur adalah hanya beban gelombang yaitu sebagai beban lateral.
2. Gelombang dianggap sebagai gelombang unidireksional.
3. Teori gelombang yang digunakan adalah teori gelombang linear dan perhitungan gaya gelombang menggunakan teori Morison.
4. *Marine Growth* hanya berpengaruh pada berat struktur , dan *scour* diabaikan.
5. Pile bersifat elastis, dimana tanah disekitar pile tidak akan mengalami kegagalan terlebih dahulu sebelum kegagalan pile.
7. Luas penampang sepanjang pile adalah konstan, dan kekakuan dari pile dinyatakan secara statistik.

I.5 METODOLOGI PEMBAHASAN

Penyelesaian permasalahan untuk menganalisa keandalan terhadap fatigue dari sebuah pondasi tiang pancang ini diselesaikan dengan pendekatan teoritis. Secara garis besar dapat dilihat pada gbr I.2, dimana langkah-langkahnya meliputi :

- Penentuan momen dan tegangan maksimum yang bekerja pada pile pada *mudline* untuk segala kondisi gelombang dengan berdasarkan pada metode respon statistik kurun waktu pendek (*short-term response statistics*).
- Penentuan momen dan tegangan maksimum yang terjadi pada pile dibawah *mudline* dengan analisa metode beda hingga (*Finite Difference Method*), sekaligus diikuti dengan perhitungan RAO (*Respon Amplitude Operator*) di titik tersebut.
- Pemilihan formulasi spektra gelombang yang sesuai pada daerah perairan laut Jawa, dalam hal ini menggunakan spektra gelombang JONSWAP .
- Menerapkan analisis spektral penuh untuk memperoleh bentuk distribusi serta jumlah kejadian beban acak, dan selanjutnya tegangan pada tiang pancang yang ditinjau dalam kurun waktu panjang.
- Pemilihan kurva S-N yang sesuai untuk tipe dari tiang pancang tersebut dan dengan menerapkan hukum Palmgreen-Minner dapat diperoleh *Cumulative Damage* dari korelasi sebaran tegangan serta jumlah siklus nya yang terjadi pada titik tersebut.
- Penentuan mode kegagalan akibat fatigue dan menerapkan metode AFOSM (*Advanced First Order Second Moment*) untuk melakukan analisa keandalan terhadap fatigue tersebut untuk mendapatkan indeks keandalan (β) maupun peluang kegagalannya.



Gbr. I.1 Diagram alir penentuan mode kegagalan Z dan β

I.6 RUANG LINGKUP

Bab II mengetengahkan analisa mengenai gelombang perencanaan, yang meliputi gelombang beraturan maupun gelombang tak beraturan, sampai perhitungan besarnya beban eksitasi dan respons yang ditimbulkannya.

Analisa respons tersebut berupa momen dan defleksi, sebagai input dalam analisa reaksi tanah terhadap perilaku pondasi tiang pancang, yang akan diulas pada sub pokok bahasan III. Pada sub bab III juga dikemukakan analisa kelelahan tiang pancang tersebut akibat eksitasi dinamis yang terjadi padanya.

Analisa kelelahan tiang pancang yang dikemukakan dalam sub bab III tersebut adalah bersifat deterministik, dimana parameter penentu dianggap bersifat konstan. Namun dalam dunia nyata yang penuh ketidak pastian ini hal tersebut kuranglah rasionil, untuk itu analisa kelelahan tiang pancang yang bersifat probabilistik perlu dilakukan dan hal ini akan dijelaskan pada bab IV.

Pada bab V akan dikemukakan analisa data dan jalannya perhitungan secara garis besar, serta hasil dari perhitungan tersebut.

Sedang kesimpulan dari seluruh analisa yang telah dilakukan akan ditulis pada bab VI.

BAB II

GELOMBANG PERENCANAAN

II.1 PENDAHULUAN

Pada umumnya terdapat 2 pendekatan dasar yang dipertimbangkan untuk menentukan kondisi gelombang perencanaan (*design wave environment*) pada sebuah Bangunan Lepas Pantai, yaitu :

- Pendekatan gelombang diskrit (*discrete wave method*).

Disini kondisi laut dapat diwakili oleh beberapa gelombang tunggal, masing-masing dengan tinggi dan periode gelombang tertentu. Jadi dapat dikatakan bahwa metode ini juga menggunakan pendekatan gelombang regular.

- Pendekatan stokastik (*stochastic method*)

Disini kondisi laut diwakili oleh parameter statistik dari pada elevasi permukaan gelombang. Pendekatan yang digunakan dalam metode ini adalah pemilihan spektra gelombang yang dapat mewakili kondisi gelombang tak beraturan pada suatu perairan.

II.2 GELOMBANG BERATURAN

Gelombang beraturan adalah rambatan gelombang secara periodik dimana masing-masing gelombang mempunyai bentuk yang sama. Penggambaran sederhana dari bentuk gelombang tersebut diberikan oleh teori gelombang linear, dimana profil permukaan air laut (η) adalah fungsi dari sinus, yaitu :

$$\eta = \frac{H}{2} \sin(\omega t - kx) \dots\dots\dots(II.1)$$

Sejumlah teori gelombang yang dipakai telah dikembangkan yang kemampuannya atau kelebihanya terhadap lingkungannya berbeda-beda tergantung dari parameter spesifik dari gelombang .

Salah satu aspek terpenting dalam penjelasan teori gelombang adalah perumusan lingkup keberlakuan masing-masing teori yang ada, dalam kaitannya dengan asumsi yang dipakai. Cara pendekatan matematis untuk mengkaji kinematika gelombang adalah berdasarkan aspek fisik gerakan gelombang, dimana pada umumnya gerakan gelombang dapat dibedakan menjadi 2, yaitu : pendekatan secara linear dan non linear. Teori yang sering digunakan dalam perancangan Bangunan Lepas Pantai adalah teori AIRY (teori gelombang linear), teori gelombang stokes, dan teori gelombang cnoidal (teori gelombang non linear) . Teori linear juga dibedakan menurut kedalaman perairan, yaitu

- perairan dangkal , dimana $\frac{d}{L} < 0,05$
- perairan menengah, dimana $0,05 < \frac{d}{L} < 0,5$
- perairan dalam , dimana $\frac{d}{L} > 0,5$

Untuk membatasi dan mempermudah dalam penentuan persamaan gelombang, maka dipakai sebuah acuan yang berupa diagram yang menunjukkan daerah berlakunya ketiga teori gelombang tersebut yang masing-masing tergantung dari perbandingan antara d dengan T, dan H dengan T (gbr.II.1) Dengan diketahuinya teori gelombang yang dipakai , maka dapat ditentukan persamaan gelombang untuk perairan dalam, yaitu :

$$\omega^2 = k.g.\tanh(kd) \dots\dots\dots(\text{II.2})$$

d adalah kedalaman perairan, untuk laut dalam $d > \frac{L}{3}$ dan $L = \frac{2\pi}{k}$ maka :

persamaan II.2 dapat disederhanakan menjadi (ref 3):

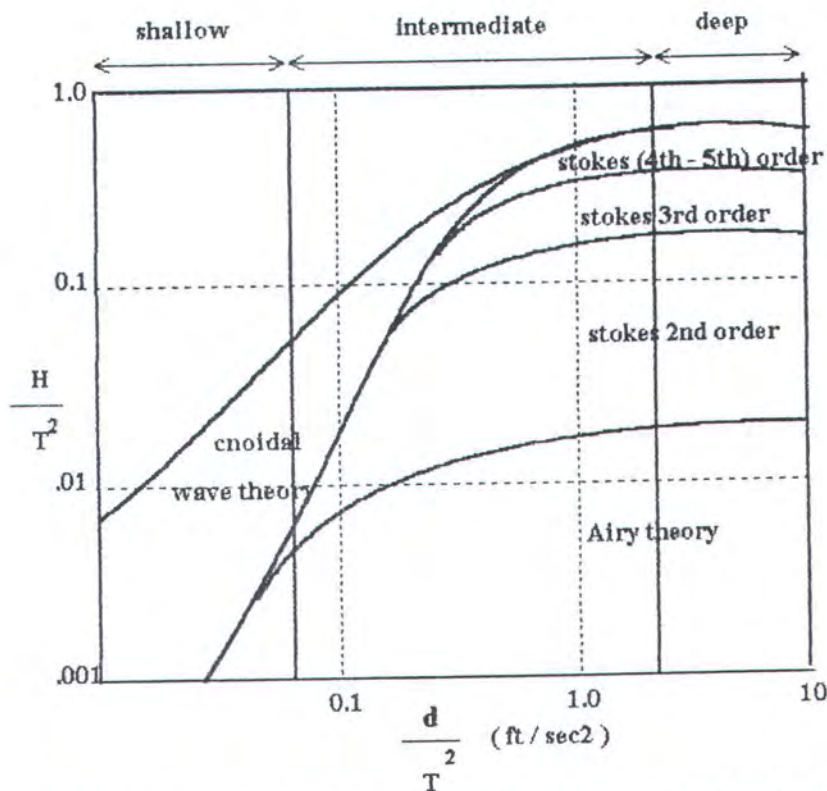
$$\omega^2 = k.g \dots\dots\dots(\text{II.3})$$

kecepatan horisontal partikel gelombang v , adalah :

$$v(z) = \frac{H}{2} \cdot \omega \cdot e^{kz} \cdot \sin(\omega t - kx) \dots\dots\dots(\text{II.4})$$

percepatan horisontal partikel air a , adalah :

$$a(z) = \frac{H}{2} \cdot \omega^2 \cdot e^{kz} \cdot \cos(\omega t - kx) \dots\dots\dots(\text{II.5})$$



gbr. II.1 Daerah keberlakuan teori gelombang. (ref. Cakra Barty)

II.2.1 GAYA HIDRODINAMIS PADA SILINDER TEGAK

II.2.1.1 PENDAHULUAN

Sarpkaya (1981) telah memberikan garis besar dalam menganalisa gaya gelombang, dimana untuk menghitung gaya gelombang pada struktur dibutuhkan model dari kondisi gelombang yang bisa didapatkan dari data pencatatan gelombang maupun angin. Goda (1985) memberikan penjelasan tentang model dari kondisi gelombang dimana kondisi gelombang dapat diwakili oleh parameter gelombang, yaitu H_s dan T_z

Secara umum teori yang dipergunakan untuk menghitung gaya gelombang pada silinder adalah Teori Morison dan Teori Difraksi. Teori Morison digunakan untuk menghitung gaya gelombang yang terjadi pada struktur kecil, dimana $\frac{d}{L} < 0,2$, sedang Teori Difraksi digunakan untuk menghitung struktur yang besar, dimana $\frac{d}{L} > 0,2$.

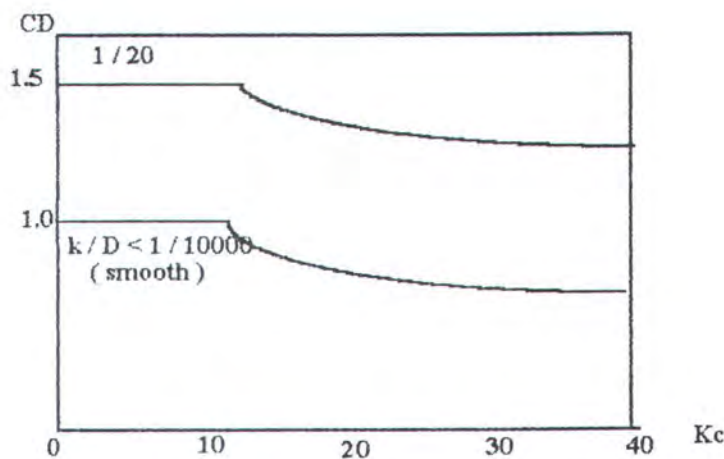
II.1.2 PERUMUSAN GAYA GELOMBANG

Sarpkaya(1981) memberikan perumusan dari pada persamaan Morison untuk gelombang yang menimbulkan gaya pada struktur yang terjadi secara harmonis dan uniform. Gaya gelombang persatuan panjang pada struktur adalah:

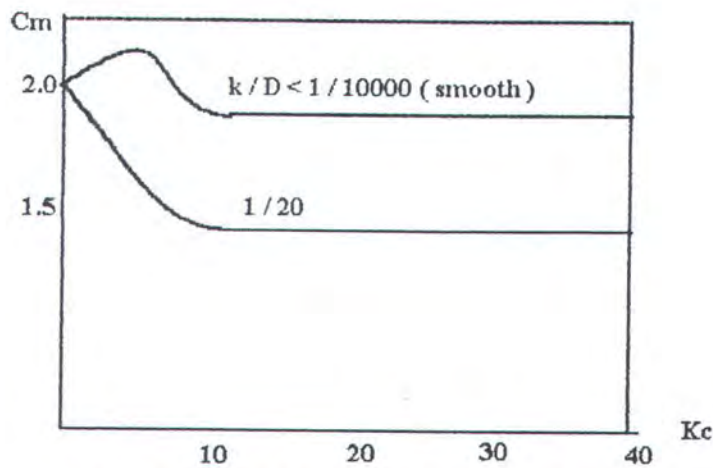
$$F = \frac{\rho}{2} \cdot C_D \cdot |v| \cdot v + C_m \cdot \rho \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \dot{e} \quad \dots\dots\dots(\text{II.6})$$

yaitu yang merupakan penjumlahan dari gaya drag dan gaya inersia, dimana gaya inersia sendiri adalah penjumlahan dari gaya Froude-Krylov dan gaya massa tambah.

Sarpkaya (1981) menambahkan bahwa koefisien C_D dan koefisien C_m adalah merupakan fungsi dari angka Reynold ($Re = \frac{u \cdot D}{\nu}$) dan angka Keulegan Carpenter ($N_{kc} = \frac{u \cdot T}{D}$).



gbr. II.2a Koefisien drag dari silinder sebagai fungsi Kc dengan $Re > 5.10 E 5$ (sumber DNV, 1989)



gbr. II.2b Koefisien inersia silinder sebagai fungsi dari K_c dengan $Re > 5.10E 5$ (sumber DNV, 1989)

Untuk alasan praktis maka koefisien C_D ditabulasikan sebagai fungsi dari bentuk penampang dan untuk bentuk silinder harga C_D berkisar 0,6 - 1,0 (API) namun dalam analisa kali ini, harga $C_D = 1,0$ serta koefisien C_m diasumsikan sebesar 2,0.

II.3 GELOMBANG TAK BERATURAN

Kondisi laut sebenarnya mengandung banyak gelombang yang ukuran (parameter) dan arahnya berbeda-beda. Hal ini mengakibatkan permukaan gelombang merupakan permukaan yang tak beraturan.

Permukaan gelombang yang tak beraturan ini selalu berubah-ubah dari waktu ke waktu dan bervariasi dari tempat yang satu ke tempat yang lain tergantung dari kecepatan angin. Jadi dari interval ke interval, pola atau bentuk gelombang tak beraturan tak pernah berulang.

Berdasarkan uraian tersebut diatas, maka gelombang tak beraturan tidak dapat didefinisikan menurut pola atau bentuknya, tetapi menurut energi total dari semua gelombang yang ada.

II.3.1 PARAMETER GELOMBANG TAK BERATURAN

Dalam interval paruh pendek, parameter statistik dari *sea state* dianggap konstan, keadaan ini disebut dengan *stationary*. Teori dari stokastik *stationary* digunakan untuk menggambarkan kondisi *sea state*.

Adapun parameter yang digunakan dalam teori ini adalah :

- periode lintas nol T_z (rata-rata periode gelombang), adalah rata-rata nilai dari periode gelombang.
- tinggi gelombang significant (H_s) adalah rata-rata dari $\frac{1}{3}$ gelombang tertinggi dari gelombang yang ada.
- spektrum gelombang $S_{\eta\eta}(\omega)$ adalah spektrum energi dari elevasi permukaan air laut.

II.3.1.1 SPEKTRUM GELOMBANG

Superposisi dari gelombang-gelombang sinusoidal akan dapat menghasilkan gelombang tak beraturan (*irregular*). Bila ada 3 gelombang sinusoidal, maka distribusi total energi gelombang tak beraturan (*irregular*) nya adalah :

$$E_t = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot (\zeta_{a1}^2 + \zeta_{a2}^2 + \zeta_{a3}^2) \quad \left(\frac{\text{lb}}{\text{ft}}\right)$$

$$= \frac{\rho g}{25\omega} (\zeta_{a1}^2 + \zeta_{a2}^2 + \zeta_{a3}^2) \quad \left(\frac{\text{lb. sec}}{\text{ft}}\right) \quad \dots\dots\dots(\text{II.7})$$

Jadi gelombang *irregular* dapat dilukiskan sebagai hubungan antara energi dan frekwensi. Distribusi frekwensi terhadap energi disebut "Energi Spektrum".

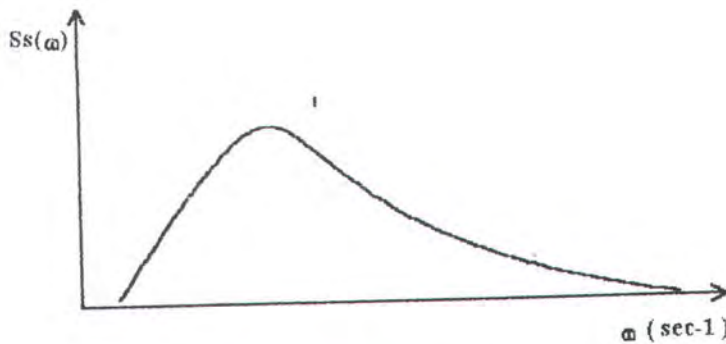
Total area dari distribusi energi gelombang pada persamaan II.7 adalah:

$$m_o = \frac{1}{2} (\zeta_{a1}^2 + \zeta_{a2}^2 + \zeta_{a3}^2) \quad \dots\dots\dots(\text{II.8})$$

Apabila total area (m_o) dibagi dengan *band width* ($\delta\omega$), maka akan diperoleh "Energi Density atau Spektral Density". ($S_{\eta\eta}(\omega)$).

Hubungan antara frekwensi (ω) dengan Spektral Density disebut "Wave Spektrum"

gbr.II.3.



Gbr.II.3 wave spectrum

Dari rumus tersebut diatas, dapat pula dirumuskan :

$$E = \rho \cdot g \cdot m_0$$

$$m_0 = \int_0^\infty S_{\eta\eta}(\omega) \cdot d\omega \quad \dots\dots\dots(\text{II.9})$$

Spektrum gelombang dapat diperoleh dari analisis pencatatan *time history* gelombang dan untuk usulan praktis, model dari spektra gelombang pada umumnya menggunakan ekspresi analitis dimana bentuk spektra digambarkan dengan parameter statistik, seperti H_s dan T_z . Beberapa spektra gelombang telah dirumuskan oleh para ahli, diantaranya spektra gelombang Pierson-Moskowitz (PM), JONSWAP, dan sebagainya. Untuk analisa kali ini akan digunakan spektra gelombang JONSWAP, yaitu

$$S_{\eta\eta}(f) = \alpha \cdot g^2 \cdot (2 \cdot \pi)^{-4} \cdot f^{-5} \exp\left(-1.25 \cdot (f/f_p)^{-4}\right) \gamma^a \quad \dots\dots\dots(\text{II.10})$$

$$a = \exp\left(-\frac{(f-f_p)^2}{2 \cdot \sigma^2 \cdot f_p^2}\right)$$

II.3.2 STATISTIK GELOMBANG KURUN WAKTU PANJANG

Seperti yang telah disebut diatas, parameter statistik dari pada kondisi laut diasumsikan konstan dalam interval paruh pendek dan parameter H_s dan T_z digunakan untuk menggambarkan suatu keadaan *sea state*. Pasangan H_s dan T_z hasil pengamatan dibagi kedalam kelas-kelas, dan nilai probabilitistik kejadian dari

masing-masing pasangan tersebut dituliskan dalam sebuah matrik ataupun sebuah tabel. Tabel inilah yang disebut diagram distribusi gelombang (*wave scatter diagram*).

II.3.3 TEORI STOKASTIK

Pengertian dasar dari teori ini adalah sebagai berikut (ref. 1) :



Gbr. II.4 Time history dari proses stokastik

Sifat dasar dari proses stokastik dapat diterangkan dengan proses *time history* seperti pada gbr. II.4 dimana nilai dari proses pada waktu t dinotasikan dengan $x(t)$. Nilai dari x pada sembarang waktu $t = t_0$ tidak dapat diprediksi secara tepat, tetapi dapat ditentukan probabilitistik dari nilai $x(t_0)$ tersebut dalam batas tertentu.

Adapun fungsi Probabilitas kerapatan (*probability density function*) dari pada x , $p(x)$ diartikan sebagai :

$$p(x) dx = \text{prob} (x \leq x(t) \leq (x + dx))$$

Dan fungsi distribusi kumulatif (*cumulative distribution function*) nya adalah integral dari fungsi probabilitas kerapatan, yaitu :

$$P(x) = \int_{-\infty}^x p(x) \cdot dx \quad \dots\dots\dots (II.11)$$

Nilai yang diharapkan terjadi dari proses adalah :

$$E(x) = \int_{-\infty}^{\infty} x.p(x).dx \quad \dots\dots\dots(\text{II.12})$$

Nilai yang diharapkan adalah sama dengan nilai rata-rata dari proses. Untuk langkah selanjutnya variasi permukaan air laut dari rata-rata garis air dianggap mempunyai rata-rata sama dengan nol, maka fungsi autokorelasinya adalah :

$$R_x(\tau) = E[\{x(t)\}^2] = \sigma_x^2 \quad \dots\dots\dots(\text{II.13})$$

dimana σ_x adalah standard deviasi dari proses.

Sehingga spektral density atau spektrum energi dari gelombang adalah :

$$S_x(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R_x(\tau).e^{-i\omega\tau}.d\tau \quad \dots\dots\dots(\text{II.14})$$

Energi dari gelombang harmonis adalah proporsional terhadap luasan dari pada amplitudo gelombang tersebut. Spektrum energi menunjukkan bagaimana energi gelombang tersebut didistribusikan pada interval frekwensi gelombang yang bervariasi gbr. II.5.

Momen ke-n dari pada spektrum energi tersebut adalah :

$$m_n = \int_0^{\infty} \omega^n .S_x(\omega).d\omega \quad \dots\dots\dots(\text{II.15})$$

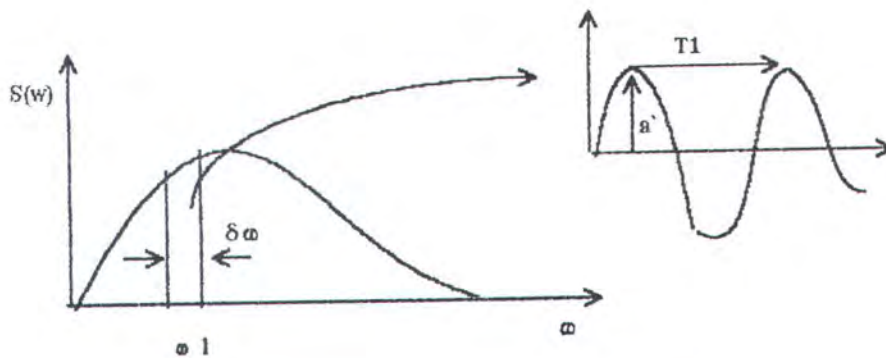
Momen ke-nol akan menghasilkan luasan dibawah kurve spektral yang mewakili energi total dari proses, sehingga :

$$m_0 = \sigma_x^2 \quad \dots\dots\dots(\text{II.16})$$

dan parameter lebar spektral adalah :

$$E = \left(1 - \frac{m_2^2}{m_0.m_4}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (\text{II.17})$$

Harga E tersebut bervariasi antara 0 - 1, bila E mendekati nol maka spektrum tersebut adalah *narrow band width* dan *time history* dari proses relatif lebih teratur dan halus (*smooth*). Bila harga E mendekati 1, spektrum itu adalah *broad band width* dan *time history* dari proses adalah bersifat tak beraturan bentuknya.



Gbr.II.5 Proses stokastik dan spektrum energi

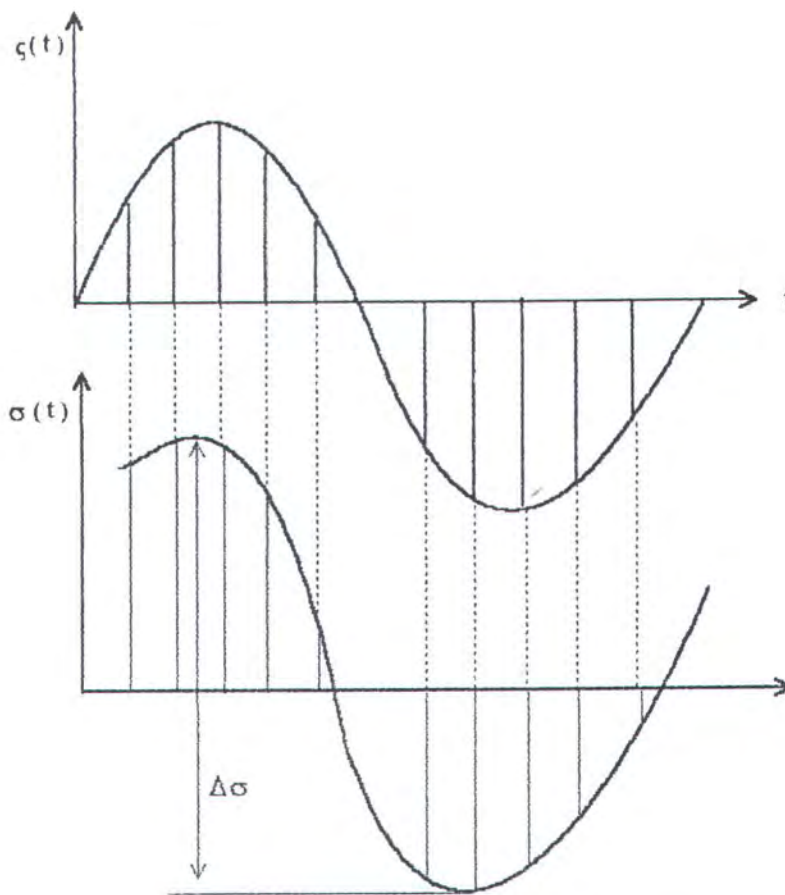
II.4 METODE DETERMINISTIK PERHITUNGAN RESPON

Dalam perhitungan deterministik dari pada beban gelombang, struktur dianggap dibebani dengan gelombang regular yang diwakili oleh tinggi gelombang (H), dan periode (T). Pengaruh dari arus dapat disertakan dalam perhitungan serta arah dari arus diasumsikan searah dengan arah gelombang, dan kecepatan dari arus dan gelombang dijumlahkan secara vektorial.

Ketika hubungan antara tinggi gelombang (H) dan respon adalah non linear, maka *respon-time history* dibatasi oleh perhitungan respon untuk beberapa posisi dari gelombang yang bekerja pada struktur. Jumlah dari beberapa posisi gelombang dipilih berdasarkan keakuratan yang diinginkan, hal ini terlihat pada gbr. II.6.

II.5 METODE SPEKTRAL PERHITUNGAN RESPON

Metode spektral menerapkan teori stokastik untuk menghitung respon beban gelombang untuk tiap *sea state* yang berpengaruh. Variabel dari pada spektrum respon, baik itu displasemen maupun tegangan diperoleh dengan mengkombinasikan spektrum gelombang dengan fungsi transfer, yaitu yang menghubungkan amplitudo gelombang



Gbr. II . 6 Perhitungan respon pada berbagai posisi gelombang

dengan amplitudo dari respon atau yang disebut juga *Respon Amplitudo Operator* (RAO). Dengan mengintegrasikan secara numerik dari pada spektrum respon, maka varian dari respon dan momen spektral dapat diperoleh.

II.5.1 FUNGSI TRANSFER (RAO)

Respon dari sebuah Bangunan Lepas Pantai baik yang terpancang (*fixed*), maupun yang terapung (*floating*) akibat eksitasi gelombang regular pada frekuensi tertentu, dapat ditentukan dengan metode yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Amplitudo dari respon pada umumnya telah dinormalisir dengan amplitudo gelombang.

Untuk sistim yang bersifat linear, normalisasi dari respon tidak bervariasi (*invariant*) terhadap amplitudo gelombang pada suatu frekuensi. Jika normalisasi fungsi respon dilakukan untuk sekelompok frekuensi gelombang dengan range tertentu, maka fungsi ini disebut *Response Amplitudo Operators* (RAO) atau disebut juga fungsi transfer.

Nilai RAO dari pada frekwensi ω dapat ditentukan dari perhitungan respon yang ditimbulkan oleh gelombang harmonis dengan tinggi gelombang H, dan periode T, yaitu ratio antara amplitudo gelombang dan amplitudo respon. Prosedur ini diulang untuk frekwensi ω yang lain.

Prosedur tersebut diatas memakai asumsi bahwa antara tinggi gelombang dan respon adalah merupakan hubungan yang linear pada periode gelombang tertentu, padahal sebenarnya tidaklah demikian, karena gaya drag pada persamaan Morison yang timbul adalah bersifat non linear, yang akan menyebabkan akibat yang bervariasi. Agar prosedur diatas dapat berlaku maka linearisasi harus dilakukan pada gaya drag (ref. 2).

Pada suatu proses yang berfluktuasi, maka respon yang ditimbulkannya dapat diperoleh dengan menggunakan pendekatan respon spektra, yaitu sebagai *response energy density* dari pada suatu struktur, yang diakibatkan oleh *spectral density* dari gelombang. Untuk sistim yang bersifat linear, fungsi RAO adalah bentuk kuadrat, dan pada harga frekuensi yang diberikan kuadrat RAO tersebut dikalikan dengan spektrum gelombang untuk memperoleh respon spektra. Secara matematis hubungan tersebut dituliskan sebagai :

$$S_{\text{Response}}(f) = [\text{RAO}(f)]^2 \cdot S_{\eta}(f) \quad \dots\dots\dots(\text{II.19})$$

II.5.1.2 RAO DARI GAYA INERSIA - DRAG

Seperti yang telah disebutkan diatas, bahwa gaya gelombang yang bekerja pada suatu struktur adalah gaya inersia yang bersifat linear, dan gaya drag yang bersifat nonlinear. Jika gaya drag lebih dominan ketimbang gaya inersia, maka respon dari pada sistim bersifat nonlinear, sebaliknya jika gaya drag besarnya relatif kecil dibanding dengan gaya inersia, maka respon dari pada sistim lebih akurat dianggap bersifat linear, dan linearisasi pada gaya drag dapat diterima.

II.5.1.2.1 LINEARISASI GAYA DRAG

Berdasarkan persamaan Morison, gaya drag dirumuskan sebagai berikut:

$$dF_D = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_D \cdot w_x \cdot |w_x| \cdot dz \quad \dots\dots\dots(\text{II.19})$$

Untuk struktur vertikal, $v_x = w_x$.

v_x adalah vektor kecepatan partikel air, w_x adalah komponen kecepatan partikel air tegak lurus terhadap member.

$$w_x |w_x| = A \cdot w \quad \dots\dots\dots(\text{II.20})$$

Persamaan tersebut diatas adalah hasil aproksimasi dan oleh Borgman disarankan agar untuk mengambil bagian yang pertama sebagai aproksimasi untuk spektrum yang sesungguhnya (*auto covariance function*) dari gaya drag, sehingga persamaan II.19, menjadi : ref (2)

$$w_x \cdot |w_x| = \sqrt{\frac{8}{\pi}} \cdot \sigma(w_x) \cdot w \quad \dots\dots\dots(\text{II.21})$$

$\sigma(w_x)$ adalah standard deviasi dari w_x , dimana :

$$\sigma(w_x)^2 = \int_0^\infty \omega^2 \cdot e^{kz} \cdot S_{\eta\eta}(\omega) \cdot d\omega \quad \dots\dots\dots(\text{II.22})$$

Sehingga persamaan II.18 menjadi :

$$dF_D = \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot D \right) A \cdot \omega_x \quad \dots\dots\dots(\text{II.23})$$

Setelah dilakukan manipulasi aljabar, maka :

$$A = \sqrt{\frac{8}{\pi}} \cdot \sigma(\omega_x) \quad \dots\dots\dots(\text{II.24})$$

Jadi linearisasi stokastik diperoleh dari penjumlahan kecepatan partikel air pada suatu titik yang terdistribusi normal dan menentukan suatu fungsi untuk meminimumkan kesalahan aproksimasi luasan rata-rata dari non linear gaya drag.

II.5.1.2.2 LINEARISASI SPEKTRA GAYA DRAG

Time history dari pada gelombang akan menghasilkan spectral density komponen kecepatan dan percepatan partikel gelombang yang dibentuk dari spektrum gelombang dengan menggunakan teori gelombang linear dan simulasi montecarlo (ref.1)

Spectral density dari pada kecepatan horisontal partikel gelombang pada elevasi z dari dasar laut adalah (ref.3) :

$$S_{vv}(f) = \frac{(2.\pi.f)^2 . \cosh^2((2.\pi.f)^2 .z/g)}{\sinh^2((2.\pi.f)^2 .d/g)} . S_{\eta\eta}(f) \quad \dots\dots\dots(\text{II.25})$$

Spektral density dari pada percepatan horisontal partikel gelombang pada elevasi z , adalah :

$$S_{aa}(f) = \frac{(2.\pi.f)^4 . \cosh^2((2.\pi.f)^2 .z/g)}{\sinh^2((2.\pi.f)^2 .d/g)} . S_{\eta\eta}(f) \quad \dots\dots\dots(\text{II.26})$$

Gaya hidrodinamis dihitung pada langkah-langkah diskrit waktu dan respon dari struktur pada masing-masing langkah dihitung dengan menggunakan prosedur integrasi numerik . Sedangkan distribusi dari amplitudo respon dalam suatu *sea state* dapat diperoleh dari perhitungan dari amplitudo-amplitudo secara langsung dari *time history*. *Spectral density* dari gaya gelombang yang bekerja pada silinder persatuan panjang dapat ditentukan dengan persamaan Morison, yaitu (ref.3) :

$$F(t) = C_1 |V(t)|.V(t) + C_2.A(t) \quad \dots\dots\dots(\text{II.27})$$

dimana $F(t)$ adalah time history dari komponen gaya horisontal yang bekerja pada silinder persatuan panjang. Persamaan Morison tersebut merupakan fungsi waktu dan sebagai aproksimasi, Borgman (1969) diubah sebagai fungsi frekuensi (*frequency domain*) menjadi :

$$S_{FF}(f) = \frac{C_1^2 \sigma_{vv}^2}{\pi} \left[\frac{8.S_{vv}(f)}{\sigma_{vv}^2} + \dots \right] + C_2^2.S_{aa}(f) \quad \dots \dots \dots (II.28)$$

Sehingga spektrum dari gaya total gelombang S_{FF} adalah dengan mengintegrasikan persamaan II.27 terhadap kedalaman z , yaitu :

$$S_{FF}(f) = \int_0^{\infty} \frac{C_1^2 \cdot \sigma_{vv}^2}{\pi} \cdot 8 \cdot (2\pi \cdot f)^2 \cdot \frac{\cosh^2((2\pi \cdot f)^2 \cdot z/g)}{\sinh^2((2\pi \cdot f)^2 \cdot d/g)} \cdot S_{\eta\eta}(f) \cdot df + \int_0^{\infty} C_2^2 (2\pi \cdot f)^4 \frac{\cosh^2((2\pi f)^2 \cdot z/g)}{\sinh^2((2\pi f)^2 d/g)} \cdot S_{\eta\eta}(f) \cdot df \quad \dots \dots \dots (II.29)$$

dimana $C_1 = \frac{C_D \cdot \rho \cdot D}{2}$, dan $C_2 = \frac{C_m \cdot \rho \cdot \pi \cdot D^2}{4}$

Persamaan II.28 identik dengan persamaan berikut :

$$S_{FF}(f) = \left([RAO_{Drag}]^2 + [RAO_{Inertia}]^2 \right) \cdot S_{\eta\eta}(f) \quad \dots \dots \dots (II.30)$$

atau :

$$S_{FF}(f) = [RAO_{total}]^2 \cdot S_{\eta\eta}(f) \quad \dots \dots \dots (II.31)$$

Dari persamaan II.29 dan II.30 dapat terlihat bahwa linearisasi pada spektra gaya drag dapat dituliskan hubungannya sebagai RAO_{Drag} dengan spektra gelombang.

II.5.1.3 FUNGSI TRANSFER GAYA KE DISPLASEMEN

Sifat fisik yang penting dari setiap struktur yang elastik secara linear yang mengalami eksitasi yang bersifat dinamis meliputi massa, sifat elastis (kekakuan), peredaman, dan pembebanannya. Dalam model yang sederhana dari suatu sistim yang mempunyai satu derajat kebebasan (SDOF) masing-masing sifat tersebut dapat diasumsikan terpusat pada sebuah elemen fisik tunggal.

Dalam perumusan persamaan gerak, gaya-gaya yang bekerja dalam arah derajat kebebasan meliputi beban yang dikenakan $F(t)$, dan tiga buah gaya perlawanannya, yaitu : gaya inersia (f_i), gaya peredaman (f_d), dan gaya pegas elastis (f_s) gbr II.7.

Secara matematis hubungannya dituliskan sebagai :

$$M \ddot{u} + C \dot{u} + k.u = F(t) \quad \dots\dots\dots(\text{II.32})$$

dimana :

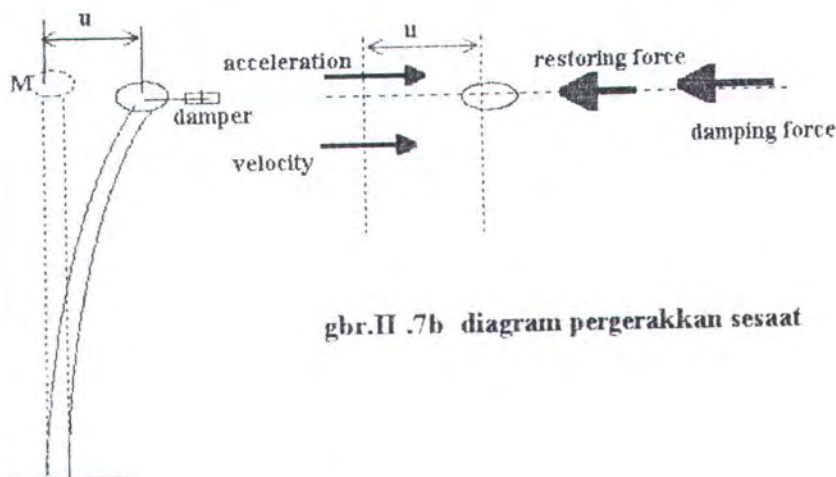
- M adalah pusat massa
- C adalah damping , $C = 2.\xi.\sqrt{KM}$
- ξ adalah damping ratio
- k adalah kekakuan dari struktur.

dari persamaan II.32 diperoleh fungsi transfer displasemen, sebagai (ref.4) :

$$|H(f)| = \left[\frac{1}{(K - M(2.\pi.f)^2)^2 + (2.\pi.f.C)^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots(\text{II.33})$$

substitusi

$$N_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}} \quad \text{dan} \quad \xi = \frac{C}{2.\sqrt{KM}} \quad \text{kedalam persamaan II.33}$$



gbr.II .7b diagram pergerakan sesaat

gbr.II.7a pemodelan dari SDOF

$$|H(f)| = \left[\frac{1/k^2}{\left(1 - \left(\frac{f}{N_1}\right)^2\right)^2 + \left(2 \cdot \xi \cdot \frac{f}{N_1}\right)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots(\text{II.34})$$

sehingga, dapat dituliskan hubungan displasemen - gaya, sebagai :

$$\begin{aligned} u(t) &= |H(f)| \cdot F(t) \\ u_{\max} &= |H(f)| \cdot F_{\max} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(\text{II.35})$$

II.5.1.4 FUNGSI TRANSFER DISPLASEMEN KE MOMEN

RAO momen total adalah resultan RAO momen statis dengan RAO momen yang timbul karena efek dinamis. RAO momen statis dapat diperoleh dengan mengalikan RAO dari gaya pada persamaan II.29 dengan z (kedalaman) , yang kemudian dilakukan integrasi numerik untuk memperoleh RAO dari momen statis totalnya . Sedang RAO momen dinamis nya diperoleh dengan mengalikan persamaan II.35 dengan gaya berat dari struktur , yaitu:

$$RAO_{\text{momen, dinamis}} = u_{\max} \cdot Q \quad \dots\dots\dots(\text{II.36})$$

sehingga dapat dirumuskan :

$$RAO_{\text{momen, total}} = RAO_{\text{momen, statis}} + RAO_{\text{momen, dinamis}} \quad \dots\dots\dots(\text{II.37})$$

II.6 DISTRIBUSI KURUN WAKTU PANJANG DARI TEGANGAN

Untuk mendapatkan distribusi kurun waktu panjang dari tegangan yang terjadi, dapat dipakai beberapa analisa, yaitu (ref.1) :

1. Analisa dengan pendekatan deterministik.
2. Analisa dengan pendekatan stokastik.
3. Analisa yang telah disederhanakan (*simplified analysis*)

Pada analisa selanjutnya akan digunakan pendekatan stokastik.

II.6.1 PENDEKATAN DETERMINISTIK

Pendekatan deterministik untuk menghitung distribusi tegangan paruh panjang adalah didasarkan pada metode deterministik dari perhitungan gaya gelombang yang telah dijelaskan pada bagian II.2, dimana mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

i. Seleksi arah gelombang yang mayoritas.

Arah penyebaran gelombang mayoritas harus diperhatikan termasuk arah gelombang yang dapat menimbulkan tegangan yang besar pada komponen dari struktur. Keuntungan dapat diperoleh jika struktur bersifat simetri, sehingga penyebaran gelombang yang identik dengan arah berlawanan menyebabkan tegangan yang sama pada struktur.

ii. Penentuan distribusi paruh panjang dari gelombang .

Untuk masing-masing arah gelombang yang dipertimbangkan distribusi kurun waktu panjang dari pada tinggi gelombang harus ditentukan pula, dan kejadian total dari pada gelombang yang bekerja selama umur struktur tersebut adalah penjumlahan dari pada gelombang-gelombang dari semua arah yang telah ditentukan.

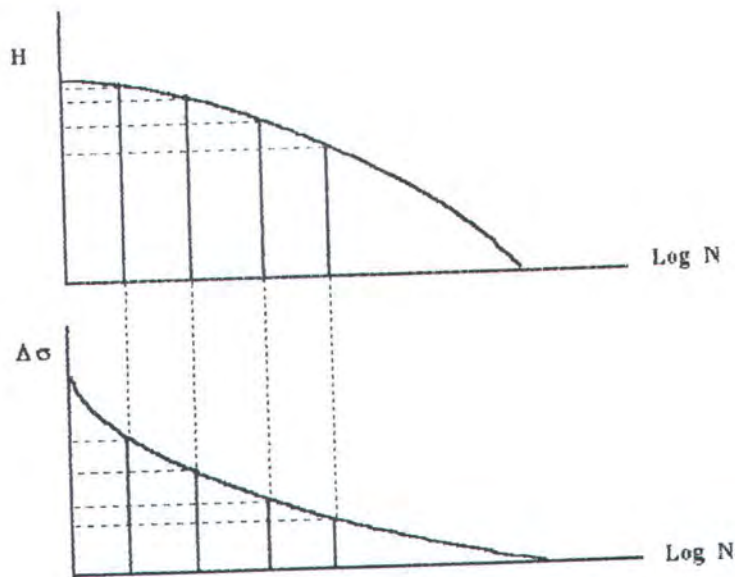
iii. Perhitungan rentang tegangan (*stress range*)

Untuk masing-masing gelombang (arah - tinggi - periode) tertentu, dapat ditentukan tegangan yang ditimbulkannya, yaitu :

$$\Delta\sigma = \frac{M.y}{I} \quad \dots\dots\dots(\text{II.38})$$

iiii. Penentuan distribusi tegangan

Penentuan distribusi kurun waktu panjang dari tegangan dapat menggunakan metodologi yang tampak pada gambar II.8 . $\Delta\sigma$ adalah stress range yang ditimbulkan oleh gelombang dengan arah tertentu pada ketinggian H_i sebagai ordinatnya, dan $\log N$ adalah logaritma dari jumlah gelombang pada ketinggian H_i sebagai absis nya.



Gbr . II.8 Perhitungan diagram kejadian stress range dari diagram kejadian tinggi gelombang .

II.6.2 PENDEKATAN STOKASTIK

Pendekatan stokastik yang digunakan untuk menentukan distribusi kurun waktu panjang dari pada stress range ($\Delta\sigma$) berdasarkan metode stokastik perhitungan gaya gelombang seperti yang telah dijelaskan pada bagian II.3 yaitu mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

i . Seleksi arah gelombang mayoritas

arah penyebaran gelombang yang mayoritas harus diperhatikan termasuk pula untuk arah gelombang yang mengakibatkan tegangan yang tinggi pada bagian dari struktur.

ii. Untuk masing-masing arah gelombang, tentukan jumlah dari pada kejadian yang dapat mewakili distribusi paruh panjang dari gelombang. Hal ini berhubungan dengan durasi dari pada masing-masing *sea state*.

iii. Untuk tiap *sea state* tentukan distribusi kurun waktu pendek dari *stress range* dengan menggunakan metode yang telah dijelaskan pada bagian II.5

iii. Kombinasikan hasil tersebut untuk semua *sea state* untuk mendapatkan kurun waktu panjang dari pada *stress range*.

II.6.3 PENYEDERHANAAN DISTRIBUSI KURUN WAKTU PANJANG

Penyederhanaan distribusi paruh panjang dari pada *stress range* diperoleh dari penyederhanaan distribusi tinggi gelombang dan pengetahuan umum dari pada hubungan antara tinggi gelombang dan respon yang ditimbulkannya pada struktur.

BAB III

ANALISA PERILAKU DAN KELELAHAN TIANG

PANCANG TERHADAP BEBAN LATERAL

III.1 PENDAHULUAN

Dewasa ini kelelahan menjadi salah satu faktor utama dalam menentukan ukuran kekuatan suatu struktur, khususnya dalam menghadapi beban yang bersifat siklis. Hal ini tidaklah berlebihan, karena dibawah pengaruh beban siklis, kekuatan dari struktur secara bertahap namun pasti akan mengalami penurunan, dimulai dengan timbulnya keretakan dan selanjutnya diikuti dengan kepecahan yang akan mengakibatkan keruntuhan pada struktur, walaupun beban yang bekerja menimbulkan tegangan yang masih dibawah tegangan ijinnya .

Bangunan Lepas Pantai, seperti *monopod structure* adalah salah satu dari jenis struktur yang sangat dipengaruhi (peka) oleh faktor kelelahan, mengingat beban yang dominan bekerja adalah beban gelombang yang bersifat siklis yang dapat menimbulkan akumulasi tegangan berulang pada struktur itu, dalam kasus ini adalah pondasi tiang pancang (*pile*) nya.

Pada umumnya besarnya tegangan berulang dan akumulasi kerusakan yang ditimbulkannya untuk tiap-tiap bagian dari struktur tidaklah sama . Untuk itu dalam menentukan dibagian mana dari tiang pancang tersebut yang sangat peka atau kritis (bagian dari pile yang mengalami tegangan yang maksimum) terhadap beban gelombang dapat dilakukan analisa perilaku tiang pancang dan interaksinya terhadap

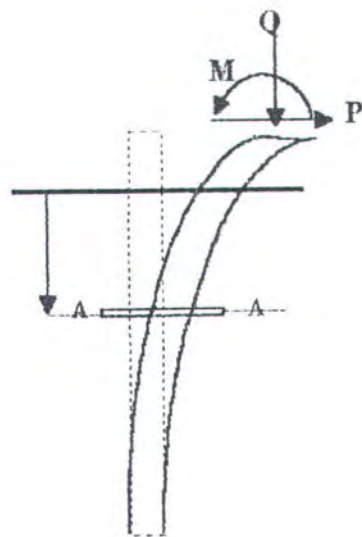
tanah disekitarnya dengan menggunakan pendekatan metode beda hingga (*finite difference method*)

III.2 ANALISA PERILAKU PONDASI TIANG PANCANG

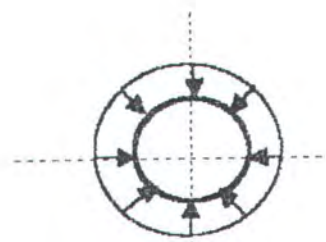
Kriteria untuk pondasi tiang pancang yang dibebani lateral yang akan diuraikan pada sub bab berikut ini adalah sesuai dengan yang ditulis oleh McClelland dan Focht, serta Matlock dan Reese.

Pada gbr.III.1a, ditunjukkan sebuah tiang pancang dengan sistim pembebanan (gaya lateral P , dan gaya aksial Q serta momen M) yang bekerja pada bagian atas nya. Dibawah sistim beban tersebut, tiang pancang bergerak atau berinteraksi dengan tanah disekitarnya. Gbr.III.1b, menunjukkan distribusi dari tekanan tanah (*earth pressure*) disekeliling tiang pancang pada kedalaman x_i sebelum pembebanan. Dan gbr. III.1c distribusi dari tekanan tanah setelah tiang pancang tersebut mengalami pembebanan. Pada kedalaman x_i , dimana tiang pancang tersebut bergerak ke arah lateral sejauh y_i dan reaksi tanah terhadap pergerakan lateral dari tiang pancang adalah p_i yang mewakili resultan dari pada semua tekanan tanah yang bekerja per unit panjang dari tiang pancang tersebut pada kedalaman x_i .

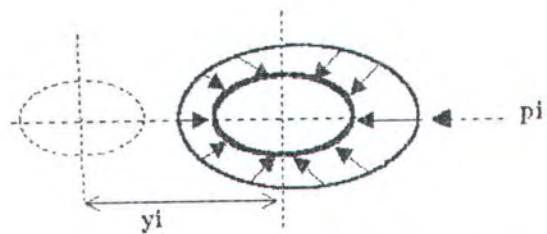
Adapun hubungan antara p_i dan y_i gbr. III.1d tergantung dari beberapa faktor, seperti : karakteristik tanah, kekakuan dari pada pile, metode instalasi, serta karakter dari beban yang bekerja. Terdapat berbagai macam hubungan antara p dan y yang dapat diperoleh baik dengan penyelidikan dan uji coba secara langsung di lapangan atau secara analitis. Untuk masing-masing kedalaman sepanjang pile terdapat hubungan p - y yang berbeda. Gambar III.1e menunjukkan kumpulan dari pada kurva yang menggambarkan hubungan p - y untuk tiap-tiap kedalaman.



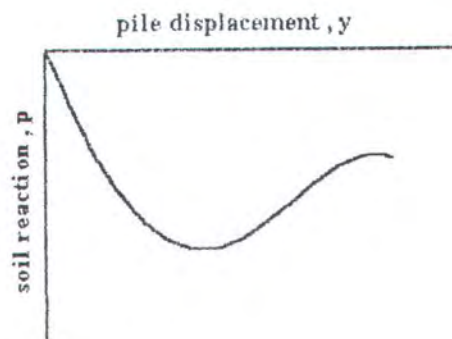
a. Pile dengan sistim pembebanan.



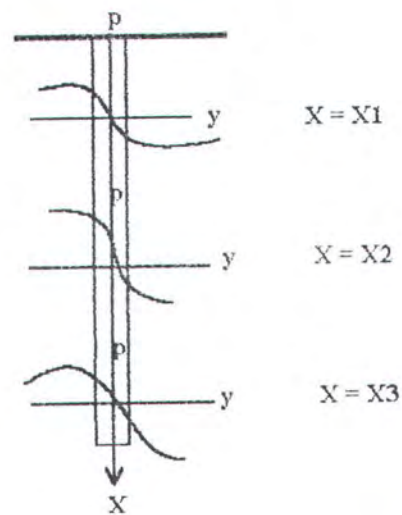
b. potongan A-A untuk distribusi tekanan lateral tanah sebelum pembebanan



c. potongan A-A untuk distribusi tekanan lateral tanah sesudah pembebanan.



d. kurva p-y



e. kumpulan dari kurva p-y sepanjang pile.

Gambar III.1 Interaksi pile - tanah
(after Reese, Cox, and Koop, copy right by OTC)

Dari kurva p-y tersebut dapat diperoleh modulus elastisitas tanah yang sangat berpengaruh dalam menentukan besarnya respon dari tiang pancang.

III.3 KURVA P - Y

Karena dalam kasus ini pile tersebut berada pada type tanah lempung jenuh yang lembut (*saturated soft clay*) dan beban yang bekerja adalah beban gelombang yang bersifat siklis, maka kriteria yang digunakan untuk membuat kurva ini adalah *short term cyclic loading* pada *soft clays*. Kumpulan dari kurva p-y sangat dibutuhkan dalam menganalisis perilaku pile terhadap beban lateral. Adapun prosedur untuk membuat kurva p-y ini adalah sebagai berikut:

i . Untuk masing-masing kedalaman x, seleksi tahanan ultimat lateral tanah (p_u) :

$$\text{a. Dekat permukaan : } p_u = 3.c.b + \gamma.b.x + J.c.x \quad \text{.....(III.1)}$$

$$\text{b. pada kedalaman yang dipertimbangkan : } p_u = 9.c.b \quad \text{.....(III.2)}$$

dimana :

-c adalah kekuatan geser (*shear strength*) tanah .

-b adalah diameter dari pile .

- γ adalah berat jenis tanah terendam air.

-J adalah empirical constan, dimana untuk kasus ini besarnya adalah 0,5.

ii. Tentukan harga dari ϵ_c , yaitu strain yang menghasilkan 50 % tegangan ultimat.

iii. Tentukan harga awal dari kurva dengan persamaan :

$$p/p_u = 0,5.(y/y_c)^{\frac{1}{3}} \quad \text{.....(III.3)}$$

iiii. Titik d pada gbr. III.2 nilai P/P_u adalah 0,72 , kurva kontinu sebagai garis lurus

dengan kemiringan yang besarnya tergantung pada ratio dari x/x_r , dimana :

$$x_r = \frac{6.b.c}{\gamma.b+J.c} \quad \text{.....(III.4)}$$

dimana x_r adalah batas dari daerah pengurangan kekuatan geser tanah

iv. Diantara titik d dan titik f, yaitu pada saat $3 < y/y_c < 15$, persamaan kurva untuk kedalaman $(x) < x_r$ adalah :percabangan plastis pada kurva dimulai. Sehingga persamaan kurva nya menjadi :

$$p/p_u = 0.72.[(x/x_r) + (1 - x/x_r).(15.y_c - y)/12.y_c] \dots\dots\dots(III.5)$$

sedang untuk $x > x_r$, persamaannya adalah :

$$p/p_u = 0.72 \dots\dots\dots(III.6)$$

terlihat pada titik f percabangan plastis pada kurva dimulai.

-Sesudah titik f, yaitu pada saat $y/y_c > 15$, persamaan kurvanya adalah :

$$p/p_u = 0.72.(x/x_r) \dots\dots\dots(III.7)$$

Harga kedalaman, x tersebut diatas dalam satuan feet.

Untuk analisa selanjutnya, pile yang berdiameter 4 feet yang panjangnya 100 feet, dibagi menjadi 40 segman yang tiap-tiap segman panjangnya 2,5 feet.

Harga y_c sebagai pengontrol displasemen adalah :

$$y_c = 2,5.850.b \text{ inch} \dots\dots\dots(III.8)$$

Dari keterangan tersebut diatas maka perumusannya adalah sebagai berikut :

1. untuk $0 \leq x \leq x_r \rightarrow p_u = 3.c.b + \gamma.b.x + J.c.x$

$$0 \leq y \leq 3.y_c \rightarrow p = 0.5.p_u.(y/y_c)^{\frac{1}{3}}$$

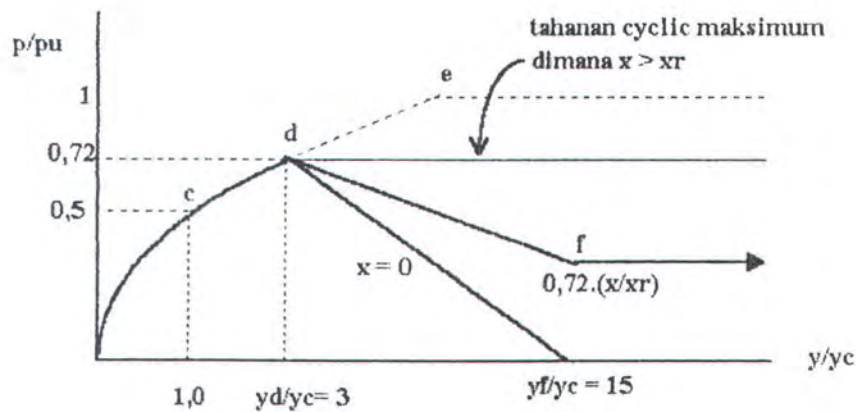
$$3.y_c < y \leq 15.y_c \rightarrow p = 0.72.p_u[(x/x_r) + (1 - x/x_r)(15.y_c - y)/12.y_c]$$

$$y \geq 15.y_c \rightarrow p = 0.72.p_u.(x/x_r)$$

2. untuk $x > x_r \rightarrow p_u = 9.c.b$

$$0 \leq y \leq y_c \rightarrow p = 0.5.p_u.(y/y_c)^{\frac{1}{3}}$$

$$y > 3.y_c \rightarrow p = 0.72.p_u$$



gbr. III.2 Kurva p-y untuk beban cyclic pada soft clay
(after Matlock copy right by OTC)

III.4 MODEL BEAM - COLUMN

Untuk menganalisis perilaku pile dipakai metode aproksimasi, interaksi pile - tanah dimodelkan dan dievaluasi secara matematis, dimana pile dimodelkan sebagai *beam - column* 2 dimensi gbr. III.3 dan untuk menganalisisnya menggunakan metode beda hingga yang berdasarkan pada teori *beam on elastic foundation*.

III.4.1 RESPON LATERAL

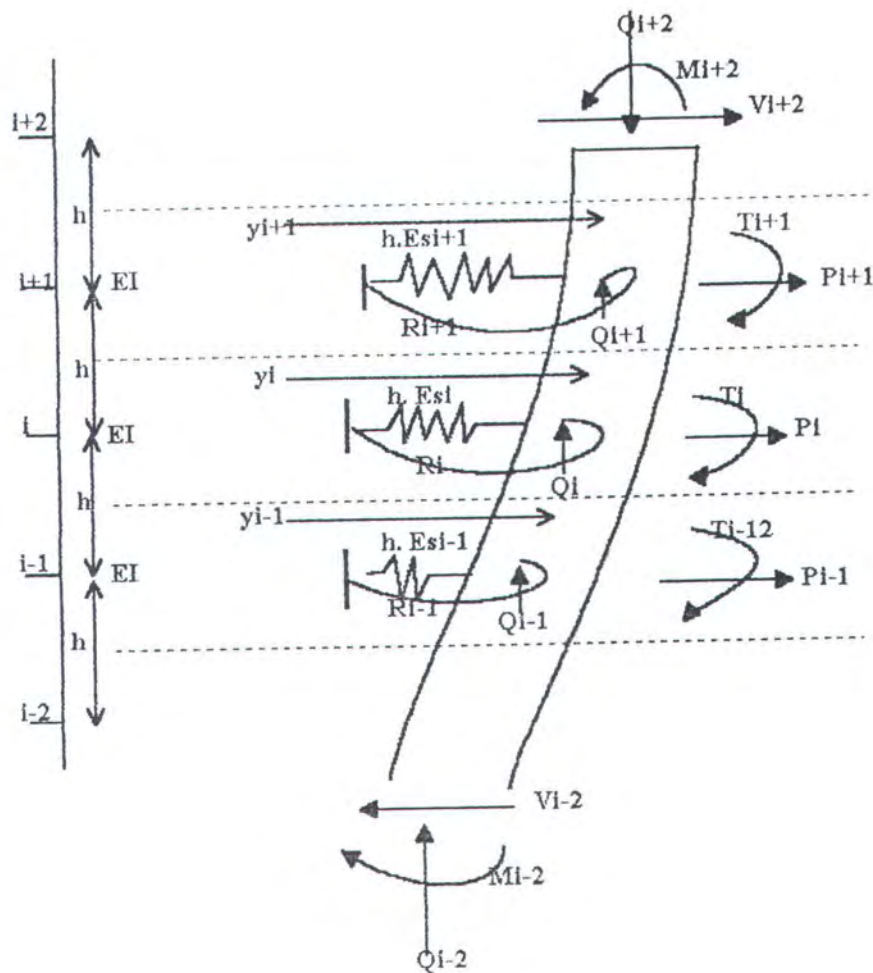
Respon dari pile terhadap beban lateral adalah sebagai fungsi dari karakteristik beban - displasemen dari pada tanah dan karakteristik bending dari pada pile, yang ditampilkan secara matematis dengan persamaan diferensial yang mencakup pengaruh dari pada beban aksial, momen luar yang bekerja, dan *rotational restraint*.

Persamaan untuk kurva elastis nya adalah :

$$y = f_0(x) \dots\dots\dots(III.9)$$

slope dari kurva tersebut adalah:

$$\frac{dy}{dx} = \dot{f}_0(x) \dots\dots\dots(III.10)$$



Gbr. III.3 Model beam - column.

momen :

$$\frac{EId^2y}{dx^2} = f(w_x) + \sum [T + R \dot{f}_0(x)] + Q(y_0 - ?) \dots\dots\dots(III.11)$$

perubahan momen adalah :

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{EId^2y}{dx^2} \right) = \dot{f}(w_x) - \frac{T+R \dot{f}_0(x)}{dx} - \frac{d(Q.y)}{dx} \dots\dots\dots(III.12)$$

laju perubahan momen adalah :

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(\frac{EId^2y}{dx^2} \right) = \ddot{f}(w_x) + \frac{d}{dx} \left(\frac{T+R \dot{f}_0(x)}{dx} \right) - \frac{d^2(Q.y)}{dx^2} \dots\dots\dots(III.13)$$

dimana $f(W_x)$ adalah fungsi dari beban lateral, T adalah momen luar yang bekerja, R adalah *diskrit rotational restraint*, dan Q adalah beban aksial yang semuanya bekerja pada daerah x.

Sifat nonlinear beban - displasemen (p-y) dari pada tanah dapat diaproksimasi dengan menggunakan atau membuat slope dari kurva p-y tersebut gbr.

III.4, maka :

$$w_s = -(p_s + E_s \cdot y)$$

sehingga $\ddot{f}(w_x) = w_s = -(p_s + E_s \cdot y)$ (III.14)

substitusi ke persamaan III.9 , sehingga diperoleh :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} \left(\frac{EI d^2 y}{dx^2} \right) - \frac{d}{dx} \left(\frac{R \dot{f}(x)}{dx} \right) + \frac{d^2(Qy)}{dx^2} + E_s y = -p_s + \frac{d}{dx} \left(\frac{T}{dx} \right)$$
(III.15)

Persamaan diferensial tersebut diatas adalah persamaan yang dapat menggambarkan respon lateral dari pada pile yang telah dimodelkan sebelumnya. Untuk analisa selanjutnya untuk alasan praktis harga *rotational restrain* (R) adalah nol, dan momen yang bekerja disekeliling pile (T) adalah nol, sehingga persamaan III.15 menjadi:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(\frac{EI d^2 y}{dx^2} \right) + \frac{d^2(Qy)}{dx^2} + E_s y = -p_s$$
(III.16)

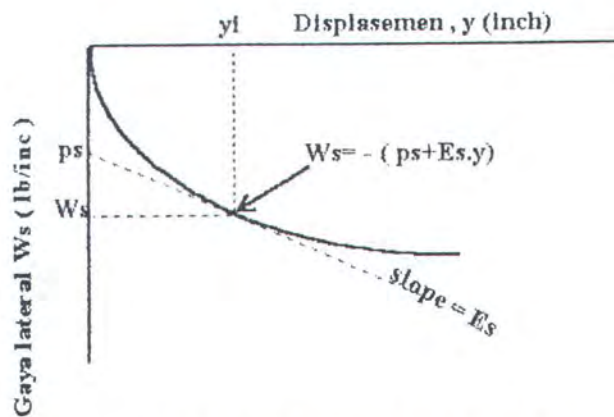
III.4.2 PERSAMAAN BEAM - COLUMN

Untuk menyelesaikan persamaan III.16, dipakai aproksimasi metode beda hingga (*finite difference method*) dengan pendekatan *central difference*, yaitu :

$$a_i y_{i-2} + b_i y_{i-1} + c_i y_i + d_i y_{i+1} + e_i y_{i+2} = f_i$$
(III.17)

dimana, setelah dilakukan perhitungan menghasilkan :

$$\begin{aligned} a_i &= EI \\ b_i &= -4 \cdot EI + h^2 Q_{i-1} \\ c_i &= 6EI - 2h^3 Q_i + h^4 E_s \\ d_i &= -4EI + h^2 Q_{i+1} \\ e_i &= EI \\ f_i &= -h^3 p_s \end{aligned}$$
(III.18)



Gbr. III.4 Karakter dari kurva p-y.

Untuk analisa selanjutnya beban aksial (Q) yang bekerja dianggap konstan untuk tiap-tiap elemen.

III.4.3 KONDISI BATAS

Dalam analisa ini, jika pile terbagi menjadi n elemen maka akan dihasilkan $n+1$ persamaan dan $n+5$ variabel y yang tidak diketahui. Empat persamaan yang dibutuhkan lagi untuk mengevaluasi nilai dari y dapat diperoleh dari kondisi batas terhadap tiap-tiap ujung dari pile tersebut, yang masing-masing menghasilkan dua persamaan. Kondisi batas itu meliputi *rotational* dan *translational constrain* yang dapat diekpresikan dengan pendekatan beda hingga, yaitu :

Untuk *rotational constraint* : $b_r y_{e-1} + c_r y_e + d_r y_{e+1} = f_r$.

Untuk *translational constraint* : $a_t y_{e-2} + b_t y_{e-1} + c_t y_e + d_t y_{e+1} + e_t y_{e+2} = f_t$

dimana nilai dari koefisien tersebut dapat dilihat pada tabel III.1

KOEFSISIEN	ROTATIONAL			TRANSLATIONAL	
	MOMEN	SLOPE	M:S RATIO	LOAD	DISPLACEMENT
a	--	--	--	Fe-1	0
b	Fe	1	Fe+0,5.h.Re	-2Fe-1	0
c	-2Fe	0	0	Fe-1 - Fe+1	1
d	Fe	1	Fe-0,5.h.Re	2Fe+1	0
e	--	---	--	-Fe+1	0
f	h ² Me	2hSe	0	2.h ³ Pe	Ye

Tabel III . 1 Koefisien untuk kondisi batas dalam persamaan beam - column.

Dimana nilai dari kekakuan pile ($F_c = EI$) adalah *uniform*.

Dengan memasukkan koefisien yang bersesuaian dari tabel tersebut kedalam persamaan III.19 maka diperoleh :

Untuk node ke-nol , dimana momen dan gaya gesernya adalah nol maka :

$$\begin{aligned}
 y_{-1} &= 2y_0 - y_1 \\
 y_{-2} &= -4y_0 + 4y_1 - y_2
 \end{aligned}
 \tag{III.20}$$

Untuk node ke-40, dimana momen yang bekerja adalah M, dan gaya geser sebesar P, maka :

$$\begin{aligned}
 y_{41} &= \frac{h^2 M}{EI} - y_{39} + 2y_{40} \\
 y_{42} &= y_{38} - 4y_{39} + 4y_{40} + \frac{2h^2 M - 2h^3 P}{EI}
 \end{aligned}
 \tag{III.21}$$

Setelah semua harga y dievaluasi, maka dapat ditentukan momen dalam tiap-tiap elemen, yaitu :

$$M_i = \frac{EI}{h^2} (y_{i+1} - y_i + y_{i-1})
 \tag{III.22}$$

Sedang *shear* tiap elemen adalah :

$$V_i = (M_{i+1} - M_{i-1}) / 2.h$$

dan tegangan ke-i (σ_i) adalah :

$$\sigma_i = \frac{M_i r}{I}
 \tag{III.23}$$

III.5 ANALISIS KELELAHAN TIANG PANCANG

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa dibawah pengaruh beban siklis, maka akan menimbulkan beban berulang yang bekerja pada struktur. Pengaruh dari beban tersebut, lambat laun akan terakumulasi di tiap-tiap titik dimana beban itu bekerja, sehingga secara bertahap akan menyebabkan menurunnya kekuatan dari struktur yang dapat diikuti dengan kegagalan struktur tersebut.

Pada umumnya ada dua metoda yang bersifat deterministik yang dapat digunakan dalam menganalisa faktor kelelahan suatu struktur, yaitu : metoda analisis spektral penuh (*full spectral method*) dan metoda analisis kelelahan yang disederhanakan (*simplified approach*). Dan dalam analisa kali ini memakai metode spektral penuh.

III.5.1 ANALISIS SPEKTRAL PENUH

Asumsi utama yang dilakukan disini adalah bahwa kerusakan berupa kelelahan individu yang ditimbulkan oleh tegangan yang berbeda akan terakumulasi di tempat tersebut, dan ketika kerusakan yang telah terakumulasi tersebut menjangkau kesatuan dari pada joint atau *cross-section* maka dikatakan bahwa struktur tersebut mengalami kegagalan. Hal ini pada umumnya digunakan untuk menggambarkan kriteria dalam fenomena kelelahan (*fatigue*). Salah satu metoda yang masih banyak digunakan saat ini adalah metoda yang diperkenalkan oleh Palmgren - Miner (1945) yaitu yang dikenal sebagai hukum kerusakan kumulatif. "Dalam hipotesanya, Miner mengasumsikan bahwa kerusakan kumulatif suatu struktur ditimbulkan oleh kontribusi siklus tiap tegangan tertentu, dengan amplitudo S_i , dari proses keseluruhan yang

bersifat acak, yang seterusnya mengakibatkan kelelahan dengan proporsi tertentu " (ref.7) , sehingga kerusakan yang ditimbulkan oleh tegangan ke-i adalah :

$$\delta D_i = \frac{i}{N_i} \quad \dots(\text{III.24})$$

$$N_i = \left(\frac{S_i}{S_f} \right)^{-k} \quad \dots(\text{III.25})$$

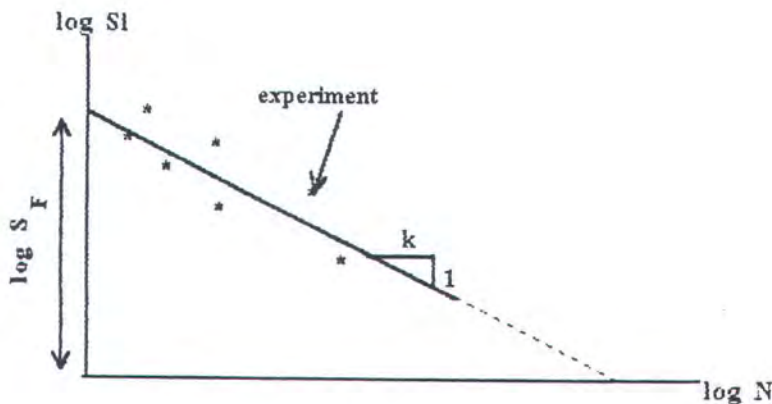
dimana :

S_i adalah rentang tegangan ke-i yang dihasilkan oleh *stress cycle* ke-i pada struktur.

N_i adalah jumlah *cycle* dari amplitudo tegangan S yang menyebabkan terjadinya kegagalan, dimana harga tersebut dapat diperoleh pada kurva S-N hasil percobaan, yang bersesuaian dengan harga amplitudo dari tegangan yang terjadi.

S_f dan k adalah parameter yang tergantung dari jenis material dan detail dari struktur.

Hubungan dari S_i dan N_i disebut dengan kurva S-N yang tampak sebagai fungsi linear pada skala logaritma.



gbr. III.5 Kurva S-N

Kerusakan kumulatif karena kelelahan oleh keseluruhan tegangan acak yang terjadi selama operasi kemudian dapat dihitung dari :

$$D = \sum_{i=1}^b \frac{n_i}{N_i} \quad \dots \dots \dots (\text{III.26})$$

dimana, n_i adalah jumlah siklus dari tegangan S_i yang sebenarnya terjadi akibat eksitasi beban luar pada struktur. Selanjutnya kegagalan struktur akan terjadi jika nilai D sama dengan satu.

Dalam analisa selanjutnya, jumlah siklus n_i yang berkaitan dengan rentang tegangan tertentu, akan dapat diperoleh dari analisis spektrum kurun waktu panjang (Djarmiko 1994) yaitu sebagai berikut :

- penentuan jumlah respon yang berupa rentang tegangan persatuan waktu (f_i), untuk tiap seastate yaitu :

$$f_i = \sqrt{\frac{m_{2i}}{m_{0i}}} \quad \text{.....(III.27)}$$

m_{2i} dan m_{0i} masing-masing adalah momen luasan dan luasan bidang dibawah kurva spektrum tegangan ke- i (S_{ssi}), yaitu :

$$m_{0i} = \int_0^{\infty} S_{ssi}(f) df \quad \text{.....(III.28)}$$

$$m_{2i} = \int_0^{\infty} f^2 S_{ssi}(f) df \quad \text{.....(III.29)}$$

dimana,

$$S_{ssi} = (RAO)_i^2 S_{\eta\eta}(f) \quad \text{.....(III.30)}$$

- penentuan respon total selama jangka waktu operasi T_L , yaitu dengan menambahkan jumlah respon persatuan waktu yang telah dikalikan dengan probabilitas kejadian dari tiap-tiap seastate, yaitu :

$$n_0 = (\sum_i .p_i .f_i) .T_L \quad \text{.....(III.31)}$$

- penentuan kurun waktu panjang, peluang kejadian rantang tegangan dengan harga tertentu dapat dihitung probabilitasnya untuk dilampaui sebagai berikut :

$$P_L(x) = \frac{\sum_i .p_i .f_i .p(x)}{\sum_i .p_i .f_i} \quad \text{.....(III.32)}$$

dimana x adalah interval dari tegangan, dan $p(x)$ adalah probabilitas bahwa x akan dilampaui dalam kurun waktu pendek, yaitu :

$$p(x)_i = \frac{x}{m_0} e^{-\frac{x}{m_0}} \dots\dots\dots(III.33)$$

- harga n_i dapat diperoleh dengan mengalikan persamaan III.31 dengan persamaan III.32.

III.5.2 ANALISIS DENGAN PENDEKATAN SEDERHANA

Pada tahap perancangan awal, analisa kelelahan dapat dilakukan dengan menerapkan pendekatan yang disederhanakan (Faulkner 1991) . Seperti yang dibahas oleh Almar-Naess (1985), Chen (1989) dan Faulkner , bahwa dalam pendekatan sederhana ini spektra gelombang, distribusi tegangan acak yang terjadi, serta akumulasi kerusakan telah diformulasikan dalam suatu fungsi tunggal. Formulasi tunggal ini diturunkan dengan prosedur sebagai berikut (ref. 1, ref. 7).

Jika suatu struktur mengalami *stress cycle* total sebesar n_0 , dan diasumsikan bahwa siklus tegangan tersebut adalah terdistribusi secara acak, dengan *probability density function* $p(\Delta\sigma)$. Hal ini berarti bahwa jumlah siklus dengan rentang tegangan antara $\Delta\sigma$ dan $(\Delta\sigma + d\Delta\sigma)$ adalah : $n_0 \cdot p(\Delta\sigma) \cdot d\Delta\sigma$. Sehingga ratio kerusakannya adalah :

$$D = \int_0^{\infty} \frac{n_0 \cdot p(\Delta\sigma)}{N(\Delta\sigma)} \cdot d\Delta\sigma \dots\dots\dots(III.34)$$

dimana $N(\Delta\sigma)$ adalah jumlah siklus yang menyebabkan kerusakan pada rentang tegangan $\Delta\sigma$, yaitu :

$$N = Sf \cdot \Delta\sigma^{-m} \dots\dots\dots(III.35)$$

dimana Sf dan m adalah parameter fatigue yang diperoleh dari S-N curve.

Dari persamaan III.35 dan III.34, diperoleh

$$D = \frac{no}{Sf} \int_0^{\infty} \Delta\sigma^m \cdot p(\Delta\sigma) \cdot d\Delta\sigma = \frac{no}{Sf} \cdot M_n \quad \dots\dots\dots(III.36)$$

Untuk struktur lepas pantai, fungsi kerapatan peluang dari pada rentang tegangan diekspresikan oleh dua parameter Weibull, yaitu :

$$p(\Delta\sigma) = \frac{\xi}{\lambda} \left(\frac{\Delta\sigma}{\lambda}\right)^{\xi-1} \exp\left[-\left(\frac{\Delta\sigma}{\lambda}\right)^\xi\right] \quad \dots\dots\dots(III.37)$$

dimana ξ dan λ masing-masing adalah parameter bentuk dan parameter skala distribusi, yang besarnya tergantung dari respon struktur terhadap beban lingkungan .

Bila diambil $\Delta\sigma_c$ sebagai tegangan ekstrim yang diharapkan akan terjadi sekali dalam siklus respon total no , maka hubungan kedua parameter tersebut adalah :

$$\lambda = \Delta\sigma_c \cdot (\ln no)^{\frac{-1}{\xi}} \quad \dots\dots\dots(III.38)$$

Dari persamaan III.38 dan III.36 diperoleh persamaan :

$$D = \frac{no}{Sf} \int_0^{\infty} \Delta\sigma^m \frac{\xi}{\lambda} \left(\frac{\Delta\sigma}{\lambda}\right)^{\xi-1} \exp\left[-\left(\frac{\Delta\sigma}{\lambda}\right)^\xi\right] d\Delta\sigma \quad \dots\dots\dots(III.39)$$

Dengan manipulasi matematis, ekspresi integral pada persamaan tersebut dapat digantikan oleh fungsi gamma $\Gamma(x)$, sehingga menjadi :

$$D = \frac{no}{Sf} \frac{\Delta\sigma_c^m}{(\ln no)^{\frac{m}{\xi}}} \Gamma\left(\frac{m}{\xi} + 1\right) \quad \dots\dots\dots(III.40)$$

BAB IV

ANALISA KEANDALAN TERHADAP FATIGUE

IV.1 PENDAHULUAN

Metoda analisis kelelahan dalam pembahasan pada bab sebelumnya adalah bersifat deterministik. Dalam metoda tersebut, variabel penentu yang dipertimbangkan dianggap mempunyai harga konstan. Hal tersebut tentunya kurang rasionil, karena sesungguhnya secara statistik variabel tersebut tidaklah konstan seperti yang digunakan dalam perancangan, tetapi bervariasi akibat adanya faktor ketidakpastian. Oleh karena itu perancang mau tak mau harus menerapkan konsep keandalan dalam perancangannya, karena metode deterministik belum dapat menjamin apakah struktur hasil rancangannya dapat diandalkan, meskipun didalam perancangannya telah memenuhi standard yang berlaku.

Penerapan konsep keandalan dengan memakai metode probabilitas telah dilakukan disegala disiplin ilmu maupun rekayasa teknik. Karena dengan menggunakan konsep keandalan, kerusakan atau kegagalan suatu sistim akibat beberapa faktor penyebab, baik dari segi ketahanan, maupun pembebanan dan kondisi lingkungan yang mempengaruhi sistim tersebut dapat dijelaskan dengan lebih baik dan lebih mendekati keadaan yang sebenarnya dengan melibatkan aspek ketidak-tentuan (*uncertainty*) pada faktor-faktor penentu tersebut.

Ketidak-tentuan yang terjadi pada sistim tersebut akan menimbulkan resiko tersendiri pada sistim dan resiko yang diterima tersebut mempengaruhi keselamatan

dari sistim itu pula. Oleh karena itu analisis keandalan menitik beratkan pada perlakuan dan pemilihan ketidak- pastian dan menyangkut masalah pengambilan keputusan secara rasional

Untuk menentukan ketidak- tentuan pada struktur dengan menggunakan analisa pendekatan, perlu didefinisikan terlebih dahulu perubah dasar (*basic variabel*) nya. Perubah dasar adalah kumpulan dari suatu besaran dasar yang menghasilkan respon statis maupun dinamis dari struktur. Didalam analisa keandalan terdapat tiga macam bentuk dari ketidak- tentuan (Thoft-Cristensen dan Baker (1982)), yaitu :

1. Ketidak- tentuan fisik, yaitu ketidak- tentuan yang berhubungan dengan keragaman (*variability*) fisik seperti beban yang bersifat acak, sifat dan dimensi dari material. Keacakan beban jelas banyak didapati pada struktur laut, terutamanya karena gelombang sebagai sumber eksitasi beban eksternal yang besar.
2. Ketidak-tentuan statistik, yaitu berhubungan dengan pengolahan data yang dipakai untuk membuat model secara probabilistik dari berbagai macam keragaman fisik tersebut diatas. Data-data tersebut harus ditentukan pula jenis distribusi probabilitas serta harga parameternya yang dianggap sebagai perubah acak.
3. Ketidak-tentuan model, yaitu ketidak-tentuan yang berhubungan dengan respon dari struktur yang dimaksud, secara matematis dalam bentuk deterministik maupun probabilistik. Penyederhanaan dalam metode analisis sering kali tidak dapat dihindarkan karena adanya keterbatasan dalam pemodelan, fenomena fisik serta kompleksitas masalah yang harus dipecahkan.

Untuk mengatasi masalah ketidak-tentuan yang merupakan upaya untuk meningkatkan akurasi analisis, dapatlah diterapkan pendekatan probabilitas yang dapat

menghasilkan suatu sistim rekayasa yang lebih efisien dan memenuhi standard dari pada jika menggunakan analisis deterministik. Hal ini dapat dijelaskan, bahwa dalam analisa deterministik biasanya dipakai asumsi-asumsi yang konservatif untuk pemodelan suatu masalah, salah satunya adalah tentang faktor keselamatan, yaitu yang diambil dari pengalaman-pengalaman perancangan sebelumnya tanpa dilakukan kajian yang lebih teliti tentang adanya pengaruh ketidak-tentuan. Meskipun faktor keselamatan yang diambil secara umum dapat menjamin kekuatan dari struktur dan tidak akan terlampaui oleh beban yang bekerja, tetapi hal ini masih belum dapat memberikan hasil design yang terbaik yaitu berupa struktur yang optimum.

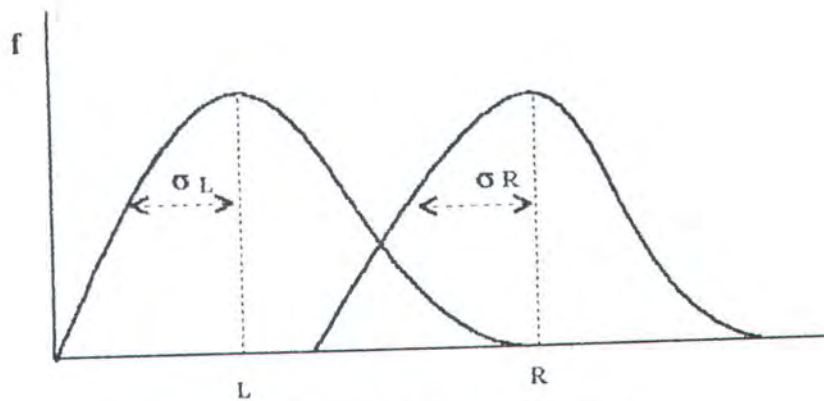
IV.2 KONSEP KEANDALAN

Secara umum keandalan berarti kemampuan suatu struktur untuk memenuhi tujuan perancangan dalam jangka waktu yang telah ditentukan. Dalam arti yang lebih terbatas (Stahl 1986) mengemukakan bahwa keandalan adalah probabilitas suatu stuktur untuk tidak mencapai keadaan batas (*limit state*) dari suatu mode kegagalan yang telah ditentukan dan dalam jangka waktu tertentu.

Keadaan aman akan tercapai bila kapasitas ketahanan lebih besar dari beban yang bekerja pada struktur . Probabilitas keamanan suatu struktur disebut keandalan, sedang probabilitas kegagalannya disebut dengan resiko. Keruntuhan dapat terjadi bila kapasitas ketahanan struktur lebih kecil dari pada beban yang bekerja. Dari keterangan tersebut, maka hubungan keandalan dan resiko adalah :

$$\text{Keandalan} = 1 - \text{Resiko} \quad \dots\dots\dots(\text{IV.1})$$

"Suatu masalah akan didefinisikan dalam hubungan permintaan dan penyediaan, yang keduanya merupakan variabel acak (Mansour 1990), sehingga untuk sebuah



Gbr . IV. 1 Distribusi beban L dan kekuatan R

struktur yang dikenai beban L dan memiliki ketahanan R, maka probabilitas kegagalan (P_f) struktur itu, dimana penyediaan ketahanan atau kekuatan sistim tidak dapat memenuhi permintaan (beban yang bekerja)," (ref.6) adalah :

$$P_f = P(R - L \leq 0) = P(R/L \leq 1) \dots\dots\dots(\text{IV.2})$$

Bila R dan L secara statistik adalah merupakan variabel acak yang keduanya adalah *statistically independent* gbr. IV.1 dan memiliki dimensi yang sama, maka oleh Faulkner(1980) P_f dirumuskan sebagai :

$$P_f = \int_0^{\infty} P_R(x) \cdot p_L(x) \cdot dx \dots\dots\dots(\text{IV. 3})$$

atau :

$$P_f = 1 - \int_0^{\infty} P_L(x) \cdot p_R(x) \cdot dx$$

dimana $P(x)$ dan $p(x)$ masing-masing adalah distribusi peluang dan fungsi kerapatan peluang.

IV.3 METODE ANALISA KEANDALAN

Joint Committe on Structural Safety menggolongkan metode analisa keandalan menjadi 3 (ref.4), yaitu :

1. Level 1, dimana tingkat keandalan struktur berdasarkan pada komponen dasar struktur dengan menggunakan faktor keamanan parsial.
2. Level 2, metode yang telah menggunakan proses pendekatan iterasi untuk memprediksi probabilitas kegagalan dari suatu struktur yang telah ditentukan jenis mode kegagalannya.
3. Level 3, metode untuk menentukan probabilitas kegagalan yang sebenarnya dengan menggunakan gambaran probabilitas secara penuh dari semua kejadian yang mempengaruhi respon struktur serta jumlah kegagalan alamiahnya.

Metode level 1 sebenarnya bukan merupakan analisa keandalan, tetapi metode untuk pemeriksaan keamanan. Sedangkan untuk metode level 3, dimana distribusi peluang dari besaran yang berhubungan seperti beban, kekuatan dan harga batas secara lengkap dimasukkan dalam perhitungan peluang kegagalan, tetapi mengingat sulitnya untuk memperoleh besaran dan data tersebut, maka untuk mengatasinya dapat dipakai alternatif konsep keselamatan yang lebih sederhana yaitu dengan menggabungkan pendekatan deterministik dan statistik, yang tidak lain adalah merupakan metode analisa keandalan level 2, sebagai metode semi probabilistik. Metode level 2 ini kemudian terbagi menjadi 2, yaitu :

- a. *Mean Value First Order Second Moment (MVFOSM) method*, yaitu metode yang melinearkan fungsi-fungsi pada harga rata-rata nya yang mempresentasikan beban dan kekuatan dan diantara perubahnya tidak saling berhubungan.
- b. *Advanced First Order Second Moment (AFOSM) method*, yaitu metode yang merupakan pengembangan dari metode MVFOSM dan diantara perubahnya saling berhubungan.

IV.3.1 METODE ANALISA KEANDALAN LEVEL 2

Pada metode keandalan level 2, fungsi keandalan (Z) dari struktur dapat dihubungkan secara langsung antara besarnya kekuatan dan beban yang sebenarnya, yaitu :

$$Z = R - L \quad \dots\dots\dots(\text{IV.4})$$

jika diasumsikan R dan L adalah variabel random independent dan terdistribusi normal, dimana nilai rata-rata dan standard deviasinya telah diketahui (gbr. IV.1), maka fungsi keandalan Z yang juga terdistribusi normal dapat dihitung harga rata-rata dan standard deviasinya, yaitu :

$$\mu(Z) = \mu(R) - \mu(L) \quad \dots\dots\dots(\text{IV.5})$$

$$\sigma^2(Z) = \sigma^2(R) + \sigma^2(L) \quad \dots\dots\dots(\text{IV.6})$$

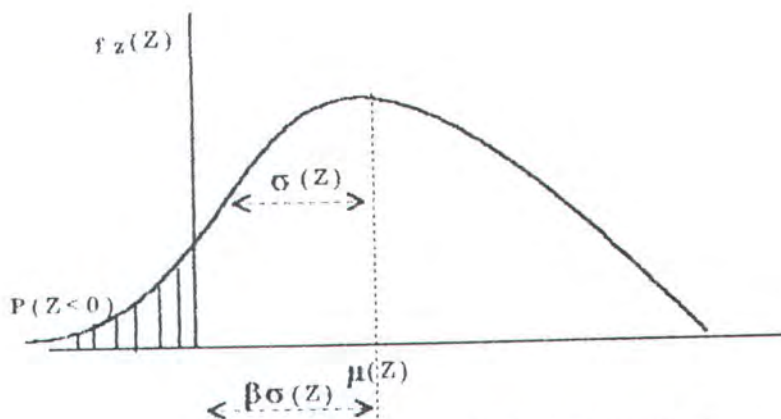
dan probabilitas kegagalannya (gbr. IV.2) adalah :

$$P(Z < 0) = \int_{-\infty}^0 f_Z(Z).dZ = \Phi_N(-\beta) \quad \dots\dots\dots(\text{IV.7})$$

$$\beta = \frac{\mu(Z)}{\sigma(Z)} \quad \dots\dots\dots(\text{IV.8})$$

dimana,

- $f_Z(Z)$ adalah *probability density function* dari Z
- $\Phi_N(Z)$ adalah fungsi standar distribusi normal
- β adalah indek kendalan



Gbr . IV.2 Distribusi normal dari indeks keandalan Z (ref. Palle thoft - Christenssen)

IV.3.1.1 METODEDE NILAI RATA-RATA

Pada kenyataannya masalah keandalan adalah sangat kompleks, yaitu melibatkan beberapa variabel stokastik misalnya X_1, X_2, \dots, X_n , yang mempunyai jenis distribusi yang bersifat stokastik yang dapat berbeda satu sama lain. Hal inilah yang menyebabkan fungsi keandalan (Z) menjadi bersifat non linear.

Bila diasumsikan bahwa X_i adalah *mutually independent* dan nilai dari mean serta standard deviasi nya telah diketahui, maka fungsi keandalan ini gagal jika berharga negatif dan sebaliknya. Titik-titik dengan harga $Z = 0$ disebut batas bidang kegagalan, dan harga $Z < 0$ adalah bidang kegagalannya. Dengan menerapkan ekspansi Taylor order pertama untuk melinearisasikan titik X_i , maka fungsi keandalan Z menjadi :

$$Z = Z(\bar{X}_1, \dots, \bar{X}_n) + \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i) \cdot \frac{dZ}{dX_i} \dots\dots\dots(IV.9)$$

$\frac{dZ}{dX_i}$ adalah derivatif partial yang dievaluasi pada titik X_i , sehingga rata-rata dan varian dari fungsi keandalan Z adalah :

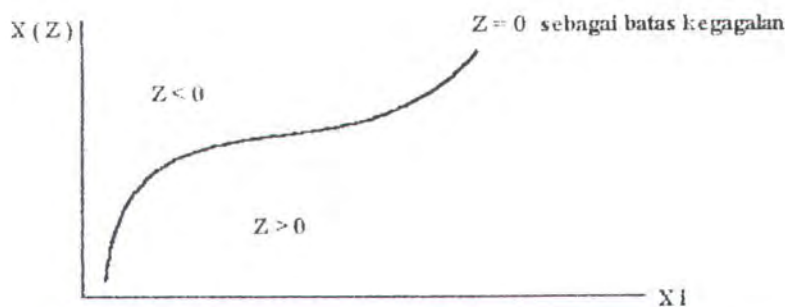
$$\mu(Z) = Z(\bar{X}_1, \dots, \bar{X}_n) + \sum_{i=1}^n (\mu(X_i) - \bar{X}_i) \frac{dZ}{dX_i} \dots\dots\dots(IV.10)$$

$$\sigma^2(Z) = \sum_{i=1}^n (\sigma(X_i) \frac{dZ}{dX_i})^2 \dots\dots\dots(IV.11)$$

maka probabilitas kegagalannya gbr. IV.3 adalah :

$$P(Z < 0) = \Phi_N(-\beta)$$

dan :



Gbr . IV.3 Fungsi keandalan Z yang bersifat non linear

$$\beta = \frac{\mu(Z)}{\sigma(Z)} \dots\dots\dots(\text{IV.12})$$

dimana nilai \bar{X}_i adalah nilai mean dari masing-masing perubah acak .

IV.3.1.2 ANALISA KEANDALAN DENGAN METODE AFOSM

Metode AFOSM atau yang juga disebut dengan metode titik perancangan banyak dipakai dalam analisis keandalan karena keakuratannya untuk :(ref.6)

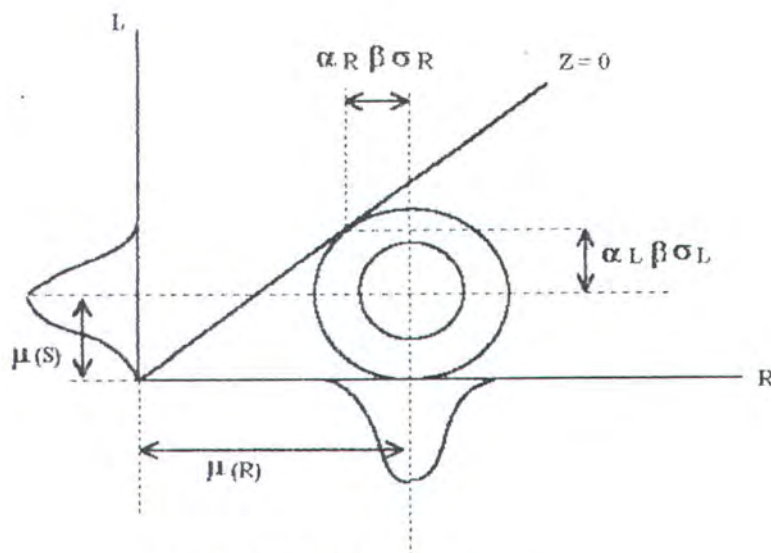
- melakukan evaluasi pada titik kegagalan.
- memperhitungkan variabel dalam fungsi keandalan Z yang tidak mempunyai distribusi normal.

Pada metode ini, harga titik linearisasi dari perubah acak \bar{X}_i sebagai titik maksimum terletak pada bidang kegagalan (gbr. IV.4) dimana harga \bar{X}_i adalah:

$$\bar{X}_i = \mu(X_i) - \alpha_i \cdot \beta \cdot \sigma(X_i) \dots\dots\dots(\text{IV.13})$$

$$\alpha_i = \frac{\sigma(X_i)}{\sigma(Z)} \cdot \frac{dZ}{dX_i} \dots\dots\dots(\text{IV.14})$$

Penyelesaian pada metode ini adalah menggunakan proses iterasi. Jarak antara titik awal ke titik maksimum, adalah merupakan jarak yang paling minimum yang disebut indeks keandalan (*reliability index*). Adapun prosedur yang telah



Gbr . IV.4 Metode titik perancangan (ref. Vrouwenvelder)

dikembangkan oleh Rackwitz (1976) untuk menyelesaikan metode ini adalah sebagai berikut (ref. Vrouwenvelder):

1. Masukkan titik awal $\bar{X}_i = \mu X_i$
2. Hitung $\mu(Z)$ dan $\sigma(Z)$ dari persamaan IV.10 dan IV.11
3. Hitung β dari persamaan IV.12
4. Hitung \bar{X}_i dari persamaan IV.13
5. Ulangi langkah 2, 3, 4 sampai hasil konvergen diperoleh.
6. Periksa jika $Z = (\bar{X}_1, \dots, \bar{X}_n)$ adalah mendekati nol.

Prosedur tersebut diatas dapat dipakai untuk Z linear maupun non linear, dan variabel yang terdistribusi normal ataupun yang terdistribusi non normal . Untuk memudahkan perhitungan probabilitas kegagalan, parameter dari variabel non normal dapat ditransformasikan ke dalam variabel normal dengan menggunakan evaluasi pemakaian distribusi normal ekuivalen (Rackwitz 1976) yang dapat diperoleh dari teori Rosenblatt.

Jika kita mempunyai variabel non normal, seperti lognormal maka distribusi normal ekuivalen diatas bisa diambil untuk menghitung probabilitas kegagalan. Misal, R adalah variabel yang terdistribusi lognormal .

$$\lambda_R = \ln \mu_R - \frac{1}{2} \xi_R^2 \quad \dots\dots\dots (IV.15)$$

$$\xi_R^2 = \ln \left(1 + \frac{\sigma_R^2}{\mu_R^2} \right) \quad \dots\dots\dots (IV.16)$$

dimana λ_R dan ξ_R adalah parameter lognormal , sehingga :

$$\begin{aligned} \sigma_R^N &= \bar{r} \cdot \xi_1 \\ \mu_R^N &= \bar{r} \cdot \left(1 - \ln \bar{r} + \lambda_R \right) \quad \dots\dots\dots (IV.17) \end{aligned}$$

Dimana untuk tujuan praktis harga dari \bar{r} adalah diadopsi dari nilai nominal nya (ref. Alfredo H.S Ang, wilson H. Tang, " Probability concepts in engineering planning and design", vol 1 dan vol 2).

IV. 4 FUNGSI KEANDALAN TERHADAP FATIGUE

Dalam model fatigue menurut Minner, D_{tot} digunakan sebagai ukuran untuk menentukan kerusakan pada bagian struktur yang dipertimbangkan. Kegagalan terjadi jika D_{tot} mencapai kesatuan. Maka penentuan yang paling sesuai sebagai fungsi keandalan Z adalah (ref. 5) :

$$Z = 1 - D_{tot} \quad \dots\dots\dots(\text{IV.18})$$

Untuk mempermudah perhitungan, dalam hubungannya dengan karakter lognormal dari karakteristik dari pada umur kelelahan, maka persamaan IV.18 menjadi :

$$Z = - \ln D_{tot} \quad \dots\dots\dots(\text{IV.19})$$

Kenyataan yang paling umum adalah mengekspresikan fungsi keandalan Z sebagai fungsi eksplisit terhadap variabel yang berpengaruh yang bersifat stokastik, dalam kasus ini variabel yang dipertimbangkan adalah : second momen dari penampang pile , parameter fatigue, dan massa deck., yang kesemuanya mempunyai harga mean, dan variannya. Jika Z tidak dapat dinyatakan secara eksplisit terhadap basic variabelnya, maka derivatif parsialnya dihitung secara numerik. Untuk tiap-tiap variabel X_i , derivatifnya adalah sebagai :

$$\frac{dZ}{dX_i} \leftrightarrow \frac{\Delta Z}{\Delta X_i} = \frac{Z(\overset{*}{X}_1, \dots, \overset{*}{X}_i + \Delta X_i, \dots, \overset{*}{X}_n) - Z(\overset{*}{X}_1, \dots, \overset{*}{X}_i, \dots, \overset{*}{X}_n)}{\Delta X_i} \quad \dots\dots\dots(\text{IV.20})$$

BAB V

ANALISA DATA DAN HASIL PERHITUNGAN

V.1 DATA MASUKKAN

1. Data perairan

-Spektrum gelombang yang dipakai adalah spektrum gelombang JONSWAP, dimana parameter serta diagram penyebaran gelombangnya terdapat pada lampiran A. Pada lampiran tersebut terlihat terdapat 16 *seastates*, dengan peluang kejadian tiap *seastatenya*. Namun dalam analisa kali ini, hanya menggunakan 12 *seastates*, dengan 17 macam variasi frekwensi, yaitu mulai 0.1 Hz hingga 1.7 Hz .

2. Data serta gambar detail dari *monopod structure*

-Gambar detailnya terdapat pada lampiran A, dengan rincian tambahan sebagai berikut :

a. Pile properties

- Modulus elastisitas pile (E) = $4,17 \cdot 10^9$ lbs / ft²
- Momen inersia rata-rata dari penampang melintang pile (I) = 3,15 ft⁴

b. Distribusi berat

i. Untuk caisson CN1

- panjang = 20 ft
- berat / ft = 1474,5 lbs / ft
- added mass = 806 lbs / ft
- berat total = 45,6 kips
- aplikasi titik berat adalah 10 ft diatas mudline.

ii. Untuk caisson CN2

- panjang 77 ft
- berat / ft = 782 lbs / ft
- added mass = 806 lbs / ft
- entrained mass = 676 lbs / ft
- berat total = 175 kips
- aplikasi titik berat adalah 58,5 ft diatas mudline.

iii. Untuk caisson CN3

- panjang 27 ft
- berat / ft = 847 lbs / ft
- berat total = 22,9 kips
- aplikasi titik berat adalah 110,5 ft diatas mudline

iv. RS1

- panjang 127 ft
- berat / ft = 56,8 lbs / ft
- total berat = 11,4 kips
- aplikasinya pada 57 ft diatas mudline.

v. Berat deck

- berat total deck adalah = 35 kips

vi. Boat landing

- berat BL = 3 kips
- aplikasinya pada 97 ft diatas mudline.

Jika diasumsikan *apperent fixity depth* nya adalah Af, dan berat decknya adalah md, maka berat total efektif yang bekerja pada SWL adalah :

$$Q_{SWL} = \frac{14761450 + 127.md + (268100 + md).A}{97 + Af}$$

sehingga pusat massa yang bekerja pada SWL adalah Q / g

3. Data karakteristik tanah.

- perinciannya pada lampiran A.

4. Data mengenai parameter S-N curve.

- Parameter dari S-N curve yang dipakai dalam analisa ini adalah mengacu pada

AWS - x, yaitu :

$$N.S^{4.38} = 1,23.10^{13}.N/mm^2$$

- Sedang SCF yang timbul, karena adanya sambungan las pada pile adalah :

- 1,3 untuk sambungan las yang tidak terdapat perbedaan ketebalan
- 1,8 untuk sambungan las yang terdapat perbedaan ketebalan.

(untuk lebih jelasnya lihat gambar pada lampiran A)

Dari data tersebut diatas, beberapa diantaranya adalah bersifat random yang mempunyai type distribusi tertentu, yaitu :

1. Momen inersia dari penampang pile (I)

- type : Normal
- Mean : 3,15 ft⁴
- dispersi : 0,06

2. Massa deck (md)

- type : normal
- mean : 35000 lbs
- dispersi : 0,1

3. Parameter dari S-N curve , yaitu Sf

- type : log normal

- mean : $1,23 \cdot 10^{17}$

- dispersi : 0,14

4. Kemiringan dari S-N curve.

- type : normal

- mean : 4,38

- dispersi : 0,05

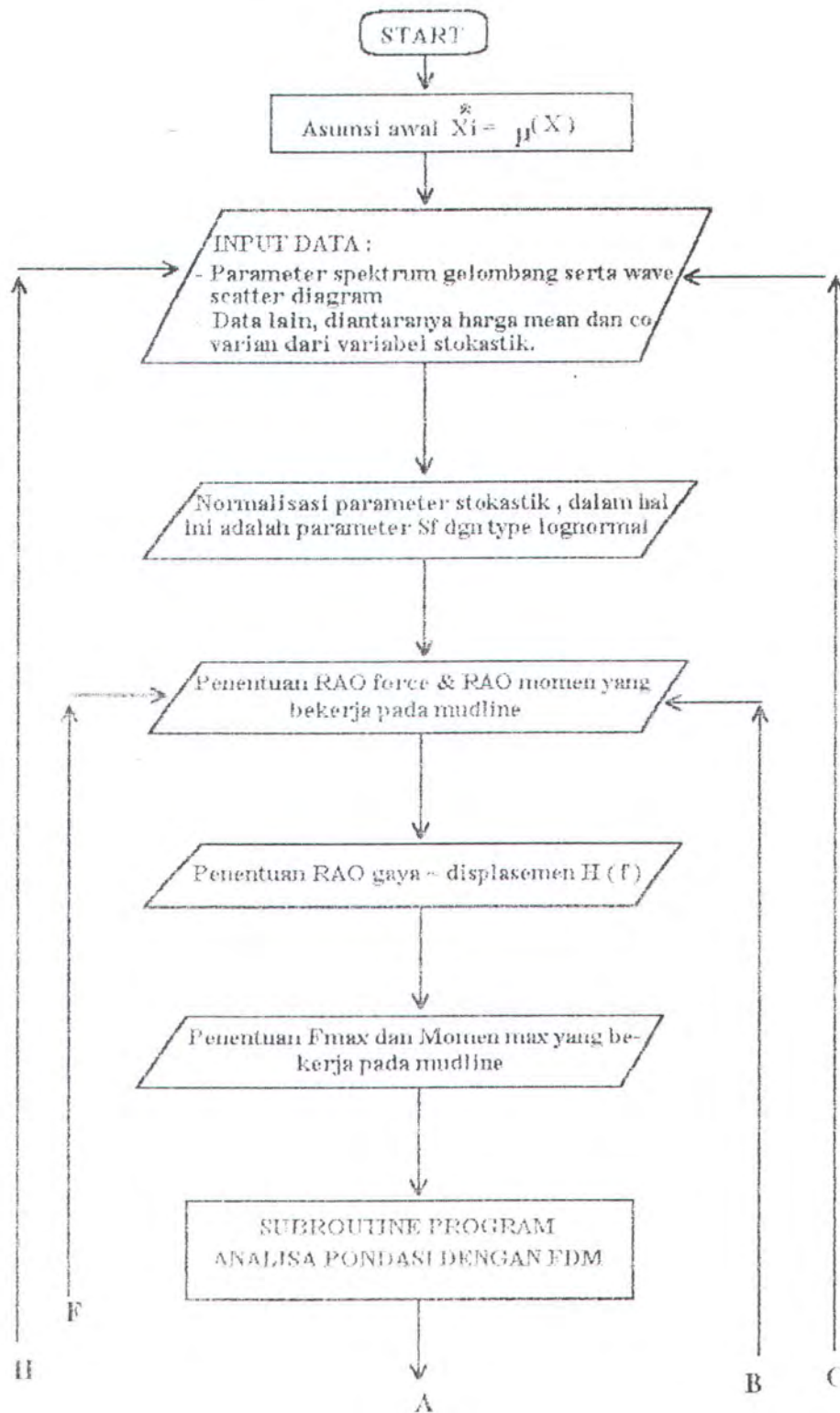
V.2 PEMBAHASAN POKOK

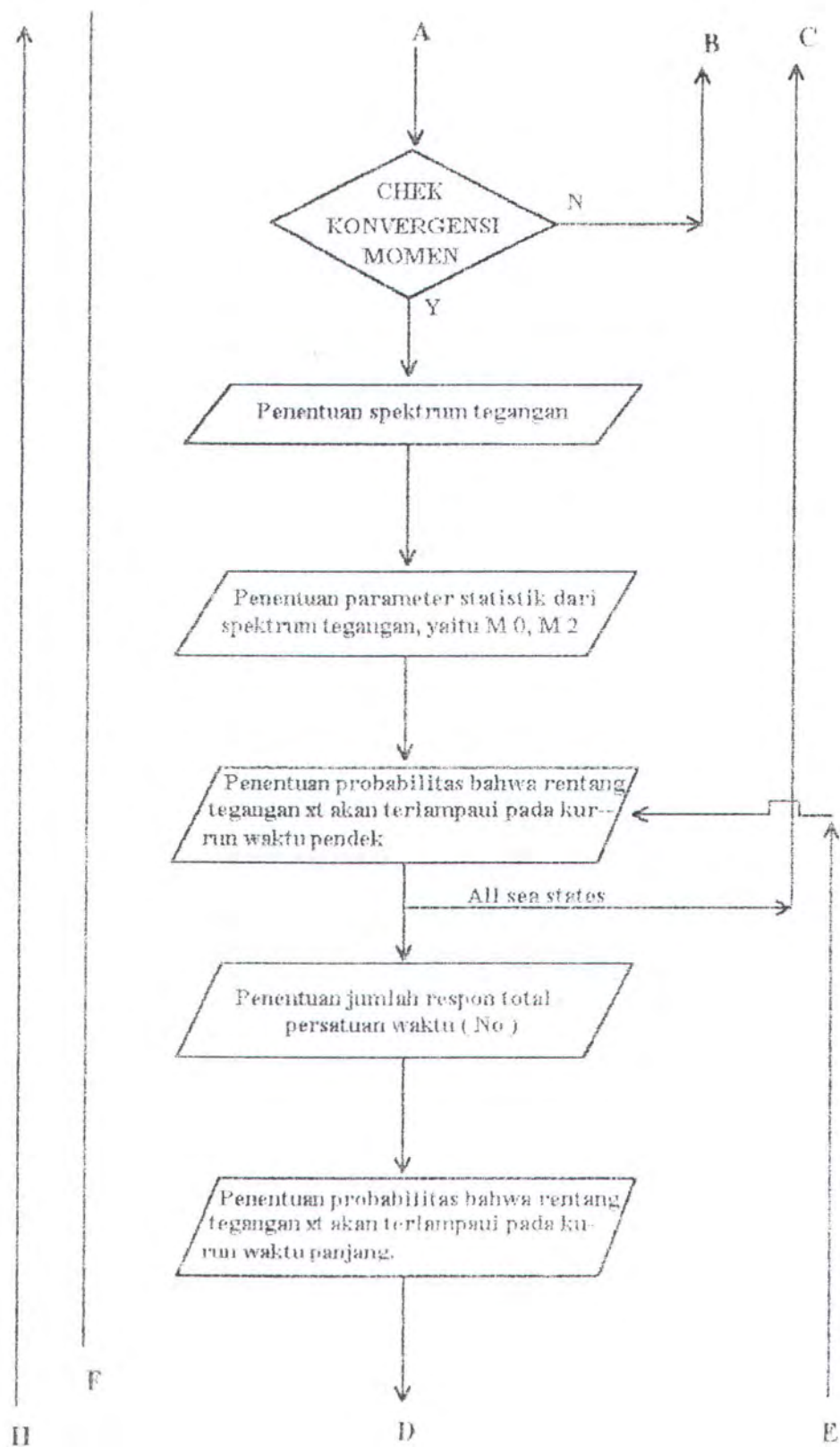
Dalam subbab ini dikemukakan jalannya perhitungan secara lebih terperinci , untuk memudahkan pembaca memahami analisa perhitungan dari awal hingga akhir. Adapun urutan perhitungannya adalah sebagai berikut :

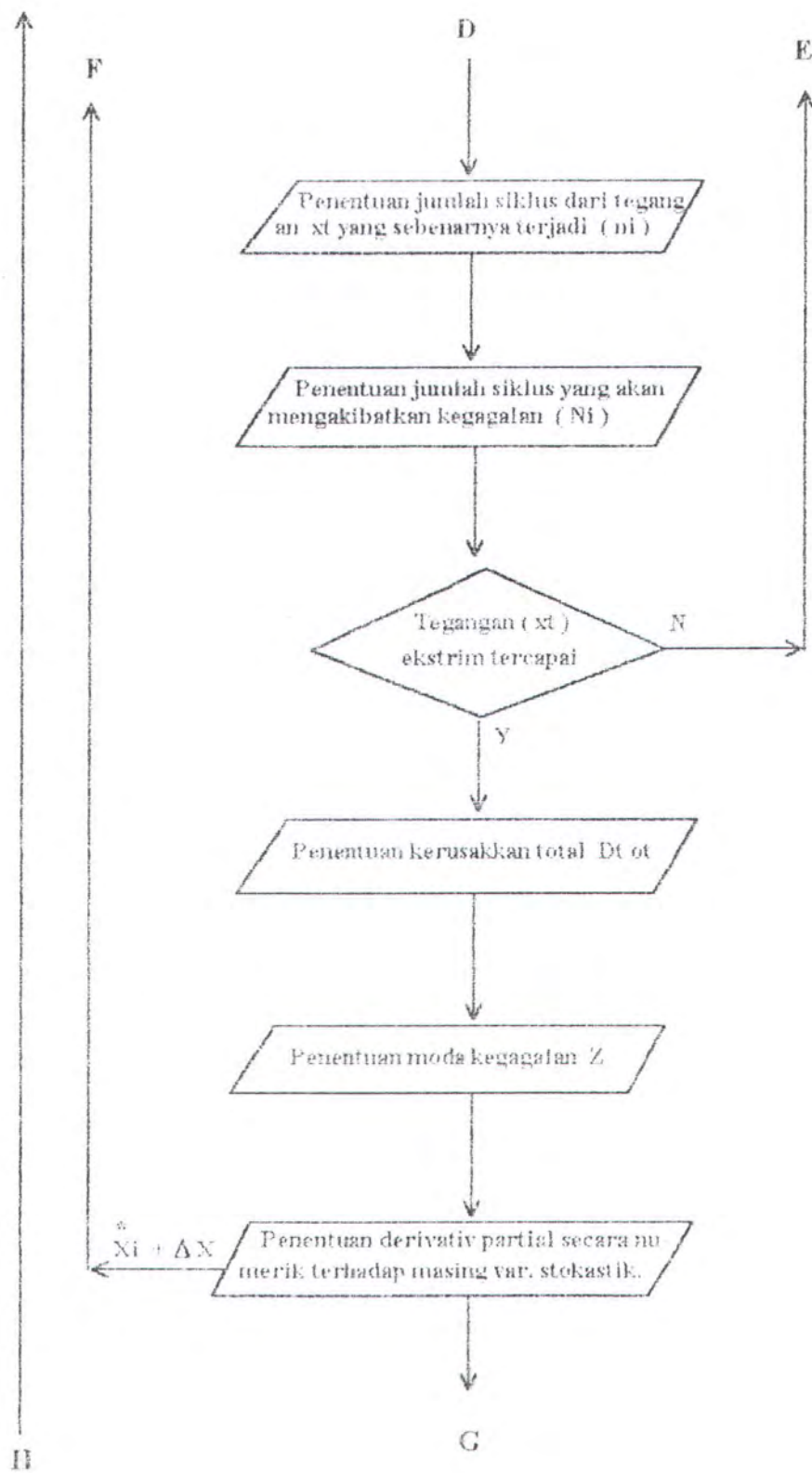
1. Dengan statistik respon kurun waktu pendek , seperti yang telah dijelaskan pada bagian II.5, RAO dari gaya total gelombang diperoleh, kemudian diikuti perhitungan frekuensi natural struktur hingga RAO dari momen total yang bekerja pada mudline.
2. Setelah harga gaya gelombang lateral (F) dan momen (M) diperoleh, yang keduanya menjadi input untuk analisa FDM, bersama dengan matrik initial displasemen, maka dilakukan analisa pondasi tiang pancang terhadap beban lateral dengan metode FDM. Output dari analisa ini adalah displasemen, momen, serta tegangan nominal pada tiap-tiap node. Yang perlu diperhatikan disini adalah harus terpenuhinya dua syarat konvergensi, yaitu :

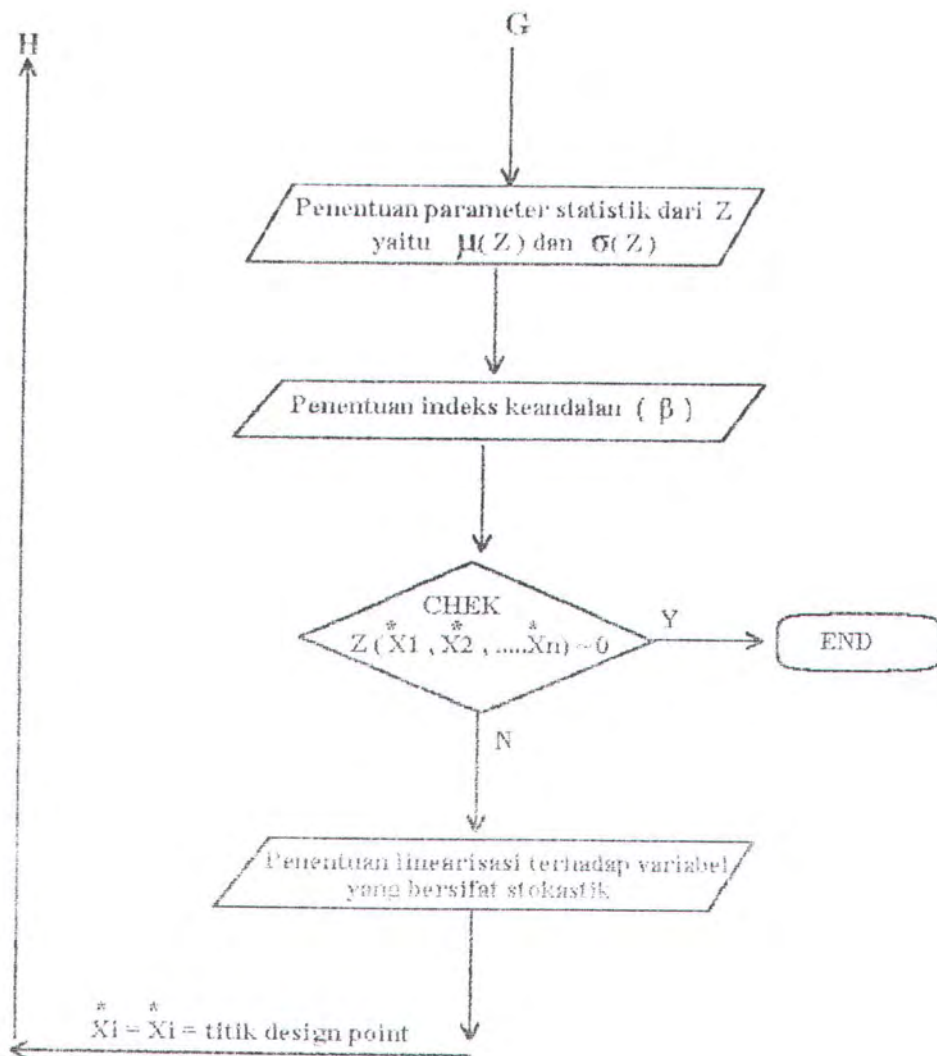
- a. Antara matrik initial displasemen dengan matrik hasil defleksi (output dari analisa FDM) harus terjadi konvergensi guna mendapatkan soil modulus atau konstanta pegas tanah (E_s) yang sesuai untuk tiap-tiap node. Mengingat proses iterasi tersebut akan sangat lama untuk memenuhi konvergensi seluruh node yang ada, atau sepanjang pile yang berada dibawah mudline, maka disini penulis hanya dapat memenuhi sifat konvergenitas tersebut hingga kedalaman ~ 40 ft. Hal ini tentunya akan mengakibatkan perubahan terhadap output (momen dan tegangan) dari analisa tersebut, tetapi perbedaan tersebut hanya terpaut maksimal 10 %.
 - b. Perlu dijelaskan kembali bahwa besarnya momen yang bekerja pada mudline sangat dipengaruhi oleh frekuensi natural dari struktur. Padahal dalam penentuan frekuensi natural tersebut terdapat parameter A_f (apparent fixity level) yang merupakan harga taksiran / awal $\sim 8 - 16$ kali diameter dari pile. Sehingga dalam hal ini momen yang bekerja pada bagian atas dari pile sebagai output dari analisa FDM haruslah konvergen terhadap momen yang menjadi input dalam analisa tersebut. Hal ini dikarenakan respon dari struktur diatas mudline bersifat nonlinear, dan dibawahnya bersifat linear. Jadi jika setelah melewati syarat a, ternyata syarat b tidak terpenuhi, maka proses a harus diulang kembali hingga kedua syarat konvergensi tersebut tercapai.
3. Selanjutnya adalah penentuan spektrum tegangan, diikuti dengan statistical propertiesnya, serta jumlah siklus rata-rata tiap detik (f_i).
 4. Untuk analisa berikutnya dapat dilihat pada bab III dan bab IV, dan lebih jelas lagi pada diagram alir berikut ini. .

V.2.1 DIAGRAM ALIR PROGRAM KOMPUTER



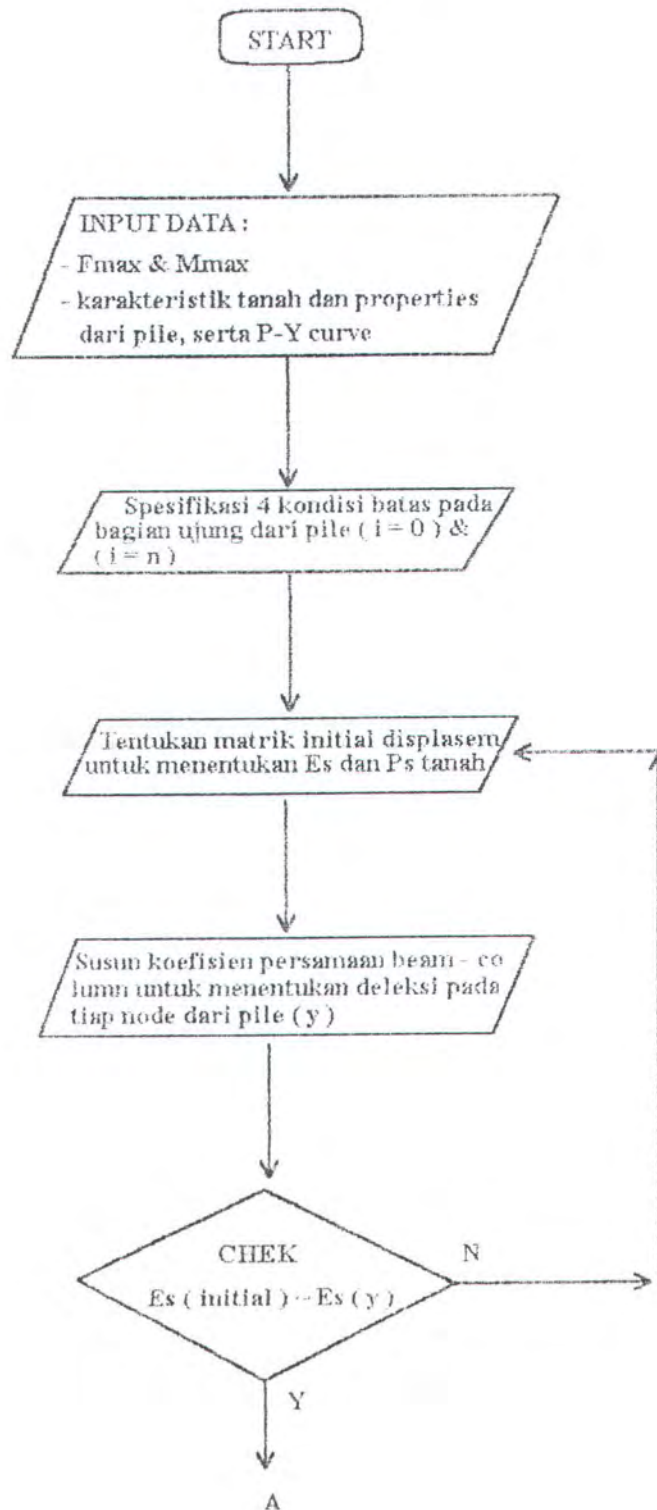






Gbr. V.1. Diagram alir dari analisa keandalan terhadap fatigue

V.2.1.1 DIAGRAM ALIR DARI METODE BEDA HINGGA



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1 KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan tersebut diatas, dapat disimpulkan beberapa hal yang dapat menjawab pokok permasalahan yang dimuat pada bab I, yaitu :

1. Penyelesaian persamaan diferensial yang mengekspresikan respon lateral dari pondasi tiang pancang dengan metode beda hingga (*finite difference method*), memudahkan kita untuk menentukan respon yang terjadi tiap elemen pada pondasi tiang pancang tersebut . Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa secara keseluruhan, momen terbesar berada pada kedalaman 32,5 ft hingga 47,5 ft, yaitu dengan perincian sebagai berikut : pada kedalaman 47,5 ft (dibawah mudline) pada frekwensi 0,1 Hz ~ 0,3 Hz , dan untuk frekwensi 0,4 Hz pada kedalaman 42,5 ft, untuk frekwensi 0,5 Hz pada kedalaman 40,0 ft, dan untuk frekwensi 0,6 Hz ~ 1,0 Hz berada pada kedalaman 35 ft , sedang pada frekwensi 1,1 Hz ~ 1,7 Hz lokasi momen maksimum berada pada kedalaman 32,5 ft . Sedang tegangan maksimum pada tiang pancang berada pada kedalaman 57,5 ft (dibawah mudline), yaitu pada sambungan las antar pile dengan SCF sebesar 1,8 untuk frekwensi 0,1 Hz ~ 0,5 Hz, sedang untuk frekwensi 0,6 Hz ~ 1,7 Hz terletak di kedalaman 27,5 ft pada sambungan las antar pile yang mempunyai SCF sebesar 1,3 . Untuk selanjutnya, karena tegangan maksimum lebih sering berada pada kedalaman 27,5 ft, maka analisa kelelahan ditujukan pada lokasi tersebut, yaitu pada node ke-30.

2. Dari analisa kelelahan diperoleh harga kerusakan total pada node ke-30 adalah sebesar 0,072458 , dengan demikian umur kelelahan tiang pancang tersebut adalah 276 th.
3. Hasil perhitungan dari analisa kelelahan pada poin 2 tersebut adalah bersifat deterministik dimana parameter yang berpengaruh didalamnya diasumsikan konstan, padahal sebenarnya tidaklah demikian, untuk itu perlu diterapkannya analisa keandalan dan resiko pada perhitungan tersebut . Hasil dari analisa keandalan dan resiko pada struktur tersebut menghasilkan harga indek keandalan (β) sebesar 1,7364 , yang berarti peluang kegagalan struktur tersebut adalah 0,0412 . Harga beta tersebut masih dibawah harga beta minimum yang telah direkomendasikan (Wiersching), yaitu sebesar 2,0 ~ 2,5 untuk fatigue . Dengan demikian perancang harus mengkaji ulang hasil rekayasanya, atau meninjau kembali eksitasi gaya gelombang , dalam hal ini diwakili oleh spektrum gelombang JONSWAP.

VI.2 SARAN

Untuk hasil yang lebih akurat, maka disarankan agar :

1. Dalam analisa dengan metode beda hingga tersebut, dilakukan pengecekan sifat konvergensi antara inisial displasemen dengan hasil defleksi yang diperoleh dengan melibatkan jumlah node yang lebih banyak lagi, walaupun konsekwensinya bahwa waktu yang dibutuhkan akan lebih lama . Hal ini tentunya menjadi keputusan tersendiri bagi perancang untuk menentukan keakuratan hasil yang ingin dicapainya.
2. Dengan melihat harga beta yang masih dibawah beta minimum yang dipersyaratkan, maka disarankan agar sebelum mengkaji ulang hasil perancangannya, supaya

terlebih dahulu mengubah spektrum gelombang yang dipakai, misalnya dengan spektrum gelombang Pierson-Moskowitz (PM) . Hal ini karena spektrum JONSWAP untuk menggambarkan kondisi perairan yang sangat ganas (North Sea). Selain itu juga harus diperhatikan standard yang dipakai untuk menentukan S-N curve, karena dalam analisa kali ini memaki standard AWS yang memberikan harga N_i yang lebih kecil dari pada jika menggunakan standard API.

3. Perancang lebih berhati-hati menentukan parameter mana yang bersifat stokastik serta harga parameter statistiknya, terlebih jika data parameter statistiknya tidak tersedia .

DAFTAR PUSTAKA

1. Almar - Naess, " *Fatigue hand book offshore structures* "
2. Karadeniz, H and Van Mannen, S and Vrouwenvelder, A, " *Spectral fatigue analysis for offshore structures* ", IRO, Delft, 1984
3. Atkin research and development (Ciria water engineering group), " *Dynamic of marine structures : Methods of calculating the dynamic response of fixed structures subject to wave and current action* "
4. Palle Thoft - Christensen, Yoshisada Murotsu, " *Application of structural systems reliability theory* "
5. Vrouwenvelder, A and Karadeniz, H and Van Mannen, S, " *Reliability analysis for the fatigue limit state of offshore structure* "
6. Chakrabarti, S.K. , " *Hydrodynamics of offshore structures* "
7. Djatmiko, E.B., " *Analisa keandalan kapal SWATH terhadap fatigue* "
8. Tomlinson, M.J.CEng, FICE, " *Pile design and construction practice*"
9. Poulos, H.G. and Davis, E.H. , " *Pile foudation analysis and design* "



6 FATIGUE WAVES

6.1 Introduction

Data available to this study included ~5 years of hindcast significant wave height, period and direction at the Arco platform site, representing the ambient seastate. Using the calibrated Arco Ardjuna wind data (1987-1992) as input, the ambient wave conditions were hindcast using the SMB techniques.

6.2 Deterministic Method

For ambient seastates, the methodology is as follows. The directional hindcast wave data provided estimates of H_s , T_s and θ . From the significant wave period values, T_s , average zero crossing period values, T_z , were estimated using spectral period relationships from Goda (1985). An average time interval of $\Delta t = 6.0$ hours was used for logging of hindcast output.

The probability of occurrence of waves in a range of wave height intervals was determined for each H_s using the Forristall (1978) distribution;

$$\text{prob} (H > H_o) = \exp \{-2.263 H_o/H_s\}^{2.126}.$$

The number of waves to be distributed was determined as $\Delta t/T_z$ where Δt is the mean time between records. The direction of each individual wave was assigned as the direction θ of the H_s from which they were derived.

The numbers of waves so determined were accumulated for all directional wave records, which spanned 40404 hours for the Arco platform site. This number was then scaled up by a factor of 2 to represent 10 years of exposure.

The numbers are presented in tables 6.1 and 6.2 for the Arco platform site. Tables 6.3 and 6.4 present the estimated percentage occurrence of ambient individual waves in each wave height bin and for each of the eight directions (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW) for the Arco platform site.

Bi-variate distributions of ambient individual wave height versus average zero-crossing period, for each direction octant (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW) are presented in appendix C.

6.3 Spectral Method

For each $H_s:T_z$ combination a wave spectrum may be defined. The JONSWAP and Pierson-Moskowitz spectra are defined below.



JONSWAP Spectrum

$$S(f) = \alpha g^2 (2\pi)^{-4} f^5 \exp(-1.25 (f/f_p)^{-4}) \gamma^a$$

where $S(f)$ = power spectral density of the surface elevation

$$a = \exp(-(f-f_p)^2 / (2\sigma^2 f_p^2))$$

f = cyclical wave frequency (Hz)

f_p = $1/T_p$ peak frequency (Hz)

σ = σ_a for $f \leq f_p$ width parameter

$$= \sigma_b \text{ for } f > f_p$$

g = 9.81 m s^{-1} gravitational acceleration

The Pierson-Moskowitz spectrum is a special case of the JONSWAP formulation with $\gamma = 1$ and $\alpha = 0.0081$. For this spectral shape, $T_p = 1.41 T_z$.

The JONSWAP or Pierson-Moskowitz (P-M) spectral forms shall be used to provide spectral descriptions of the design wave conditions depending on the wave steepness. The relevant areas of applicability are shown in tables 6.5 to 6.9, for the JONSWAP spectral parameters T_p , α , γ , σ_a and σ_b for each $H_s:T_z$ combination.

In order to relate spectral fatigue wave heights to their corresponding average zero-crossing periods, T_z , and the spectral peak periods T_p , correlation analyses were conducted to find the following formulations:

$$T_p^2 = 26.636 (H_s) - 4.405; \text{ and}$$

$$T_z^2 = 13.961 (H_s)$$



ARCO WAVES Hs VS Tz

Percentage Occurrence of Significant Total Wave Height (m) vs Average Zero Crossing period (seconds)

Significant Total Wave Height (m)	Average Zero Crossing period (seconds)											
	< 0	0- 1	1- 2	2- 3	3- 4	4- 5	5- 6	6- 7	7- 8	8- 9	9-10	>=10
< 0.00
0.00 < 0.25	.	PM	PM	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0.25 < 0.50	.	.	PM	2.60	.	.	.	.	.	.	.	.
0.50 < 0.75	.	.	.	2.55	4.50	.	.	.	.	.	.	.
0.75 < 1.00	4.25	.	.	.	.	.	.	.
1.00 < 1.25	4.10	.	.	.	.	.	.	.
1.25 < 1.50	5.85	.	.	.	.	.	.
1.50 < 1.75	7.55	.	.	.	.	.
1.75 < 2.00	7.40	.	.	.	.	.
2.00 < 2.25
2.25 < 2.50
2.50 < 2.75	7.10	.	.	.	.	.
2.75 < 3.00	8.95	.	.	.	.
3.00 < 3.25	8.80	.	.	.	.
3.25 < 3.50	8.65	.	.	.	.
3.50 < 3.75	10.40	.	.	.
3.75 < 4.00
4.00 < 4.25
4.25 < 4.50
>= 4.50

JONSWAP - Tp

. signifies 0.0 %

Data source : SMB HINDCAST DATA
 Record period : March 1987 - February 1992
 Total records read : 7196
 Recs with missing data : 0

	Min	Max	Mean	S.Dev
Significant Total Wave Height (m)	0.00	3.98	0.40	0.37
Average Zero Crossing period (seconds)	0.00	7.37	2.16	1.20

Notes:

For each $H_s - T_z$ combination the figures presented in the above table is the peak spectral period T_p in seconds.

For wave conditions for which the P-M spectra is to be used, $T_p = 1.4 T_z$.

(Note, Wave Heights are in metres)

Table 6.5 Jonswap spectra parameter matrix for T_p .



ARCO WAVES Hs VS Tz

Percentage Occurrence of Significant Total Wave Height (m) vs Average Zero Crossing period (seconds)

Significant Total Wave Height (m)	Average Zero Crossing period (seconds)											
	< 0	0- 1	1- 2	2- 3	3- 4	4- 5	5- 6	6- 7	7- 8	8- 9	9-10	>=10
JONSWAP - Alpha												
< 0.00
0.00 < 0.25	.	PM	PM	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0.25 < 0.50	.	.	PM	0.0125	.	.	.	.	.	.	.	.
0.50 < 0.75	.	.	.	0.0266	0.0056	.	.	.	.	.	.	.
0.75 < 1.00	0.0104	.	.	.	.	.	.	.
1.00 < 1.25	0.0162	.	.	.	.	.	.	.
1.25 < 1.50	0.0080	.	.	.	.	.	.
1.50 < 1.75
1.75 < 2.00	0.0061	.	.	.	.	.
2.00 < 2.25	0.0076	.	.	.	.	.
2.25 < 2.50
2.50 < 2.75	0.0114	.	.	.	.	.
2.75 < 3.00	0.0069	.	.	.	.
3.00 < 3.25	0.0081	.	.	.	.
3.25 < 3.50	0.0094	.	.	.	.
3.50 < 3.75
3.75 < 4.00	0.0068	.	.	.
4.00 < 4.25
4.25 < 4.50
>= 4.50

signifies 0.0 %

Data source : SMB HINDCAST DATA
 Record period : March 1987 - February 1992
 Total records read : 7196
 Recs with missing data : 0

	Min	Max	Mean	S.Dev
Significant Total Wave Height (m)	0.00	3.98	0.40	0.39
Average Zero Crossing period (seconds)	0.00	7.37	2.16	1.20

Notes:

For each H_s - T_z combination the figures presented in the above table is the JONSWAP parameter, α.

For wave conditions for which the P-M spectra is to be used, alpha = 0.0081

(Note, Wave Heights are in metres)

Table 6.6 Jonswap spectra parameter matrix for Alpha.



ARCO WAVES Hs VS Tz

Percentage Occurrence of Significant Total Wave Height (m) vs Average Zero Crossing period (seconds)

Significant Total Wave Height (m)	Average Zero Crossing period (seconds)											
	< 0	0- 1	1- 2	2- 3	3- 4	4- 5	5- 6	6- 7	7- 8	8- 9	9-10	>=10
JONSWAP - Gamma												
< 0.00
0.00 < 0.25	.	PM	PM	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0.25 < 0.50	.	.	PM	1.946	.	.	.	.	.	.	.	.
0.50 < 0.75	.	.	.	5.159	0.687	.	.	.	.	.	.	.
0.75 < 1.00	1.528	.	.	.	.	.	.	.
1.00 < 1.25	2.712	.	.	.	.	.	.	.
1.25 < 1.50	1.096	.	.	.	.	.	.
1.50 < 1.75
1.75 < 2.00	0.768	.	.	.	.	.
2.00 < 2.25	1.030	.	.	.	.	.
2.25 < 2.50
2.50 < 2.75	1.736	.	.	.	.	.
2.75 < 3.00	0.897	.	.	.	.
3.00 < 3.25	1.104	.	.	.	.
3.25 < 3.50	1.345	.	.	.	.
3.50 < 3.75
3.75 < 4.00	0.893	.	.	.
4.00 < 4.25
4.25 < 4.50
>= 4.50

. signifies 0.0 %

Data source : SMB HINDCAST DATA
 Record period : March 1987 - February 1992
 Total records read : 7196
 Recs with missing data : 0

	Min	Max	Mean	S.Dev
Significant Total Wave Height (m)	0.00	3.98	0.40	0.39
Average Zero Crossing period (seconds)	0.00	7.37	2.16	1.20

Notes:

For each $H_s - T_z$ combination the figures presented in the above table is the JONSWAP parameter, γ .

For wave conditions for which the P-M spectra is to be used, $\gamma = 1$

(Note, Wave Heights are in metres)

Table 6.7 Jonswap spectra parameter matrix for Gamma.



ARCO WAVES Hs VS Tz

Percentage Occurrence of Significant Total Wave Height (m) vs Average Zero Crossing period (seconds)

Significant Total Wave Height (m)	Average Zero Crossing period (seconds)											
	< 0	0- 1	1- 2	2- 3	3- 4	4- 5	5- 6	6- 7	7- 8	8- 9	9-10	>=10
< 0.00
0.00 < 0.25	.	PM	PM	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0.25 < 0.50	.	.	PM	0.0825	.	.	.	.	.	.	.	.
0.50 < 0.75	.	.	.	0.0574	0.1218	.	.	.	.	.	.	.
0.75 < 1.00	0.0903	.	.	.	.	.	.	.
1.00 < 1.25	0.0729	.	.	.	.	.	.	.
1.25 < 1.50	0.1023	.	.	.	.	.	.
1.50 < 1.75	0.1168	.	.	.	.	.
1.75 < 2.00	0.1047	.	.	.	.	.
2.00 < 2.25	0.0862	.	.	.	.
2.25 < 2.50	0.1103	.	.	.
2.50 < 2.75	0.1020	.	.	.
2.75 < 3.00	0.0948	.	.	.
3.00 < 3.25	0.1104	.	.
3.25 < 3.50
3.50 < 3.75
3.75 < 4.00
4.00 < 4.25
4.25 < 4.50
>= 4.50

JONSWAP - Sigma a

signifies 0.0 %

Data source : SMB HINDCAST DATA
 Record period : March 1987 - February 1992
 Total records read : 7196
 Recs with missing data : 0

	Min	Max	Mean	S.Dev
Significant Total Wave Height (m)	0.00	3.98	0.40	0.39
Average Zero Crossing period (seconds)	0.00	7.37	2.16	1.20

Notes:

For each $H_s - T_z$ combination the figures presented in the above table is the JONSWAP spectral width parameter σ_a .

For wave conditions for which the P-M spectra is to be used, sigma A is not required

(Note, Wave Heights are in metres)

Table 6.8 Jonswap spectra parameter matrix for Sigma A.



ARCO WAVES Hs VS Tz

Percentage Occurrence of Significant Total Wave Height (m) vs Average Zero Crossing period (seconds)

Average Zero Crossing period (seconds)

Significant Total Wave Height (m)	< 0	0- 1	1- 2	2- 3	3- 4	4- 5	5- 6	6- 7	7- 8	8- 9	9-10	>=10
JONSWAP - Sigma b												
< 0.00
0.00 < 0.25	.	PM	PM	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0.25 < 0.50	.	.	PM	0.0962	.	.	.	.	.	.	.	.
0.50 < 0.75	.	.	.	0.0803	0.1168	.	.	.	.	.	.	.
0.75 < 1.00	0.1006	.	.	.	.	.	.	.
1.00 < 1.25	0.0905	.	.	.	.	.	.	.
1.25 < 1.50	0.1070	.	.	.	.	.	.
1.50 < 1.75
1.75 < 2.00	0.1144	.	.	.	.	.
2.00 < 2.25	0.1083	.	.	.	.	.
2.25 < 2.50
2.50 < 2.75	0.0983	.	.	.	.	.
2.75 < 3.00	0.1111	.	.	.	.
3.00 < 3.25	0.1069	.	.	.	.
3.25 < 3.50	0.1030	.	.	.	.
3.50 < 3.75
3.75 < 4.00	0.1112	.	.	.
4.00 < 4.25
4.25 < 4.50
>= 4.50

signifies 0.0 %

Data source : SMB HINDCAST DATA
 Record period : March 1987 - February 1992
 Total records read : 7196
 Recs with missing data : 0

	Min	Max	Mean	S.Dev
Significant Total Wave Height (m)	0.00	3.98	0.40	0.39
Average Zero Crossing period (seconds)	0.00	7.37	2.16	1.20

Notes:

For each $H_s - T_z$ combination the values presented in the above table are the JONSWAP spectral width parameters σ_B .
 For wave conditions for which the P-M spectra is to be used, sigma B is not required

(Note, Wave Heights are in metres)

Table 6.9 Jonswap spectra parameter matrix for Sigma B.

ARCO WAVES Hs VS Tz

Percentage Occurrence of Significant Total Wave Height (m) vs Average Zero Crossing period (seconds)

Significant Total Wave Height (m)	Average Zero Crossing period (seconds)											Total %	
	< 0	0- 1	1- 2	2- 3	3- 4	4- 5	5- 6	6- 7	7- 8	8- 9	9-10		>=10
< 0.00	0.00
0.00 < 0.25	.	16.28	24.70	.	.	.	.	.	.	.	.	.	40.99
0.25 < 0.50	.	.	2.15	20.47	.	.	.	.	.	.	.	.	22.62
0.50 < 0.75	.	.	.	4.89	23.91	.	.	.	.	.	.	.	28.80
0.75 < 1.00	0.71	.	.	.	.	.	.	.	0.71
1.00 < 1.25	0.01	.	.	.	.	.	.	.	0.01
1.25 < 1.50	5.72	.	.	.	.	.	.	5.72
1.50 < 1.75	0.00
1.75 < 2.00	0.49	.	.	.	.	.	0.49
2.00 < 2.25	0.50	.	.	.	.	.	0.50
2.25 < 2.50	0.00
2.50 < 2.75	0.07	.	.	.	.	.	0.07
2.75 < 3.00	0.03	.	.	.	.	0.03
3.00 < 3.25	0.01	.	.	.	.	0.01
3.25 < 3.50	0.03	.	.	.	.	0.03
3.50 < 3.75	0.00
3.75 < 4.00	0.01	.	.	.	0.01
4.00 < 4.25	0.00
4.25 < 4.50	0.00
>= 4.50	0.00
Total %	0.00	16.28	26.86	25.36	24.64	5.72	1.06	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	

. signifies 0.0 %
* signifies < 0.01 %

Data source : SMB HINDCAST DATA
 Record period : March 1987 - February 1992
 Total records read : 7196
 Recs with missing data : 0

	Min	Max	Mean	S.Dev
Significant Total Wave Height (m)	0.00	3.98	0.40	0.39
Average Zero Crossing period (seconds)	0.00	7.37	2.16	1.20



RAO (0.100000) = 51889.042
 Fmax (0.100000) = 51889.04
 Mmax (0.100000) = 3283098.43

Seastate ke- 3 pada frekuensi 0.1Hz

KEDALAMAN	NODE	DEFLEKSI	MOMEN	STRESS
ft		inch	MN.m	MPa
0.0	41	1.5619	0.371005D+00	0.831868D+01
2.5	40	1.4813	0.385618D+00	0.864632D+01
5.0	39	1.4023	0.400104D+00	0.897114D+01
7.5	38	1.325	0.414433D+00	0.929243D+01
10	37	1.2494	0.428556D+00	0.960909D+01
12.5	36	1.1757	0.442410D+00	0.991972D+01
15.0	35	1.1038	0.455927D+00	0.102228D+02
17.5	34	1.0338	0.469039D+00	0.105168D+02
20.0	33	0.9658	0.481669D+00	0.108000D+02
22.5	32	0.8999	0.493753D+00	0.110709D+02
25.0	31	0.836	0.505214D+00	0.113279D+02
27.5	30	0.7742	0.515967D+00	0.150397D+02
30.0	29	0.7146	0.525921D+00	0.117922D+02
32.5	28	0.6573	0.534974D+00	0.119952D+02
35.0	27	0.6021	0.543009D+00	0.121754D+02
37.5	26	0.5493	0.549888D+00	0.123296D+02
40.0	25	0.4988	0.555440D+00	0.124541D+02
42.5	24	0.4506	0.559434D+00	0.125436D+02
45.0	23	0.4048	0.561815D+00	0.125970D+02
47.5	22	0.3613	0.562532D+00	0.126131D+02
50.0	21	0.3202	0.561529D+00	0.125906D+02
52.5	20	0.2815	0.558746D+00	0.125282D+02
55.0	19	0.2451	0.554116D+00	0.124244D+02
57.5	18	0.2111	0.547564D+00	0.220995D+02
60.0	17	0.1794	0.539002D+00	0.120855D+02
62.5	16	0.1499	0.528324D+00	0.118461D+02
65.0	15	0.1227	0.515396D+00	0.115562D+02
67.5	14	0.0976	0.500042D+00	0.112119D+02
70.0	13	0.0746	0.482011D+00	0.108077D+02
72.5	12	0.0537	0.460912D+00	0.103346D+02
75.0	11	0.0347	0.436018D+00	0.977640D+01
77.5	10	0.0175	0.405391D+00	0.908968D+01
80.0	9	0.0021	0.342091D+00	0.767037D+01
82.5	8	-0.0119	0.278558D+00	0.624583D+01
85.0	7	-0.0248	0.216936D+00	0.486414D+01
87.5	6	-0.0367	0.159282D+00	0.357143D+01
90.0	5	-0.0479	0.107593D+00	0.241245D+01
92.5	4	-0.0587	0.638370D-01	0.143135D+01
95.0	3	-0.0693	0.299817D-01	0.672251D+00
97.5	2	-0.0797	0.802185D-02	0.179866D+00
100	1	-0.09	0.000000D+00	0.000000D+00

RAO (0.2000000) = 51867.76
 Fmax (0.2000000) = 51867.76
 Mmax (0.2000000) = 3168012.11

Seastate ke- 3 pada frekuensi 0.2Hz

KEDALAMAN	NODE	DEFLEKSI	MOMEN	STRESS
ft		inch	MN.m	MPa
0.0	41	1.5049	0.358000D+00	0.802708D+01
2.5	40	1.4269	0.372606D+00	0.835458D+01
5.0	39	1.3505	0.387087D+00	0.867926D+01
7.5	38	1.2757	0.401409D+00	0.900039D+01
1.0	37	1.2026	0.415522D+00	0.931684D+01
12.5	36	1.1313	0.429363D+00	0.962718D+01
15.0	35	1.0618	0.442863D+00	0.992988D+01
17.5	34	0.9941	0.455951D+00	0.102233D+02
20.0	33	0.9284	0.468551D+00	0.105059D+02
22.5	32	0.8646	0.480597D+00	0.107760D+02
25.0	31	0.8028	0.492010D+00	0.110319D+02
27.5	30	0.7432	0.502706D+00	0.114653D+02
30.0	29	0.6856	0.512592D+00	0.114933D+02
32.5	28	0.6302	0.521565D+00	0.116945D+02
35.0	27	0.577	0.529507D+00	0.118726D+02
37.5	26	0.526	0.536280D+00	0.120245D+02
40.0	25	0.4773	0.541712D+00	0.121463D+02
42.5	24	0.4309	0.545569D+00	0.122328D+02
45.0	23	0.3867	0.547800D+00	0.122828D+02
47.5	22	0.3449	0.548354D+00	0.122952D+02
50.0	21	0.3054	0.547178D+00	0.122688D+02
52.5	20	0.2681	0.544212D+00	0.122023D+02
55.0	19	0.2332	0.539395D+00	0.120943D+02
57.5	18	0.2006	0.532652D+00	0.214976D+02
60.0	17	0.1701	0.523900D+00	0.117469D+02
62.5	16	0.1419	0.513037D+00	0.115033D+02
65.0	15	0.1159	0.499935D+00	0.112095D+02
67.5	14	0.0919	0.484425D+00	0.108618D+02
70.0	13	0.07	0.466267D+00	0.104546D+02
72.5	12	0.0501	0.445086D+00	0.997972D+01
75.0	11	0.032	0.420190D+00	0.942150D+01
77.5	10	0.0157	0.389743D+00	0.873883D+01
80.0	9	0.0011	0.328564D+00	0.736707D+01
82.5	8	-0.0122	0.267306D+00	0.599355D+01
85.0	7	-0.0244	0.208006D+00	0.466392D+01
87.5	6	-0.0356	0.152612D+00	0.342188D+01
90.0	5	-0.0463	0.103017D+00	0.230985D+01
92.5	4	-0.0565	0.610820D-01	0.136958D+01
95.0	3	-0.0664	0.286694D-01	0.642825D+00
97.5	2	-0.0762	0.766497D-02	0.171864D+00
100	1	-0.086	0.000000D+00	0.000000D+00

RAO (0.300000) = 51862.246
 Fmax (0.300000) = 51862.25
 Mmax (0.300000) = 1272582.6

Seastate ke- 3 pada frekuensi 0.31Hz

KEDALAMAN	NODE	DEFLEKSI	MOMEN	STRESS
ft		inch	MN m	MPa
0.0	41	0.5008	0.143808D+00	0.322446D+01
2.5	40	0.4679	0.158424D+00	0.355218D+01
5.0	39	0.4358	0.172934D+00	0.387752D+01
7.5	38	0.4043	0.187303D+00	0.419972D+01
10.0	37	0.3737	0.201480D+00	0.451758D+01
12.5	36	0.3439	0.215395D+00	0.482958D+01
15.0	35	0.315	0.228976D+00	0.513411D+01
17.5	34	0.287	0.242149D+00	0.542947D+01
20.0	33	0.2601	0.254833D+00	0.571388D+01
22.5	32	0.2343	0.266960D+00	0.598579D+01
25.0	31	0.2096	0.278448D+00	0.624336D+01
27.5	30	0.186	0.289207D+00	0.642998D+01
30.0	29	0.1637	0.299142D+00	0.670736D+01
32.5	28	0.1426	0.308144D+00	0.690921D+01
35.0	27	0.1229	0.316091D+00	0.708739D+01
37.5	26	0.1044	0.322834D+00	0.723858D+01
40.0	25	0.0874	0.328185D+00	0.735858D+01
42.5	24	0.0717	0.331887D+00	0.744157D+01
45.0	23	0.0574	0.333858D+00	0.748577D+01
47.5	22	0.0445	0.334000D+00	0.748896D+01
50.0	21	0.033	0.332173D+00	0.744799D+01
52.5	20	0.0229	0.328153D+00	0.735785D+01
55.0	19	0.0142	0.321512D+00	0.720895D+01
57.5	18	0.0068	0.311069D+00	0.725546D+02
60.0	17	0.0008	0.279931D+00	0.627661D+01
62.5	16	-0.0041	0.248763D+00	0.557776D+01
65.0	15	-0.0079	0.218180D+00	0.489204D+01
67.5	14	-0.0108	0.188696D+00	0.423095D+01
70.0	13	-0.0129	0.160727D+00	0.360383D+01
72.5	12	-0.0143	0.134603D+00	0.301806D+01
75.0	11	-0.0152	0.110570D+00	0.247920D+01
77.5	10	-0.0156	0.888065D-01	0.199122D+01
80.0	9	-0.0156	0.694266D-01	0.155668D+01
82.5	8	-0.0153	0.524913D-01	0.117696D+01
85.0	7	-0.0148	0.380168D-01	0.852413D+00
87.5	6	-0.0142	0.259825D-01	0.582581D+00
90.0	5	-0.0134	0.163389D-01	0.366352D+00
92.5	4	-0.0126	0.901374D-02	0.202106D+00
95.0	3	-0.0117	0.391795D-02	0.878483D-01
97.5	2	-0.0108	0.950161D-03	0.213045D-01
100	1	-0.01	0.000000D+00	0.000000D+00

RAO (0.400000) = 51868.014
 Fmax (0.400000) = 51868.01
 Mmax (0.400000) = 838686.34

Seastate ke- 3 pada frekuensi 0.4Hz

KEDALAMAN	NODE	DEFLEKSI	MOMEN	STRESS
ft		inch	MN.m	MPa
0.0	41	0.371	0.947754D-01	0.212506D+01
2.5	40	0.346	0.109385D+00	0.245263D+01
5.0	39	0.3216	0.123859D+00	0.277716D+01
7.5	38	0.2976	0.138151D+00	0.309763D+01
10.0	37	0.2743	0.152190D+00	0.341241D+01
12.5	36	0.2516	0.165884D+00	0.371945D+01
15.0	35	0.2295	0.179136D+00	0.401660D+01
17.5	34	0.2083	0.191848D+00	0.430161D+01
20.0	33	0.1878	0.203915D+00	0.457219D+01
22.5	32	0.1682	0.215251D+00	0.482637D+01
25.0	31	0.1495	0.225753D+00	0.506184D+01
27.5	30	0.1318	0.235312D+00	0.685903D+01
30.0	29	0.115	0.243812D+00	0.546677D+01
32.5	28	0.0993	0.251127D+00	0.563078D+01
35.0	27	0.0846	0.257114D+00	0.576501D+01
37.5	26	0.0711	0.261606D+00	0.586573D+01
40.0	25	0.0586	0.264396D+00	0.592828D+01
42.5	24	0.0472	0.265201D+00	0.594635D+01
45.0	23	0.0369	0.263972D+00	0.591879D+01
47.5	22	0.0278	0.260649D+00	0.584428D+01
50.0	21	0.0198	0.255147D+00	0.572091D+01
52.5	20	0.0128	0.247332D+00	0.554569D+01
55.0	19	0.0069	0.236953D+00	0.531295D+01
57.5	18	0.0019	0.223363D+00	0.901486D+01
60.0	17	-0.0021	0.199572D+00	0.447480D+01
62.5	16	-0.0052	0.176107D+00	0.394868D+01
65.0	15	-0.0076	0.153379D+00	0.343906D+01
67.5	14	-0.0094	0.131720D+00	0.295344D+01
70.0	13	-0.0106	0.111396D+00	0.249773D+01
72.5	12	-0.0113	0.926077D-01	0.207645D+01
75.0	11	-0.0117	0.754983D-01	0.169282D+01
77.5	10	-0.0117	0.601611D-01	0.134893D+01
80.0	9	-0.0115	0.466447D-01	0.104587D+01
82.5	8	-0.0111	0.349598D-01	0.783869D+00
85.0	7	-0.0105	0.250856D-01	0.562469D+00
87.5	6	-0.0098	0.169750D-01	0.380613D+00
90.0	5	-0.0091	0.105601D-01	0.236779D+00
92.5	4	-0.0083	0.575670D-02	0.129077D+00
95.0	3	-0.0075	0.246781D-02	0.553333D-01
97.5	2	-0.0067	0.586912D-03	0.131597D-01
100	1	-0.0058	0.000000D+00	0.000000D+00

RAO (0.500000) = 51929.962

Fmax (0.500000) = 51929.96

Mmax (0.500000) = 773393.56

Seastate ke- 3 pada frekuensi 0.5Hz

KEDALAMAN	NODE	DEFLEKSI	MOMEN	STRESS
ft		inch	MN.m	MPa
0.0	41	0.3117	0.791862D-01	0.177551D+01
2.5	40	0.2902	0.938042D-01	0.210328D+01
5.0	39	0.2691	0.108258D+00	0.242737D+01
7.5	38	0.2484	0.122492D+00	0.274652D+01
10.	37	0.2283	0.136418D+00	0.305876D+01
12.5	36	0.2087	0.149923D+00	0.336157D+01
15.0	35	0.1898	0.162892D+00	0.365236D+01
17.5	34	0.1715	0.175205D+00	0.392845D+01
20.0	33	0.154	0.186742D+00	0.418712D+01
22.5	32	0.1373	0.197399D+00	0.442608D+01
25.0	31	0.1214	0.207059D+00	0.464268D+01
27.5	30	0.1063	0.215598D+00	0.628439D+01
30.0	29	0.0922	0.222887D+00	0.499758D+01
32.5	28	0.079	0.228786D+00	0.512984D+01
35.0	27	0.0668	0.233141D+00	0.522748D+01
37.5	26	0.0556	0.235773D+00	0.528650D+01
40.0	25	0.0453	0.236464D+00	0.530199D+01
42.5	24	0.0361	0.234918D+00	0.526734D+01
45.0	23	0.0278	0.231112D+00	0.518199D+01
47.5	22	0.0205	0.225018D+00	0.504535D+01
50.0	21	0.0142	0.216596D+00	0.485653D+01
52.5	20	0.0087	0.205779D+00	0.461397D+01
55.0	19	0.0042	0.192435D+00	0.431477D+01
57.5	18	0.0004	0.176283D+00	0.711470D+01
60.0	17	-0.0026	0.156936D+00	0.351882D+01
62.5	16	-0.0049	0.137987D+00	0.309394D+01
65.0	15	-0.0067	0.119743D+00	0.268489D+01
67.5	14	-0.008	0.102456D+00	0.229727D+01
70.0	13	-0.0088	0.863201D-01	0.193547D+01
72.5	12	-0.0093	0.714800D-01	0.160273D+01
75.0	11	-0.0094	0.580355D-01	0.130127D+01
77.5	10	-0.0094	0.460464D-01	0.103245D+01
80.0	9	-0.0091	0.355377D-01	0.796827D+00
82.5	8	-0.0087	0.265049D-01	0.594293D+00
85.0	7	-0.0082	0.189184D-01	0.424188D+00
87.5	6	-0.0075	0.127283D-01	0.285394D+00
90.0	5	-0.0069	0.786824D-02	0.176422D+00
92.5	4	-0.0062	0.425877D-02	0.954901D-01
95.0	3	-0.0055	0.181028D-02	0.405902D-01
97.5	2	-0.0047	0.425291D-03	0.953587D-02
100	1	-0.004	0.000000D+00	0.000000D+00

RAO (0.6000000) = 52175.247
 Fmax (0.6000000) = 52175.25
 Mmax (0.6000000) = 639254.94

Seastate ke- 3 pada frekuensi 0.6Hz

KEDALAMAN	NODE	DEFLEKSI	MOMEN	STRESS
ft		inch	MN.m	MPa
0.0	41	0.2753	0.722387D-01	0.161974D+01
2.5	40	0.2558	0.869177D-01	0.194887D+01
5.0	39	0.2367	0.101406D+00	0.227373D+01
7.5	38	0.218	0.115638D+00	0.259284D+01
10.0	37	0.1997	0.129512D+00	0.290391D+01
12.5	36	0.1821	0.142897D+00	0.320404D+01
15.0	35	0.165	0.155662D+00	0.349025D+01
17.5	34	0.1486	0.167669D+00	0.375947D+01
20.0	33	0.1328	0.178782D+00	0.400865D+01
22.5	32	0.1179	0.188888D+00	0.423524D+01
25.0	31	0.1037	0.197855D+00	0.443632D+01
27.5	30	0.0904	0.205551D+00	0.599154D+01
30.0	29	0.0779	0.211836D+00	0.474980D+01
32.5	28	0.0663	0.216563D+00	0.485577D+01
35.0	27	0.0557	0.219569D+00	0.492319D+01
37.5	26	0.0459	0.220673D+00	0.494793D+01
40.0	25	0.0371	0.219649D+00	0.492498D+01
42.5	24	0.0292	0.216200D+00	0.484764D+01
45.0	23	0.0223	0.210325D+00	0.471592D+01
47.5	22	0.0162	0.202030D+00	0.452993D+01
50.0	21	0.0109	0.191314D+00	0.428964D+01
52.5	20	0.0065	0.178160D+00	0.399471D+01
55.0	19	0.0028	0.162536D+00	0.364439D+01
57.5	18	-0.0002	0.144431D+00	0.582919D+01
60.0	17	-0.0026	0.128274D+00	0.287616D+01
62.5	16	-0.0044	0.112517D+00	0.252285D+01
65.0	15	-0.0058	0.974055D-01	0.218403D+01
67.5	14	-0.0068	0.831377D-01	0.186411D+01
70.0	13	-0.0074	0.698656D-01	0.156653D+01
72.5	12	-0.0077	0.577006D-01	0.129376D+01
75.0	11	-0.0078	0.467167D-01	0.104748D+01
77.5	10	-0.0077	0.369559D-01	0.828625D+00
80.0	9	-0.0074	0.284313D-01	0.637486D+00
82.5	8	-0.007	0.211321D-01	0.473825D+00
85.0	7	-0.0065	0.150273D-01	0.336943D+00
87.5	6	-0.006	0.100691D-01	0.225770D+00
90.0	5	-0.0054	0.619611D-02	0.138929D+00
92.5	4	-0.0048	0.333635D-02	0.748077D-01
95.0	3	-0.0042	0.140937D-02	0.316008D-01
97.5	2	-0.0035	0.328071D-03	0.735602D-02
100	1	-0.0029	0.000000D+00	0.000000D+00

RAO (0.700000) = 52871.335
 Fmax (0.700000) = 52871.34
 Mmax (0.700000) = 611466.77

Scastate ke- 3 pada frekuensi 0.71Hz

KEDALAMAN	NODE	DEFLEKSI	MOMEN	STRESS
ft		inch	MN.m	MPa
0.0	41	0.2519	0.690986D-01	0.154933D+01
2.5	40	0.2336	0.839658D-01	0.188268D+01
5.0	39	0.2157	0.986166D-01	0.221118D+01
7.5	38	0.1982	0.112976D+00	0.253316D+01
10.0	37	0.1811	0.126929D+00	0.284601D+01
12.5	36	0.1646	0.140329D+00	0.314646D+01
15.0	35	0.1487	0.153028D+00	0.343119D+01
17.5	34	0.1335	0.164873D+00	0.369679D+01
20.0	33	0.1189	0.175715D+00	0.393988D+01
22.5	32	0.1051	0.185430D+00	0.415771D+01
25.0	31	0.092	0.193878D+00	0.434713D+01
27.5	30	0.0798	0.200916D+00	0.585643D+01
30.0	29	0.0684	0.206398D+00	0.462787D+01
32.5	28	0.0579	0.210172D+00	0.471247D+01
35.0	27	0.0483	0.212071D+00	0.475507D+01
37.5	26	0.0395	0.211912D+00	0.475149D+01
40.0	25	0.0317	0.209468D+00	0.469670D+01
42.5	24	0.0247	0.204443D+00	0.458402D+01
45.0	23	0.0186	0.196862D+00	0.441404D+01
47.5	22	0.0133	0.186759D+00	0.418751D+01
50.0	21	0.0089	0.174168D+00	0.390519D+01
52.5	20	0.0051	0.159121D+00	0.356781D+01
55.0	19	0.002	0.141662D+00	0.317634D+01
57.5	18	-0.0005	0.121989D+00	0.492341D+01
60.0	17	-0.0024	0.108149D+00	0.242493D+01
62.5	16	-0.004	0.946950D-01	0.212325D+01
65.0	15	-0.0051	0.818286D-01	0.183476D+01
67.5	14	-0.0059	0.697123D-01	0.156309D+01
70.0	13	-0.0063	0.584701D-01	0.131102D+01
72.5	12	-0.0066	0.481914D-01	0.108055D+01
75.0	11	-0.0066	0.389341D-01	0.872980D+00
77.5	10	-0.0065	0.307289D-01	0.689003D+00
80.0	9	-0.0062	0.235825D-01	0.528768D+00
82.5	8	-0.0059	0.174815D-01	0.391970D+00
85.0	7	-0.0054	0.123951D-01	0.277922D+00
87.5	6	-0.0049	0.827855D-02	0.185622D+00
90.0	5	-0.0044	0.507585D-02	0.113811D+00
92.5	4	-0.0039	0.272178D-02	0.610278D-01
95.0	3	-0.0033	0.114395D-02	0.256498D-01
97.5	2	-0.0028	0.264283D-03	0.592575D-02
100	1	-0.0022	0.000000D+00	0.000000D+00

RAO (0.800000) = 54443.447

Fmax (0.800000) = 54443.45

Mmax (0.800000) = 666955.08

Seastate ke- 3 pada frekuensi 0.8Hz

KEDALAMAN	NODE	DEFLEKSI	MOMEN	STRESS
ft		inch	MN.m	MPa
0.0	41	0.239	0.685594D-01	0.153724D+01
2.5	40	0.2213	0.838620D-01	0.188036D+01
5.0	39	0.2039	0.989208D-01	0.221800D+01
7.5	38	0.187	0.113652D+00	0.254831D+01
10.0	37	0.1705	0.127926D+00	0.286836D+01
12.5	36	0.1546	0.141580D+00	0.317451D+01
15.0	35	0.1393	0.154449D+00	0.346305D+01
17.5	34	0.1246	0.166366D+00	0.373025D+01
20.0	33	0.1106	0.177165D+00	0.397240D+01
22.5	32	0.0974	0.186715D+00	0.418653D+01
25.0	31	0.0849	0.194866D+00	0.436928D+01
27.5	30	0.0733	0.201465D+00	0.587241D+01
30.0	29	0.0626	0.206360D+00	0.462700D+01
32.5	28	0.0527	0.209393D+00	0.469500D+01
35.0	27	0.0436	0.210395D+00	0.471748D+01
37.5	26	0.0355	0.209180D+00	0.469024D+01
40.0	25	0.0282	0.205523D+00	0.460824D+01
42.5	24	0.0218	0.199126D+00	0.446480D+01
45.0	23	0.0163	0.190040D+00	0.426108D+01
47.5	22	0.0115	0.178328D+00	0.399846D+01
50.0	21	0.0075	0.164055D+00	0.367844D+01
52.5	20	0.0042	0.147296D+00	0.330267D+01
55.0	19	0.0015	0.128158D+00	0.287355D+01
57.5	18	-0.0006	0.107006D+00	0.431872D+01
60.0	17	-0.0023	0.947369D-01	0.212419D+01
62.5	16	-0.0036	0.828369D-01	0.185737D+01
65.0	15	-0.0046	0.714813D-01	0.160275D+01
67.5	14	-0.0052	0.608091D-01	0.136346D+01
70.0	13	-0.0056	0.509259D-01	0.114186D+01
72.5	12	-0.0058	0.419069D-01	0.939637D+00
75.0	11	-0.0058	0.337999D-01	0.757862D+00
77.5	10	-0.0056	0.266287D-01	0.597069D+00
80.0	9	-0.0054	0.203962D-01	0.457323D+00
82.5	8	-0.0051	0.150875D-01	0.338291D+00
85.0	7	-0.0047	0.106727D-01	0.239303D+00
87.5	6	-0.0042	0.710973D-02	0.159414D+00
90.0	5	-0.0037	0.434647D-02	0.974567D-01
92.5	4	-0.0032	0.232279D-02	0.520817D-01
95.0	3	-0.0027	0.972221D-03	0.217991D-01
97.5	2	-0.0022	0.223203D-03	0.500467D-02
100	1	-0.0017	0.000000D+00	0.000000D+00

RAO (0.9000000) = 57402.98
 Fmax (0.9000000) = 57402.98
 Mmax (0.9000000) = 623726.13

Seastate ke- 3 pada frekuensi 0.9Hz

KEDALAMAN	NODE	DEFLEKSI	MOMEN	STRESS
ft		inch	MN.m	MPa
0.0	41	0.2365	0.704839D-01	0.158039D+01
2.5	40	0.2187	0.866126D-01	0.194203D+01
5.0	39	0.2012	0.102466D+00	0.229750D+01
7.5	38	0.1842	0.117951D+00	0.264469D+01
10.0	37	0.1677	0.132920D+00	0.298034D+01
12.5	36	0.1517	0.147194D+00	0.330038D+01
15.0	35	0.1363	0.160586D+00	0.360066D+01
17.5	34	0.1217	0.172913D+00	0.387705D+01
20.0	33	0.1077	0.183992D+00	0.412548D+01
22.5	32	0.0945	0.193681D+00	0.434273D+01
25.0	31	0.0822	0.201817D+00	0.452514D+01
27.5	30	0.0707	0.208237D+00	0.606983D+01
30.0	29	0.06	0.212781D+00	0.477097D+01
32.5	28	0.0503	0.215282D+00	0.482705D+01
35.0	27	0.0415	0.215567D+00	0.483344D+01
37.5	26	0.0335	0.213443D+00	0.478582D+01
40.0	25	0.0265	0.208683D+00	0.467910D+01
42.5	24	0.0204	0.200985D+00	0.450648D+01
45.0	23	0.0151	0.190423D+00	0.426966D+01
47.5	22	0.0106	0.177088D+00	0.397068D+01
50.0	21	0.0068	0.161079D+00	0.361170D+01
52.5	20	0.0037	0.142504D+00	0.319522D+01
55.0	19	0.0013	0.121528D+00	0.272490D+01
57.5	18	-0.0007	0.986580D-01	0.398180D+01
60.0	17	-0.0022	0.872609D-01	0.195656D+01
62.5	16	-0.0034	0.762248D-01	0.170911D+01
65.0	15	-0.0043	0.657093D-01	0.147333D+01
67.5	14	-0.0048	0.558407D-01	0.125206D+01
70.0	13	-0.0052	0.467142D-01	0.104743D+01
72.5	12	-0.0053	0.383970D-01	0.860939D+00
75.0	11	-0.0053	0.309313D-01	0.693541D+00
77.5	10	-0.0052	0.243367D-01	0.545679D+00
80.0	9	-0.0049	0.186142D-01	0.417368D+00
82.5	8	-0.0046	0.137479D-01	0.308256D+00
85.0	7	-0.0042	0.970844D-02	0.217683D+00
87.5	6	-0.0038	0.645502D-02	0.144734D+00
90.0	5	-0.0034	0.393766D-02	0.882903D-01
92.5	4	-0.0029	0.209901D-02	0.470640D-01
95.0	3	-0.0024	0.875821D-03	0.196377D-01
97.5	2	-0.0019	0.200118D-03	0.448704D-02
100	1	-0.0015	0.000000D+00	0.000000D+00

RAO (1.100000) = 69106.92
 Fmax (1.100000) = 69106.92
 Mmax (1.100000) = 727722.87

Seastate ke- 3 pada frekuensi 1.1Hz

KEDALAMAN	NODE	DEFLEKSI	MOMEN	STRESS
	ft	inch	MN.m	MPa
0.0	41	0.2635	0.822360D+01	0.184390D+01
2.5	40	0.2432	0.101644D+00	0.227907D+01
5.0	39	0.2234	0.120694D+00	0.270621D+01
7.5	38	0.204	0.139264D+00	0.312257D+01
10.0	37	0.1853	0.157165D+00	0.352395D+01
12.5	36	0.1672	0.174162D+00	0.390507D+01
15.0	35	0.1498	0.190021D+00	0.426065D+01
17.5	34	0.1332	0.204506D+00	0.458544D+01
20.0	33	0.1175	0.217388D+00	0.487427D+01
22.5	32	0.1027	0.228489D+00	0.512318D+01
25.0	31	0.0889	0.237608D+00	0.532766D+01
27.5	30	0.0761	0.244550D+00	0.712831D+01
30.0	29	0.0643	0.249121D+00	0.558580D+01
32.5	28	0.0535	0.251126D+00	0.563076D+01
35.0	27	0.0438	0.250364D+00	0.561367D+01
37.5	26	0.0352	0.246616D+00	0.552963D+01
40.0	25	0.0276	0.239624D+00	0.537286D+01
42.5	24	0.021	0.229047D+00	0.513568D+01
45.0	23	0.0154	0.215010D+00	0.482096D+01
47.5	22	0.0106	0.197662D+00	0.443197D+01
50.0	21	0.0068	0.177159D+00	0.397227D+01
52.5	20	0.0036	0.153685D+00	0.344594D+01
55.0	19	0.0011	0.127509D+00	0.285900D+01
57.5	18	-0.0008	0.994031D-01	0.401187D+01
60.0	17	-0.0024	0.878523D-01	0.196983D+01
62.5	16	-0.0036	0.766817D-01	0.171936D+01
65.0	15	-0.0044	0.660506D-01	0.148099D+01
67.5	14	-0.005	0.560844D-01	0.125753D+01
70.0	13	-0.0053	0.468776D-01	0.105109D+01
72.5	12	-0.0054	0.384962D-01	0.863163D+00
75.0	11	-0.0054	0.309810D-01	0.694657D+00
77.5	10	-0.0053	0.243504D-01	0.545985D+00
80.0	9	-0.005	0.186035D-01	0.417127D+00
82.5	8	-0.0047	0.137229D-01	0.307694D+00
85.0	7	-0.0043	0.967739D-02	0.216986D+00
87.5	6	-0.0038	0.642442D-02	0.144049D+00
90.0	5	-0.0034	0.391210D-02	0.877172D-01
92.5	4	-0.0029	0.208110D-02	0.466624D-01
95.0	3	-0.0024	0.866136D-03	0.194205D-01
97.5	2	-0.0019	0.197130D-03	0.442006D-02
100	1	-0.0014	0.000000D+00	0.000000D+00

RAO (1.2000000) = 78146.575

Fmax (1.2000000) = 78146.58

Mmax (1.2000000) = 814493.85

Seastate ke- 3 pada frekuensi 1.2Hz

KEDALAMAN	NODE	DEFLEKSI	MOMEN	STRESS
ft		inch	MN m	MPa
0.0	41	0.2921	0.920416D+01	0.206376D+01
2.5	40	0.2695	0.113986D+00	0.255580D+01
5.0	39	0.2474	0.135518D+00	0.303858D+01
7.5	38	0.2258	0.156496D+00	0.350895D+01
10.0	37	0.2049	0.176704D+00	0.396206D+01
12.5	36	0.1848	0.195873D+00	0.439186D+01
15.0	35	0.1655	0.213731D+00	0.479228D+01
17.5	34	0.147	0.230011D+00	0.515730D+01
20.0	33	0.1296	0.244449D+00	0.548104D+01
22.5	32	0.1131	0.256844D+00	0.575896D+01
25.0	31	0.0978	0.266968D+00	0.598597D+01
27.5	30	0.0836	0.274600D+00	0.800420D+01
30.0	29	0.0705	0.279520D+00	0.626740D+01
32.5	28	0.0586	0.281511D+00	0.631203D+01
35.0	27	0.0479	0.280347D+00	0.628595D+01
37.5	26	0.0384	0.275786D+00	0.618367D+01
40.0	25	0.03	0.267540D+00	0.599879D+01
42.5	24	0.0228	0.255232D+00	0.572282D+01
45.0	23	0.0166	0.239015D+00	0.535920D+01
47.5	22	0.0115	0.219066D+00	0.491189D+01
50.0	21	0.0073	0.195575D+00	0.438518D+01
52.5	20	0.0039	0.168763D+00	0.378400D+01
55.0	19	0.0012	0.138953D+00	0.311560D+01
57.5	18	-0.001	0.107065D+00	0.432109D+01
60.0	17	-0.0026	0.946304D-01	0.212180D+01
62.5	16	-0.0039	0.826039D-01	0.185215D+01
65.0	15	-0.0048	0.711570D-01	0.159548D+01
67.5	14	-0.0054	0.604250D-01	0.135485D+01
70.0	13	-0.0058	0.505097D-01	0.113253D+01
72.5	12	-0.0059	0.414824D-01	0.930120D+00
75.0	11	-0.0059	0.333873D-01	0.748610D+00
77.5	10	-0.0057	0.262442D-01	0.588448D+00
80.0	9	-0.0055	0.200525D-01	0.449617D+00
82.5	8	-0.0051	0.147934D-01	0.331699D+00
85.0	7	-0.0047	0.104337D-01	0.233945D+00
87.5	6	-0.0042	0.692752D-02	0.155329D+00
90.0	5	-0.0037	0.421916D-02	0.946020D-01
92.5	4	-0.0032	0.224488D-02	0.503346D-01
95.0	3	-0.0027	0.934523D-03	0.209539D-01
97.5	2	-0.0021	0.212774D-03	0.477082D-02
100	1	-0.0016	0.000000D+00	0.000000D+00

RAO (1.3000000) = 89173.846
 Fmax (1.3000000) = 89173.85
 Mmax (1.3000000) = 921904.37

Scastate ke- 3 pada frekuensi 1.3Hz

KEDALAMAN ft	NODE	DEFLEKSI inch	MOMEN MN m	STRESS MPa
0.0	41	0.3293	0.104179D+00	0.233591D+01
2.5	40	0.3037	0.129219D+00	0.289735D+01
5.0	39	0.2787	0.153782D+00	0.344810D+01
7.5	38	0.2544	0.177707D+00	0.398455D+01
10.0	37	0.2307	0.200744D+00	0.450109D+01
12.5	36	0.208	0.222584D+00	0.499078D+01
15.0	35	0.1861	0.242914D+00	0.544661D+01
17.5	34	0.1653	0.261425D+00	0.586168D+01
20.0	33	0.1456	0.277817D+00	0.622922D+01
22.5	32	0.1271	0.291859D+00	0.654407D+01
25.0	31	0.1098	0.303290D+00	0.680037D+01
27.5	30	0.0937	0.311856D+00	0.909017D+01
30.0	29	0.079	0.317309D+00	0.711471D+01
32.5	28	0.0656	0.319402D+00	0.716163D+01
35.0	27	0.0536	0.317879D+00	0.712749D+01
37.5	26	0.0429	0.312466D+00	0.700612D+01
40.0	25	0.0335	0.302840D+00	0.679028D+01
42.5	24	0.0254	0.288573D+00	0.647039D+01
45.0	23	0.0185	0.269849D+00	0.605055D+01
47.5	22	0.0128	0.246875D+00	0.553543D+01
50.0	21	0.008	0.219877D+00	0.493009D+01
52.5	20	0.0042	0.189117D+00	0.424038D+01
55.0	19	0.0012	0.154976D+00	0.347487D+01
57.5	18	-0.0011	0.118533D+00	0.478395D+01
60.0	17	-0.0029	0.104790D+00	0.234961D+01
62.5	16	-0.0043	0.914931D-01	0.205146D+01
65.0	15	-0.0054	0.788324D-01	0.176758D+01
67.5	14	-0.0061	0.669587D-01	0.150135D+01
70.0	13	-0.0065	0.559853D-01	0.125530D+01
72.5	12	-0.0066	0.459916D-01	0.103122D+01
75.0	11	-0.0066	0.370269D-01	0.830217D+00
77.5	10	-0.0064	0.291140D-01	0.652794D+00
80.0	9	-0.0061	0.222525D-01	0.498945D+00
82.5	8	-0.0057	0.164224D-01	0.368223D+00
85.0	7	-0.0053	0.115872D-01	0.259809D+00
87.5	6	-0.0047	0.769687D-02	0.172579D+00
90.0	5	-0.0042	0.469012D-02	0.105162D+00
92.5	4	-0.0036	0.249695D-02	0.559867D-01
95.0	3	-0.003	0.104023D-02	0.233241D-01
97.5	2	-0.0025	0.237113D-03	0.531656D-02
100	1	-0.0019	0.000000D+00	0.000000D+00

RAO (1.400000) = 101954.37
 Fmax (1.400000) = 101954.37
 Mmax (1.400000) = 1047161.26

Seastate ke- 3 pada frekuensi 1.4Hz

KEDALAMAN	NODE	DEFLEKSI	MOMEN	STRESS
ft		mch	MN.m	MPa
0.0	41	0.3737	0.118334D+00	0.265329D+01
2.5	40	0.3447	0.146961D+00	0.329517D+01
5.0	39	0.3163	0.175041D+00	0.392476D+01
7.5	38	0.2886	0.202387D+00	0.453791D+01
10.0	37	0.2617	0.228712D+00	0.512818D+01
12.5	36	0.2359	0.253660D+00	0.568758D+01
15.0	35	0.2111	0.276874D+00	0.620807D+01
17.5	34	0.1874	0.297999D+00	0.668173D+01
20.0	33	0.165	0.316689D+00	0.710080D+01
22.5	32	0.144	0.332680D+00	0.745935D+01
25.0	31	0.1243	0.345674D+00	0.775070D+01
27.5	30	0.1061	0.355380D+00	0.103588D+02
30.0	29	0.0894	0.361516D+00	0.810592D+01
32.5	28	0.0742	0.363799D+00	0.815711D+01
35.0	27	0.0606	0.361939D+00	0.811540D+01
37.5	26	0.0485	0.355623D+00	0.797378D+01
40.0	25	0.0378	0.344484D+00	0.772403D+01
42.5	24	0.0287	0.328038D+00	0.735526D+01
45.0	23	0.0209	0.306497D+00	0.687227D+01
47.5	22	0.0144	0.280104D+00	0.628050D+01
50.0	21	0.009	0.249123D+00	0.558583D+01
52.5	20	0.0048	0.213856D+00	0.479509D+01
55.0	19	0.0014	0.174751D+00	0.391827D+01
57.5	18	-0.0013	0.133060D+00	0.537024D+01
60.0	17	-0.0033	0.117665D+00	0.263830D+01
62.5	16	-0.0049	0.102764D+00	0.230416D+01
65.0	15	-0.0061	0.885689D-01	0.198589D+01
67.5	14	-0.0068	0.752512D-01	0.168728D+01
70.0	13	-0.0073	0.629384D-01	0.141120D+01
72.5	12	-0.0075	0.517206D-01	0.115968D+01
75.0	11	-0.0075	0.416539D-01	0.933963D+00
77.5	10	-0.0073	0.327645D-01	0.734647D+00
80.0	9	-0.007	0.250530D-01	0.561739D+00
82.5	8	-0.0065	0.184976D-01	0.414753D+00
85.0	7	-0.006	0.130579D-01	0.292785D+00
87.5	6	-0.0054	0.867865D-02	0.194593D+00
90.0	5	-0.0048	0.529174D-02	0.118651D+00
92.5	4	-0.0042	0.281935D-02	0.632154D-01
95.0	3	-0.0035	0.117563D-02	0.263599D-01
97.5	2	-0.0029	0.268355D-03	0.601705D-02
100	1	-0.0022	0.000000D+00	0.000000D+00

RAO (1.5000000) = 116251.164
 Fmax (1.5000000) = 116251.16
 Mmax (1.5000000) = 1187649.15

Scastate ke- 3 pada frekuensi 1.5Hz

KEDALAMAN	NODE	DEFLEKSI	MOMEN	STRESS
ft		inch	MN m	MPa
0.0	41	0.4242	0.134210D+00	0.300925D+01
2.5	40	0.3912	0.166851D+00	0.374113D+01
5.0	39	0.359	0.198865D+00	0.445896D+01
7.5	38	0.3275	0.230041D+00	0.515798D+01
10.0	37	0.297	0.260050D+00	0.583084D+01
12.5	36	0.2676	0.288484D+00	0.646840D+01
15.0	35	0.2394	0.314935D+00	0.706148D+01
17.5	34	0.2126	0.338999D+00	0.760103D+01
20.0	33	0.1872	0.360279D+00	0.807818D+01
22.5	32	0.1633	0.378475D+00	0.848617D+01
25.0	31	0.1409	0.393246D+00	0.881737D+01
27.5	30	0.1203	0.404262D+00	0.117837D+02
30.0	29	0.1013	0.411200D+00	0.921994D+01
32.5	28	0.0841	0.413738D+00	0.927684D+01
35.0	27	0.0686	0.411546D+00	0.922769D+01
37.5	26	0.0549	0.404269D+00	0.906452D+01
40.0	25	0.0428	0.391490D+00	0.877799D+01
42.5	24	0.0324	0.372658D+00	0.835574D+01
45.0	23	0.0236	0.348018D+00	0.780326D+01
47.5	22	0.0162	0.317851D+00	0.712685D+01
50.0	21	0.0102	0.282458D+00	0.633328D+01
52.5	20	0.0054	0.242191D+00	0.543041D+01
55.0	19	0.0016	0.197563D+00	0.442976D+01
57.5	18	-0.0014	0.150017D+00	0.605463D+01
60.0	17	-0.0038	0.132698D+00	0.297536D+01
62.5	16	-0.0056	0.115925D+00	0.259928D+01
65.0	15	-0.0069	0.999415D-01	0.224089D+01
67.5	14	-0.0078	0.849393D-01	0.190451D+01
70.0	13	-0.0083	0.710636D-01	0.159339D+01
72.5	12	-0.0085	0.584169D-01	0.130982D+01
75.0	11	-0.0085	0.470635D-01	0.105526D+01
77.5	10	-0.0083	0.370338D-01	0.830371D+00
80.0	9	-0.0079	0.283291D-01	0.635195D+00
82.5	8	-0.0074	0.209259D-01	0.469200D+00
85.0	7	-0.0069	0.147795D-01	0.331387D+00
87.5	6	-0.0062	0.982834D-02	0.220371D+00
90.0	5	-0.0055	0.599657D-02	0.134455D+00
92.5	4	-0.0048	0.319723D-02	0.716884D-01
95.0	3	-0.0041	0.133442D-02	0.299204D-01
97.5	2	-0.0034	0.305031D-03	0.683940D-02
100	1	-0.0027	0.000000D+00	0.000000D+00

RAO (1.6000000) = 131872.667

Fmax (1.6000000) = 131872.67

Mmax (1.6000000) = 1341329.51

Seastate ke- 3 pada frekuensi 1.6Hz

KEDALAMAN	NODE	DEFLEKSI	MOMEN	STRESS
ft		inch	MN.m	MPa
0.0	41	0.4798	0.151576D+00	0.339865D+01
2.5	40	0.4425	0.188603D+00	0.422887D+01
5.0	39	0.406	0.224918D+00	0.504312D+01
7.5	38	0.3704	0.260281D+00	0.583601D+01
10.0	37	0.3359	0.294317D+00	0.659918D+01
12.5	36	0.3026	0.326565D+00	0.732225D+01
15.0	35	0.2707	0.356560D+00	0.799480D+01
17.5	34	0.2404	0.383843D+00	0.860653D+01
20.0	33	0.2116	0.407965D+00	0.914739D+01
22.5	32	0.1846	0.428584D+00	0.960971D+01
25.0	31	0.1593	0.445314D+00	0.998482D+01
27.5	30	0.1359	0.457779D+00	0.133436D+02
30.0	29	0.1145	0.465614D+00	0.104400D+02
32.5	28	0.095	0.468454D+00	0.105037D+02
35.0	27	0.0775	0.465926D+00	0.104470D+02
37.5	26	0.062	0.457626D+00	0.102609D+02
40.0	25	0.0484	0.443084D+00	0.993482D+01
42.5	24	0.0366	0.421673D+00	0.945477D+01
45.0	23	0.0266	0.393677D+00	0.882702D+01
47.5	22	0.0183	0.359412D+00	0.805874D+01
50.0	21	0.0115	0.319225D+00	0.715767D+01
52.5	20	0.0061	0.273516D+00	0.613277D+01
55.0	19	0.0017	0.222870D+00	0.499720D+01
57.5	18	-0.0016	0.168936D+00	0.681819D+01
60.0	17	-0.0043	0.149471D+00	0.335144D+01
62.5	16	-0.0063	0.130612D+00	0.292859D+01
65.0	15	-0.0078	0.112633D+00	0.252547D+01
67.5	14	-0.0088	0.957522D-01	0.214696D+01
70.0	13	-0.0094	0.801331D-01	0.179675D+01
72.5	12	-0.0097	0.658924D-01	0.147744D+01
75.0	11	-0.0097	0.531032D-01	0.119068D+01
77.5	10	-0.0094	0.418009D-01	0.937259D+00
80.0	9	-0.009	0.319877D-01	0.717229D+00
82.5	8	-0.0085	0.236381D-01	0.530014D+00
85.0	7	-0.0078	0.167027D-01	0.374509D+00
87.5	6	-0.0071	0.111129D-01	0.249174D+00
90.0	5	-0.0063	0.678424D-02	0.152116D+00
92.5	4	-0.0056	0.361963D-02	0.811595D-01
95.0	3	-0.0047	0.151197D-02	0.339015D-01
97.5	2	-0.0039	0.346056D-03	0.775927D-02
100	1	-0.0031	0.000000D+00	0.000000D+00

RAO (1.7000000) = 148686.477

Fmax (1.7000000) = 148686.48

$$M_{max} (1.700000) = 156822.073$$

Seastate ke-3 pada frekuensi 1.7Hz

KEDALAMAN	NODE	DEFLEKSI	MOMEN	STRESS
ft		inch	MN.m	MPa
0.0	41	0.5399	0.170278D+00	0.381797D+01
2.5	40	0.4979	0.212025D+00	0.475404D+01
5.0	39	0.4568	0.252970D+00	0.567209D+01
7.5	38	0.4167	0.292839D+00	0.656604D+01
10.0	37	0.3779	0.331212D+00	0.742645D+01
12.5	36	0.3405	0.367567D+00	0.824160D+01
15.0	35	0.3046	0.401380D+00	0.899976D+01
17.5	34	0.2704	0.432133D+00	0.968929D+01
20.0	33	0.238	0.459319D+00	0.102989D+02
22.5	32	0.2076	0.482553D+00	0.108198D+02
25.0	31	0.1792	0.501399D+00	0.112424D+02
27.5	30	0.1529	0.515435D+00	0.150242D+02
30.0	29	0.1288	0.524247D+00	0.117547D+02
32.5	28	0.1069	0.527425D+00	0.118259D+02
35.0	27	0.0872	0.524548D+00	0.117614D+02
37.5	26	0.0697	0.515162D+00	0.115510D+02
40.0	25	0.0544	0.498736D+00	0.111827D+02
42.5	24	0.0412	0.474567D+00	0.106407D+02
45.0	23	0.0299	0.442972D+00	0.993233D+01
47.5	22	0.0206	0.404312D+00	0.906550D+01
50.0	21	0.0129	0.358978D+00	0.804901D+01
52.5	20	0.0068	0.307422D+00	0.689303D+01
55.0	19	0.002	0.250309D+00	0.561243D+01
57.5	18	-0.0018	0.189503D+00	0.764827D+01
60.0	17	-0.0048	0.167707D+00	0.376032D+01
62.5	16	-0.0071	0.146580D+00	0.328662D+01
65.0	15	-0.0088	0.126433D+00	0.283488D+01
67.5	14	-0.0099	0.107509D+00	0.241058D+01
70.0	13	-0.0106	0.899952D-01	0.201787D+01
72.5	12	-0.0109	0.740215D-01	0.165971D+01
75.0	11	-0.0109	0.596714D-01	0.133795D+01
77.5	10	-0.0107	0.469854D-01	0.105351D+01
80.0	9	-0.0102	0.359670D-01	0.806451D+00
82.5	8	-0.0096	0.265882D-01	0.596161D+00
85.0	7	-0.0089	0.187948D-01	0.421416D+00
87.5	6	-0.0081	0.125104D-01	0.280508D+00
90.0	5	-0.0072	0.764120D-02	0.171331D+00
92.5	4	-0.0063	0.407924D-02	0.914648D-01
95.0	3	-0.0054	0.170519D-02	0.382338D-01
97.5	2	-0.0045	0.390710D-03	0.876050D-02
100	1	-0.0036	0.000000D+00	0.000000D+00

Seastate	M0	M2	fi
1	0.17	0.0025	1.2225
2	0.815	0.0830	1.0093
3	0.4697	0.4721	1.0025
4	1.8889	1.8939	1.0013
5	4.2847	4.2857	1.0001
6	8.4403	8.4433	1.0002
7	25.309	25.0324	1.0001
8	34.8478	34.8489	1.0001
9	41.6025	41.6039	1.0000
10	93.2713	93.2726	1.0001
11	110.7999	110.8015	1.0002
12	125.1959	125.1976	1.0002

alfaI	alfamd	alfasf	alfak	Beta
0.0001	0.596	0.1620	-0.9850	3.3913
0.0002	0.596	0.1620	-0.9850	1.7581
0.0002	0.607	0.1631	-0.9966	1.7366
0.0002	0.618	0.1642	-1.0082	1.7364

Stress range N/mm ²	ni cycles	Ni cycles	Di = ni/Ni
0.5	0.35712D+09	0.25483D+15	.00000
1.5	0.94732D+08	0.20723D+13	.00005
2.5	0.55589D+08	0.22119D+12	.00025
3.5	0.37078D+08	0.50667D+11	.00073
4.5	0.20903D+08	0.16853D+11	.00124
5.5	0.11178D+08	0.69976D+10	.00160
6.5	0.66351D+07	0.33665D+10	.00197
7.5	0.46769D+07	0.17987D+10	.00260
8.5	0.36208D+07	0.10396D+10	.00348
9.5	0.28242D+07	0.63872D+09	.00442
10.5	0.21416D+07	0.41203D+09	.00520
11.5	0.15661D+07	0.27662D+09	.00566
12.5	0.11051D+07	0.19199D+09	.00576
13.5	0.75489D+06	0.13705D+09	.00551
14.5	0.50140D+06	0.10022D+09	.00500
15.5	0.32568D+06	0.74832D+08	.00435
16.5	0.20835D+06	0.56906D+08	.00366
17.5	0.13239D+06	0.43978D+08	.00301
18.5	0.84384D+05	0.34477D+08	.00245
19.5	0.54504D+05	0.27377D+08	.00199
20.5	0.36017D+05	0.21992D+08	.00164
21.5	0.24523D+05	0.17851D+08	.00137
22.5	0.17260D+05	0.14628D+08	.00118
23.5	0.12547D+05	0.12091D+08	.00104
24.5	0.93791D+04	0.10074D+08	.00093
25.5	0.71652D+04	0.84546D+07	.00085
26.5	0.55571D+04	0.71437D+07	.00078
27.5	0.43491D+04	0.60738D+07	.00072
28.5	0.34175D+04	0.51942D+07	.00066
29.5	0.26861D+04	0.44660D+07	.00060
30.5	0.21058D+04	0.38593D+07	.00055
31.5	0.16434D+04	0.33507D+07	.00049
32.5	0.12751D+04	0.29221D+07	.00044
33.5	0.98264D+03	0.25588D+07	.00038
34.5	0.75177D+03	0.22495D+07	.00033
35.5	0.57077D+03	0.19849D+07	.00029
36.5	0.42998D+03	0.17575D+07	.00024
37.5	0.32137D+03	0.15613D+07	.00021
38.5	0.23829D+03	0.13913D+07	.00017
39.5	0.17530D+03	0.12435D+07	.00014
40.5	0.12794D+03	0.11145D+07	.00011
41.5	0.92645D+02	0.10016D+07	.00009
42.5	0.66562D+02	0.90239D+06	.00007
43.5	0.47449D+02	0.81500D+06	.00006
44.5	0.33562D+02	0.73777D+06	.00005
45.5	0.23555D+02	0.66934D+06	.00004
46.5	0.16405D+02	0.60855D+06	.00003
47.5	0.11336D+02	0.55440D+06	.00002
48.5	0.77738D+01	0.50605D+06	.00002
49.5	0.52896D+01	0.46277D+06	.00001
50.5	0.35716D+01	0.42396D+06	.00001
51.5	0.23930D+01	0.38907D+06	.00001
52.5	0.15910D+01	0.35764D+06	.00000
53.5	0.10496D+01	0.32927D+06	.00000
54.5	0.68707D+00	0.30361D+06	.00000
55.5	0.44629D+00	0.28037D+06	.00000
56.5	0.28765D+00	0.25928D+06	.00000
57.5	0.18396D+00	0.24010D+06	.00000
58.5	0.11673D+00	0.22264D+06	.00000
59.5	0.73499D-01	0.20671D+06	.00000
60.5	0.45917D-01	0.19215D+06	.00000
61.5	0.28462D-01	0.17884D+06	.00000
62.5	0.17504D-01	0.16664D+06	.00000
63.5	0.10681D-01	0.15545D+06	.00000
64.5	0.64667D-02	0.14517D+06	.00000
65.5	0.38844D-02	0.13571D+06	.00000
66.5	0.23150D-02	0.12699D+06	.00000
67.5	0.13688D-02	0.11896D+06	.00000
68.5	0.80297D-03	0.11154D+06	.00000

Di_{tot} = 0.72458294D-01

Z_{i(1)} = 0.26247441D+01

alfal	alfamd	alfasf	alfak	Beta
0.0008	0.0596	0.1620	-0.9850	3.3913
0.0009	0.0596	0.1620	-0.9850	1.7581
0.0009	0.0598	0.1631	-0.9866	1.7366
0.0009	0.0597	0.1642	-0.9866	1.7364

e234567

e\$noext

```
C*****
C   Program penentuan index keandalan terhadap fatigue dari single pile
C                                   created by Jacob Jordan
C*****
C       Petunjuk Notasi significant yang ada dalam program
```

```
e Af= apparent fixity level
e ai= second moment dari penampang pile
e al= panjang pile dalam tanah
e alfa= parameter spektrum JONSWAP
e am= massa struktur
e b= diameter luar dari pile
e Beta= index keandalan
e cd= koefisien drag
e cm= koefisien massa
e Deap= diameter luar dari pile
e dtb= increment dari tb, yaitu 10% dari tebal pile
e dmsd= increment dari msd, yaitu 10% dari massa deck
e dsf= increment dari sf, yaitu 10% dari sf (parameter S-N curve)
e dk= increment dari k, yaitu 10% dari k (parameter S-N curve)
e Es(n)= modulus elastisitas tanah pada node ke-n
e fi= jumlah siklus respon pada kurun waktu pendek
e Fmax= gaya total gelombang yang bekerja pada SWL
e fn= frekuensi natural struktur
e Hw= tinggi gelombang regular
e Jsoil= empirical constan dari tanah
e miutb= mean dari nilai tb, tebal dari pile
e miuand= mean dari nilai md, massa dari deck
e miusfn= mean normal dari nilai sf yang terdistribusi log normal
e miuk= mean dari nilai k
e M0= luasan dari kurva spektrum tegangan
e M2= second moment dari spektrum tegangan
e ni= jumlah siklus respon (rentang tegangan yang terjadi)
e Nic= jumlah siklus yang menyebabkan kepecahan pada rentang tegangan Itt
e oMmax= momen bending yang disebabkan oleh gaya lateral (gelombang)
e P= reaksi lateral tanah akibat gaya lateral
e Pu= reaksi lateral tanah ultimate
e RAOst= respon amplitudo operator dari tegangan
e sigvv= spectral density dari kecepatan horisontal partikel air
e Snn(f)= spektrum gelombang (JONSWAP)
e tantb= simpangan dari nilai tb
e tauand= simpangan dari nilai md
e tausfn= simpangan normal dari nilai sf yang terdistribusi log normal
e tauk= simpangan dari nilai k
```

- c TL= masa operational dari struktur
- c toRAO= Rao dari gaya gelombang
- c α = rentang tegangan
- c

```

implicit double precision (a-h,o-z)
double precision sisvv2(100),a(100),Sum(100),Momen(100),%st2
double precision jarak,L,k2,Isoil,toRAO(100),Stress(100)
double precision Ditot,Zi,Miusf,miusfu,No,Sst0
real z,fs,freq,ab,M0(50),M2(50),kn,PL,ni,Nic,Prob(50),Noji,Miuk
real Nojia,miul,ln,mdu
dimension Fmax(100),oMmax(100),Es(100),Has(100),Ps(100),y(100)
dimension Sigvv2(100,100),fdm(100,100),RAO2(100),F(100)
Dimension tMmax(50),Est(100),RAOst(100),ti(50),Beta(50),Zi(50)
Dimension lp(50),gamma(50),sigma(50),alfa(50),RAOM(100),RAO3(100)
Open (1,File='e:\masnew.dta')
Open (2,File='b\data1.dat')
d=97.
node=40
ed=1
en=2
rho=61.0
E=4.17*10**9
Dcap=4.
aL=100
Hw=2.
b=48./12.
TL=630000000
Isoil=0.5
g=32.185
gs=9.8
jarak=d/node
lkecil=aL/node
phi=22./7.
Seta=0.008
SCFA=1.3
SCFB=1.8
miul=ln=3.15
Miusd=mdn=35000
Miusf=1.23*10.**13
Miuk=kn=4.38
disf=0.06
disud=0.08
dissf=0.1
disk=0.05
tauf=disf*miul
taumd=disud*miusd
tauk=disk*miuk

```

```

lausth=muusth*sqrt(D*log(1+disslh*2))
muusth=muusth*(1-1./2.h*D*log(1+disslh*2))
sfh=muusth
write(*,*)'sfh=' ,sfh
pause'cuk'
Do 515 Ji=1,12
read(2,*)fp(ji),alfa(ji),gamma(ji),sigma(ji),prob(ji)
write(*,39)fp(ji),alfa(ji),gamma(ji),sigma(ji),prob(ji)
39 Format('fp=' ,f8.4, \, 'alfa=' ,f8.4, \, 'gamma=' ,f8.4, \
+sigma=' ,f8.5, \, 'Prob.' ,f8.5)
515 continue

```

```

jz=0.
Beta(1)=0.
Do 600 ib=2,11
df=0.1*ln
dmd=0.1*mdh
dst=0.1*sfh
dk=0.1*ku
17 jz=jz+1.
Noji=0.
Do 550 j=1,12

```

```

( *****
( ***** PERHITUNGAN  $\sigma_{VV}(z)$  *****
( *****

```

```

sra1a2=0.
i=0
do 70 z=0.,.97, .jarak
i=i+1
tosvv2=0.
j=0
write(*,*)z ,z
c write(1,*)z =',z
write(*,*) freq FS Sum(f) vv'(z)'
c write(1,*) freq FS Sum(l) vv'(z)'
fawal=0.
frakhir=1.65
frincr=0.05
do 60 fr=fawal,frakhir,frincr
if(fr.eq 0) then
freq=0.00001
else
freq=fr
endif
j=j+1
a(j)=exp(-(freq-fp(ji))2/(2.*sigma(ji)2*fp(ji)2))

```

```

    endif
    j=j+1
    a(j)=exp(-(freq-fp(j))**2/(2.*sigma(j)**2+fp(j)**2))
    Sum(j)=alfa(j)*g**2*(2.*phi)**(-4)*freq**(-5)*exp(-1.25)
    *(freq/fp(j))**(-4)*gamma(j)**a(j)
    Sigvv2(i,j)=(2.*phi*freq)**2*(cosh((2.*phi*freq)**2*z/g))**2*Su
    u(j)/((sinh((2.*phi*freq)**2*d/g))**2)
    ij=j/2
    chkij=float(j)/2.
    chkg=chkij-ij
    if (j.eq.1. or.(frakur-fr).lt.fi.incr) then
        FS=1.
    elseif (chkg.eq.0.) then
        FS=4.
    else
        FS=2.
    endif
    write (*,3)freq,FS
    write (*,*)Sum(j),Sigvv2(i,j)
c   write (1,3)freq,FS
c   write (1,*)Sum(j),Sigvv2(i,j)
3   format (f7.5,f4.1,3)
    tosvv2= sigvv2(i,j)*FS+tosvv2
60 Continue
    sisvv2(i)=(1./3.)*frincr*tosvv2
c   write (1,*)sisvv2 ('z,') ,sisvv2(i)
    write (*,*)sisvv2 ('z,') ,sisvv2(i)
70 Continue

```

```

C*****
C ***** PERHITUNGAN FMAX ( J ) & oMmax ( J ) *****
C*****

```

```

sigRAOst0=0.
sigRAOst2=0.
j=0
do 80 fr=0.1,1.8,0.2
    j=j+1
    freq fr
    write (*,*)freq =',freq
    write (1,*)freq =',freq
    i=0
    sigRAO=0
    sigRAOM=0.
do 90 z=0.,97.,jarak
    i=i+1
    RAO2(i)=(cm**2*(2.*phi*freq)**4*rho**2*phi**2/16.*Dcap)**i

```

```

-+cd**2*8./phi*rho**2*1)cap**2*(2.*phi*freq)**2*sisvv2(i))*((cosh
-((2.*phi*freq)**2*z/g))**2/(sinh((2.*phi*freq)**2*d/g))**2)
RAO3(j)=z*RAO2(j)
ii=i/2
chkii=float(i)/2.
chkg=chkii-ii
if (i.eq.1.or.i.eq.41) then
  FS=1.
elseif (chkg.eq.0.) then
  FS=4.
else
  FS=2.
endif
if (ib.eq.2.and.jz.eq.1)then
write (*,2)z,RAO2(j),RAO3(j),FS
write (1,2)z,RAO2(j),FS
2  Format ('z =',f7.3,' RAO² =',d15.7,'RAO3=',d15.7,
+ 'FS=',f3.1)
endif
sigRAO=sqrt(RAO2(j))*FS+sigRAO
sigRAOM=sqrt(RAO3(j))*FS+sigRAOM
90  Continue
toRAO(j)=1./3.*jarak*sigRAO
RAOM(j)=1./3.*jarak*sigRAOM
if (ib.eq.2.and.jz.eq.1)then
write (*,*)'RAO ('freq,') = ',toRAO(j),'RAOM=',RAOM(j)
write (1,*)'RAO ('freq,') = ',toRAO(j)
endif
Fmax(j)=(toRAO(j))*Hw/2.
oMmaxs=RAOM(j)
Afi=0.
95  Af=14.5*4.
if (fr.eq.0.3)then
Af=14.5*4.
endif
if (fr.eq.0.2.or.fr.eq.0.1) then
Af=19.5*4.
endif
If (Afi.gt.0.)then
Af=Af+2.5*Afi
endif
Write(*,*)'Af=',Af
Q=(14761450+127*mdn+(268100+mdn)*Af)/(97+Af)
fn=sqrt((3*E*In)/((97+Af)**3*Q/g))/(2.*phi)
write(*,*)'fn=',fn
k2=3.*E*In/(97.+Af)**3
Cad=sqrt(1/(k2**2*((1-(freq/fn)**2)**2+(2*seta*freq/fn)**2)))

```

```

Write (*,*)'cad =' cad
Umax1=cad*Fmax(j)
oMmaxd Q*Umax1
oMmax(j)=oMmaxs+oMmaxd
if(ib.eq.2.and.jz.eq.1)then
write (*,*)'Fmax ('freq,') =',Fmax(j)
write (1,*)'Fmax ('freq,') =',Fmax(j)
write (*,*)'Mmax ('freq,') =',oMmax(j)
write (1,*)'Mmax ('freq,') =',oMmax(j)
endif

```

```

(*****
( ***** PENENTUAN MATRIX DISPLACEMENT *****
(*****

```

```

Write(*,*)Umax1 =',Umax1
xr=18.489
Umax1 =120*Umax1
97  n=0.
do 135 x=aL,0.,likecil
n=n+1
if(x.gt.A1)then
y(n) =0.0002
else
y(n)=Umax1*(1-cos(phi*(A1-x)/(2*57.2958*(d+A1))))
endif
c Write (*,35)n,y(n)
c35 Format('Y('i2,')='d18.5)
135 continue
Esu=0.
138 Xr=18.489
n=0.
Do 839 x=aL,0.,-likecil
n=n+1.
c write (*,36)n,y(n)
c36 Format('y('i2,')='d20.5)
839 continue
Do 140 m=1,41
n=0.
Do 130 x=aL,0.,-likecil
n=n+1
if(x.ge.0. and.x.le.20.) then
E50=0.02
elseif(x.gt.20. and.x.le.40.) then
E50=-0.00075*x+0.035
else
E50=0.005

```



```

endif
yc=2.5*E50*b
if (x.ge.0..and.x.lt.6.) then
  gammas=30
else
  gammas=(0.000074*x+0.03)*1000
endif
if (x.ge.0..and.x.le.6.) then
  c=50
elseif (x.gt.6..and.x.le.40.) then
  c=(0.0085*x-0.00112)*1000
else
  c=(0.00484*x+0.146)*1000
endif
Pua=(3.*c*b+gammas*b*x+(3001*c*x)/12
Pub=(9.*c*b)/12
if (Pua.lt.Pub) then
  Pu=Pua
  if (y(n).ge.(-3.*yc).and.y(n).le.(3.*yc)) then
    P=0.5*Pu*(abs(y(n))/yc)**(1./3.)
  elseif(y(n).gt.(3.*yc).and.y(n).le.(15.*yc))then
    P=0.72*Pu*(x/xr+(1.-x/xr)**(15.*yc-y(n)))/(12.*yc)
  elseif(y(n).ge.(-15.*yc).and.y(n).lt.(-3.*yc))then
    P=0.72*Pu*(x/xr+(1.-x/xr)**(15.*yc-y(n)))/(12.*yc)
  elseif (y(n).gt.(15.*yc).or.y(n).lt.(-15*yc)) then
    P=0.72*Pu*x/xr
  endif
else
  Pu=Pub
  if (y(n).ge.(-3*yc).and.y(n).le.(3.*yc)) then
    P=0.5*Pu*(abs(y(n))/yc)**(1./3.)
  elseif (y(n).gt.(3.*yc).and.y(n).le.(15.*yc)) then
    P=0.72*Pu
  elseif(y(n).ge.(-15.*yc).and.y(n).lt.(-3.*yc))then
    P=0.72*Pu
  elseif (y(n).gt.(15.*yc).or.y(n).lt.(-15*yc))then
    P=0.72*Pu
  endif
endif
c Write(*,*)'Pu=',Pu
Es(n)=0.1667*Pu*abs(y(n))**(-2./3.)/yc**(1./3.)
if (Esn.eq.1.0) then
Esi(n)=0.1667*Pu/((abs(Has(n))**2.))**(1./3.)*yc**(1./3.))
c Write(*,*)'Esi=',Esi(n)
go to 129
endif
Ps(n)=-P-y(n)*Es(n)

```

```

Call Matrix(E,ln,hkecil,Es(n),Q,m,n,fdm)
129   Xr=18.489
130 Continue

```

```

C*****
C   CHEK KONVERGENSI TERHADAP
C   MODULUS ELASTISITAS TANAH
C*****

```

```

    if(Esu.eq.1.) then
      x =hkecil
      Do 133 n=41,1.. 1.
        x=x+hkecil
        if(x.ge.35)then
          go to 273
        endif
        Ed=abs(Hsi(n)-Es(n))/Es(n)
c       write(*,*)'Es=',Es(n)
c       write(*,*)'Ed('n,') ',Ed
        if (Ed.lt.0.08) then
          go to 235
        else
c       y(n) =has(n)
c       y(n-1) =has(n-1)
          go to 138
        endif
235   Esu = 2.
133   continue
      endif
      n=m
c     write(*,13)m,Ps(n)
c     write(1,*)m,Ps(n)
      Call gaya(E,ln,hkecil,Q,n,m,Ps(n),Fmax(j),oMmax(j),l)
c13 format ('Ps('i2,')='d20.10)
140 Continue
      call inv(N,fdm)
      call kali(N,N,1,fdm,f.Has)
      Do 240 I=1,41
        write (*,11)l,Has(l)
11 format ('Has('i2,')='d20.10)
240 continue
      Esu=1.
      write(*,*)'Fmax('freq,')='Fmax(j)
      go to 138

```

```

C*****
C ** ***** CHEK KONVERGENSI TERHADAP FIXITY LEVEL *****

```

(*****)

```

273 Do 279 I=41,1,-1.
    k=I-1.
    ab=Has(1)*Has(k)
    If (Ab.lt.0.) then
        Af=(41-I)*hkecil
        Write (*,*)'Af=',Af
        go to 277
    endif
279 continue
277   fi=sqrt(((3*E*ln)/((97+At)**3*(Q/a)))/(2.*pli)
      k3=3*E*ln/(97+At)**3
      cad2=sqrt(1./(k3**2*((1-(fi/eq/fi)**2)**2+(2*seta*fi/eq/fi
(
) **2)))
      Umax2=cad2*Fmax(j)
      oMmaxd2 =Q*Umax2
      tMmax(j)=oMmaxs + oMmaxd2
      Ac=abs(tMmax(j)-oMmax(j))/oMmax(j)
      if (Ac.gt.0.070) then
          Afi=Afi+1.
          goto 95
      endif

```

(*****)

C ***** PENENTUAN DEFLEKSI, MOMEN, DAN STRESS PADA PILE *****

(*****)

```

if (ib.eq.2.and.jz.eq.1)then
    Write(*,18)ji,fi
    Write(1,18)ji,fi
18  Format('Seastate ke-',j2,2x,'pada frekuensi',F3.1,'Hz')
    Write(*,*)-----+-----
+-----+
Write(*,*)'KEDALAMAN  NODE   DEFLEKSI    MOMEN
+-----+
STRESS'
Write(1,*)'KEDALAMAN  NODE   DEFLEKSI    MOMEN
+-----+
STRESS'
Write(*,*)'  ft          inch      MN.m
+-----+
MPa'
Write(1,*)'  ft          inch      MN.m
+-----+
MPa'
Write(*,*)'-----+-----
+-----+
endif
Do 274 n=41,1,-1
1 n

```

```

    If (I eq 41) then
      Momen(I) = E*ln/hkecil**2*(oMmax(j)*hkecil**2/(E*ln)+Has(40)
+ 2*Has(41)-2*Has(41)*Has(40))/(12.*10.**6)*0.3048*4.449
      elseif (I eq 1) then
      Momen(I) = E*ln/hkecil**2*(Has(2)+(-2*Has(1)+2*Has(1))-Has(2))/12
+ 0.3048*4.449/(1.*10.**6)
      else
      Momen(I) = (E*ln/(hkecil**2)*(Has(I+1)-2*Has(I)+Has(I-1)))/12*
+ 0.3048*4.449/(1.*10.**6)
      endif
      if (I eq 30) then
      Stress(I) = SCFA*Momen(I)*(2*0.3048)/(ln*0.3048**4)
      elseif (I eq 18) then
      Stress(I) = SCFB*Momen(I)*(2*0.3048)/(ln*0.3048**4)
      else
      Stress(I) = Momen(I)*(2*0.3048)/(ln*0.3048**4)
      endif
274 continue
      if (ib eq 2 and j eq 1) then
      x = hkecil
      Do 299 I = 41, 1, -1
      x = x + hkecil
      Write(' (16.2, 7x, 12.5x, 18.4, 4x, d17.6) ', x, I, Has(I)
+ , Momen(I), Stress(I)
      Write(' (16.2, 7x, 12.5x, 18.4, 4x, d17.6) ', x, I, Has(I)
+ , Momen(I), Stress(I)
299 continue
      Write(*, *)
    }
  endif

```

```

C*****
C***** PENENTUAN LUASAN DAN SECOND MOMENT DARI ***** (
*****SPEKTRUM TEGANGAN SERTA *****
C***** JUMLAH SIKLUS ( fi ) DARI RESPON TEGANGAN *****
C***** PADA KURUNWAKTU PENDEK *****
C*****

```

```

RAOst(j) = Stress(30)
a(j) = exp(-(freq-fp(j))**2/(2.*sigma(j)**2*fp(j)**2))
Snn(j) = alfa(j)*gs**2*(2*pln)**(-4)*freq**(-5)*exp(-1.25*
+ (freq/fp(j))**(-4))*gamma(j)**a(j)
Sst0 = RAOst(j)**2*Snn(j)
Sst2 = fi**2*Sst0
jj = j/2
chkjj = float(j)/2
chkg = chkjj - jj

```

```

if{(lr.eq.0.1.or lr.eq.1.7)}then
  Fs=1
Elseif{chkg.eq.0} then
  Fs=4
Else
  Fs=2
endif
Write(*,7)lr,Sst0,Sst2,Fs
7  Format('lr=',f5.2,'Sst0=',d20.8,'Sst2=',d20.8,'Fs ',f3.1)
sigRAOst0=Sst0*Fs+sigRAOst0
sigRAOst2=Sst2*Fs+sigRAOst0
80  continue
M0(ji)=(1./3.)*sigRAOst0*0.2
Write(*,*)M0=M0(ji)
M2(ji)=(1./3.)*sigRAOst2*0.2
fi(ji)=sqrt(M2(ji)/M0(ji))
Nojia=fi(ji)*prob(ji)
write(*,*)Nojia=,Nojia
Noji=Noji+Nojia
write(*,*)fi=,fi(ji)
Write(*,*)ji adalah=,ji
550  continue

```

```

C*****
C **** PENENTUAN JUMLAH TOTAL RESPON (No) SELAMA MASA **** C
***OPERATIONAL DAN PELUANG KJADIAN RENTANG TEGANGAN ** C
**DALAM KURUN WAKTU PANJANG PL ( xl ) SERTA KERUSAKKAN ** C
*****TOTAL (Ditol) YANG DITIMBULKANNYA *****
C*****

```

```

579  pause 'mau lihat m ?'
if{(ib.eq.2.and jz.eq.1)}then
  Write(*,*)'-----'
  Write(1,*)'-----'
  Write(*,*)Sea state      M0      M2      fi
  Write(1,*)Sea state      M0      M2      fi
  Do 923 ji=1,12
  Write(*,(1x,i2,8x,i8.4,4x,i8.4,4x,i8.4))ji,M0(ji),M2(ji),fi(ji)
  Write(1,(1x,i2,8x,i8.4,4x,i8.4,4x,i8.4))ji,M0(ji),M2(ji),fi(ji)
923  continue
  Write(*,*)'-----'
  Write(1,*)'-----'
  Write(*,*)Stress range      m      Ni
  Write(1,*)Stress range      m      Ni
  Write(*,*)D= m/Ni
  Write(1,*)Stress range      m      Ni

```

```

      Di = m/Ni'
      Write(*,*) N/mm          cycles          cycles'
      Write(1,*) N/mm          cycles          cycles'
      Write(*,*)-----
+-----
      endif
      No = Noji*11.
577  Format('No=',d20.10)
      Ditot=0
      Do 612 xt = 0.5,100.1
        Axt = 0.
        Do 611 ji = 1,12
          pxt = xt/M0(ji)*exp(-(xt**2)/(2*M0(ji)))
          Axti = fi(ji)*prob(ji)*pxt
          Axt = Axt+Axti
611  continue
      PL = Axt/Noji
      m = PL*No
      Nic = sfi/xt**kri
      Di = m/Nic
      Ditot = Ditot+Di
      if(ib.eq.2.and.jz.eq.1)then
        Write(*, '(1x,16.2,4x,d18.5,4x,d18.5,6x,16.5)')Axt,m,Nic,Di
        Write(1, '(1x,16.2,4x,d18.5,4x,d18.5,6x,16.5)')Axt,m,Nic,Di
      endif
      If (m.lt.0.001) then
        go to 575
      endif
612  continue

```

```

C*****
C ***** ANALISA KEANDALAN DENGAN METODE AFOSM *****
C *** TERHADAP MODA KEGAGALAN Zi SERTA PENENTUAN INDEX *** C
*****KEANDALAN BETA *****
C*****

```

```

      Write(*,*)-----
+-----
      write(*,*)'jz='jz
575  Zi(jz)=-Dlog(Ditot)
      write(*,711)Ditot,jz,Zi(jz)
      Write(1,711)Ditot,jz,Zi(jz)
711  Format('Ditot=',d20.8,'Zi(',i2,')=',d20.8)
      asf = sfi+dsf
      if (asf.ne.sfi.and.jz.eq.1.) then
        sfi = sfi+dsf
        jz = jz+1

```

```

write(*,*)jz='jz
go to 579
endif
if (jz.eq.2) then
dZisf=(Zi(jz)-Zi(1))/dsf
sfn=sfn-dsf
endif
write(*,*)jz='jz
ak=kn+dk
If (ak.ne.kn.and.jz.eq.2) then
kn=kn+dk
jz=jz+1
Write (*,*)jz='jz
go to 579
endif
if (jz.eq.3) then
dZik=(Zi(jz)-Zi(1))/dk
kn=kn-dk
endif
al=ln+dl
If (al.ne.ln.and.jz.eq.3) then
ln=ln+dl
write(*,*)siap-siap proses 1
go to 17
endif
If (jz.eq.4.) then
dZil=(Zi(jz)-Zi(1))/dl
Write (*,713)dZil
713 Format('dZitb=',f8.5)
ln=ln-dl
endif
ams=mdn+dmd
If(ams.ne.mdn.and.jz.eq.4) then
mdn=mdn+dmd
go to 17
endif
if (jz.eq.5) then
dZims=(Zi(jz)-Zi(1))/dmd
mdn=mdn-dmd
endif
MiuZi=Zi(1)+(miul-ln)*dZil+(miumd-mdn)*dZims+(miusfn-sfn)
+*dZisf+(miuk-kn)*dZik
TauZi=Sqrt((tau1*dZil)**2+(taumd*dZims)**2+(tausfn*dZisf)**2
++(tauk*dZik)**2)
Beta(ib)=MiuZi/TauZi
write(*,*)'Beta=',Beta(ib)
abet=Beta(ib)-Beta(ib-1)

```

```

H(abet H(0.0001))ihco
go to 700
cuchi
alfal=(tau1/TauZi)*dZi
In=mu1-alfal*Beta(ib)*tau1
alfiand=(tauand/TauZi)*dZiand
ouchi=muand-alfiand*Beta(ib)*tauand
alfiasf=(tauasf/TauZi)*dZisf
sfir=muasf-alfiasf*Beta(ib)*tauasf
alfiak=(tauk/TauZi)*dZiak
kn=muik-alfiak*Beta(ib)*tauk
j=j+1
600 continue
700 Write(*,*)'Yess... akhirnya.'
Pause'mau lihat Beta?'
Write(*,*)'-----'
F='-----'
Write(1,*)'-----'
F='-----'
Write(*,*)'alfal    alfiand    alfiandf    alfiak    Beta'
Write(1,*)'alfal    alfiand    alfiandf    alfiak    Beta'
Do 916 ib=2,5.
Write(*, '(1x,18.4,2x,18.4,3x,18.4,3x,18.4,3x,18.4)')alfal,alfiand,
+alfiasf,alfiak,Beta(ib)
Write(1, '(1x,18.4,2x,18.4,2x,18.4,2x,18.4,2x,18.4)')alfal,alfiand,
+alfiasf,alfiak,Beta(ib)
916 continue
710 Format ('Beta(',i2,') ',d20.7)
Close (1)
Stop
End

```

Subroutine Matrix(E,In,hkecil,Es,Q,m,n,fdm)

implicit double precision (a-h,o-z)

real In

dimension fdm(100,100)

if (m.eq.1) then

if (n.eq.1) then

fdm(m,n)=2*E*In+hkecil**4*Es

elseif (n.eq.2) then

fdm(m,n)=-4*E*In

elseif (n.eq.3) then

fdm(m,n)=2*E*In

else

fdm(m,n)=0.

endif

elseif (m.eq.2) then


```

if (n.eq.1) then
  fdm(m,n)=-2.*E*In+hkecil**2*Q
elseif (n.eq.2) then
  fdm(m,n)=5.*E*In-2.*hkecil**2*Q+hkecil**4*Es
elseif (n.eq.3) then
  fdm(m,n)=-4.*E*In+hkecil**2*Q
elseif (n.eq.4) then
  fdm(m,n)=E*In
else
  fdm(m,n)=0.
endif
elseif (m.eq.40) then
  if (n.eq.38) then
    fdm(m,n)=E*In
  elseif (n.eq.39) then
    fdm(m,n)=-4.*E*In+hkecil**2*Q
  elseif (n.eq.40) then
    fdm(m,n)=5.*E*In-2.*hkecil**2*Q+hkecil**4*Es
  elseif (n.eq.41) then
    fdm(m,n)=-2.*E*In+hkecil**2*Q
  else
    fdm(m,n)=0.
  endif
elseif (m.eq.41) then
  if (n.eq.39) then
    fdm(m,n)=2.*E*In
  elseif (n.eq.40) then
    fdm(m,n)=-4.*E*In
  elseif (n.eq.41) then
    fdm(m,n)=2.*E*In+hkecil**4*Es
  else
    fdm(m,n)=0.
  endif
else
  if (n.eq.(m-2).or.n.eq.(m+2)) then
    fdm(m,n)=E*In
  elseif (n.eq.(m-1).or.n.eq.(m+1)) then
    fdm(m,n)=-4.*E*In+hkecil**2*Q
  elseif (n.eq.m) then
    fdm(m,n)=6.*E*In-2.*hkecil**2*Q+hkecil**4*Es
  else
    fdm(m,n)=0.
  endif
endif
return
end

```

```

Subroutine eaya(I, h, hkecil, Q, n, m, Ps, Fmax, oMmax, J)
implicit double precision (a-h,o-z)
real h
dimension I(100)
n = m
if(m.eq.40)then
  F(m) = hkecil**4*(1+Ps)*hkecil**(-5)*Mmax
c   F(m) = hkecil**2*oMmax
elseif(m.eq.41)then
  F(m) = hkecil**4*(1+Ps)**2*oMmax*(hkecil**4/3)**3*(hkecil**3)*m**3
c   F(m) = oMmax*(hkecil**3)*oMmax*(hkecil**4)*Q
(hkecil**4)*Q*oMmax*(I**m)
  else
    F(m) = hkecil**4*(1+Ps)
c   F(m) = 0.
endif
c   write (*,7)m,F(m)
c 7 format ('(7,i2,') ',d20.10)
return
end

```

```

Subroutine my(N,fdm)
implicit double precision (a-h,o-z)
dimension fdm(100,100)
N = 41
do 660 I=1,N
  D = fdm(I,I)
  fdm(I,I) = 1/D
  Do 570 J=1,N
    fdm(I,J)=fdm(I,J)/D
570  continue
  Do 650 L=1,N
    if(L.eq.1) goto 650
    AD=fdm(L,J)
    fdm(L,I)=0.
    Do 640 J=1,N
      fdm(L,j)=fdm(L,j)-AD*fdm(L,I)
640  continue
650  continue
660  continue
return
end

```

```

subroutine kali(N,M,j,fdm,F,c)
implicit double precision (a-h,o-z)
dimension fdm(100,100),I(100),c(100,1)
N = 41

```

```
do 190 l=1,N
  J=1
  c(l,J)=0
  do 170 k=1,M
    c(l,J)=c(l,J)+f(lm(l,K))*F(K)
170 continue
190 continue
  return
end
```

