16.137/H/02

PERPUSTAKAAN ITS

TUGAS AKHIR
(KL. 1702)

ANALISA QUASI STATIS PERILAKU STRUKTUR KAKI JACK-UP TIPE TRUSS 4 CHORD K DAN Z BRACING SYSTEM ANTARA DETAILED MODEL DAN STICK MODEL

RSKe
627.98
Wah
a-1
2002

Oleh :

DIDIK HERU WAHYUDI
NRP : 4397 100 019

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

2002

PERPUSTAKAAN ITS
Tgl. Terima 12-2-2002
Terima Dari H
No. Agenda Prp. 21-447d

ANALISA QUASI STATIS PERILAKU STRUKTUR KAKI JACK-UP TIPE TRUSS 4 CHORD K DAN Z BRACING SYSTEM ANTARA DETAILED MODEL DAN STICK MODEL

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat

Untuk Menyelesaikan Studi Program Sarjana

Pada

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Ir. D. M. Rosyid, PhD	Ir. Murdjito, MSc. Eng
NIP. 131 782 038	NIP. 132 149 376

SURABAYA

2002

ABSTRAK

Tugas akhir ini menganalisa perilaku struktur kaki *jack up* tipe *truss* 4 *chords* K dan Z *bracing system* antara *stick model* dan *detailed model* yang dioperasikan di laut utara dengan kedalaman laut 76,5 meter. Analisa ini dilakukan untuk menentukan konfigurasi *bracing* struktur kaki *jack up* yang paling baik akibat pembebanan luar dan menentukan pemodelan yang paling efektif untuk keperluan perancangan antara *detailed model* dan *stick model*. Analisa dilakukan dengan *quasi* statis menggunakan software STRUCAD*3D. Untuk membuat *stick model*, diperlukan properti ekuivalen, antara lain momen inersia ekuivalen (I_{eq}), luas penampang ekuivalen (A_{eq}), diameter ekuivalen (D_{eq}), koefisien drag ekuivalen (CD_{eq}), koefisien inersia ekuivalen (CM_{eq}), dan massa tiap *bay*. Untuk mendapatkan respons struktur yang sama antara *stick model* dan *detailed model*, dilakukan analisa secara berulang-ulang. Respon struktur yang diperoleh dari *stick model* antara lain: displasmen arah horisontal, gaya reaksi arah horisontal dan vertikal, stabilitas struktur, perpindahan geladak horisontal dan *dynamic amplification factor* (DAF), sedangkan respon struktur yang dihasilkan oleh *detailed model* lebih variatif, antara lain: displasmen arah X, Y dan Z, gaya reaksi arah X, Y dan Z, momen reaksi arah X, Y dan Z, tegangan yang berhubungan dengan besarnya rasio interaksi, yang akan digunakan untuk membandingkan respon antara kedua tipe *bracing*. Hasil analisa dan pembahasan menunjukkan bahwa struktur *jack-up* dengan tipe *bracing* K memiliki stabilitas dan rasio interaksi yang lebih baik dibanding tipe *bracing* Z. Dari pemodelan yang telah dilakukan dan dari respon struktur yang dihasilkan oleh kedua model, pemodelan struktur dengan menggunakan *stick model* tidak efektif lagi, cara yang paling efektif adalah dengan menggunakan *detailed model*.

KATA PENGANTAR

Puji syukur yang sebesar-besarnya penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas rachmat, hidayah, ketabahan, kesabaran dan semua yang diberikan-Nya, sehingga pada akhirnya penulis mampu menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

Tugas Akhir ini dikerjakan guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan Strata 1 (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Laporan Tugas Akhir yang berjudul "**Analisa Quasi Statis Perilaku Struktur Kaki *Jack-up* Tipe Truss 4 Chord K dan Z *bracing System* Antara *Detailed Model* Dan *Stick Model***" ini membandingkan respons struktur kaki jack up antara *stick model* dan *detailed model* sehingga didapatkan pemodelan yang paling efektif.

Dalam proses penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, banyak pihak yang telah membantu penulis, sehingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan. Untuk itu penulis dengan tulus ikhlas mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Paulus Indiyono, MSc.PhD, selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan FTK - ITS,
2. Bapak Dr. Ir. Wahyudi, MSc selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kelautan FTK - ITS sekaligus sebagai dosen wali, atas bimbingannya selama penulis kuliah,
3. Bapak Ir. Daniel M. Rosyid Phd, selaku Dosen pembimbing I atas segala bantuan yang diberikan,
4. Bapak Ir. Murdjito MSc.Eng, selaku Dosen pembimbing II atas segala ilmu, bantuan, serta dorongan yang diberikan,
5. Bapak Ir. Vincentius Rumawas dan Ir. Rudy Waluyo atas waktunya untuk berdiskusi,

6. Keempat orang tua penulis : Bapak Sukimin dan Ibu Kasiani, Ibu Djumini dan Bapak Saekoni (alm) atas cinta, kasih sayang, serta do'a yang tak pernah putus.
7. **Rizky Amelia Indrasari**, atas segala cinta, kasih sayang, dukungan, do'a serta segala yang terindah,
8. Ibu Siti Malicha Sedayu, atas do'a dan kasih sayang yang diberikan,
9. Kakak-kakak, Adik-adik dan keponakan di Purwodadi: Mbak Riaseh - Mas Di, Mbak Sutini - Mas Sugeng, Mbak Sumarni, Tutik, Ningrum, Maya, Ike, Ema, Anggun, atas segala dukungan dan keceriaannya,
10. Keluarga Pak dhe Sami'in di manukan: Dhe Tri, Mas Sis, Mas Yanto, Mas Adi dan Mbak Ut atas dukungan dan nasehatnya.
11. Adriansyah Sinaga ST., terima kasih atas pelatihan Strucadnya dan transfer ilmunya dari Maxus,
12. Teman-teman seperjuangan: Pradins (atas semangat dan diskusinya), Dian 'chik yen', Awang, Mbud (*thank's for AutoCad training*), Timbul, Hariyono, Miil, Titin (atas segala bantuannya), Rina, Ilham, Iwan, Ivan, Dien, Silvi, Menuk dan Christin (atas pinjaman printernya), Wiwin, Nurin, dan seluruh angkatan '97 terima kasih atas dorongan semangat dan keceriaanya selama penulis kuliah,
13. *Arek-arek* Laboratorium Komputasi: Fonda, Aryo Punk, Suhud, Zakki, Breh, Lucky,
14. Arek-arek Laboratorium Operation Research: Rumanto, Inos, Hendrik, Ondy terima kasih atas bantuannya,
15. *Arek-arek* Pasukan karak *and the girl*: Dody, Arief, Bambang, Ashar, Goteh, Puji, Hermansyah, Dhenok, Meme, Ima, *you are the best friend.*
16. Teman-teman SMA : Ellen, Okta, Memet, Gepeng, Heri, Arif kintal, Arif pendi, Think, atas kebersamaannya,

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam Laporan Tugas Akhir ini, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak sangat penulis harapkan, di samping harapan bahwa Tugas Akhir ini bisa bermanfaat di masa mendatang.

Surabaya, Januari 2002

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang I-1

1.2. Perumusan masalah I-4

1.3. Tujuan I-7

1.4. Manfaat I-7

1.5. Batasan masalah I-8

1.6. Metodologi penelitian I-10

1.7. Sistematika penulisan I-15

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan pustaka II-1

2.2. Landasan teori

2.2.1. *Jack-up* secara umum II-4

2.2.2. Prosedur perancangan struktur jack up II-14

2.2.3. Metode analisa perancangan struktur jack up II-16

2.2.4. Teori gelombang II-17

2.2.5. Teori pembebanan

2.2.5.1. Beban mati II-23

2.2.5.2. Beban hidup II-23

2.2.5.3. Beban akibat kecelakaan II-24

2.2.5.4. Beban lingkungan II-24

2.2.6. Teori pemodelan struktur

2.2.6.1. Pemodelan secara umum II-30

2.2.6.2. Pemodelan struktur *jack-up* II-31

2.2.7. Dasar metode elemen hingga

2.2.7.1. Pendiskritan dari sistem yang dianalisa..... II-43

2.2.7.2. Pemilihan model lendutan..... II-44

2.2.7.3. Penurunan matrik kekakuan elemen II-45

2.2.7.4. penggabungan elemen..... II-46

2.2.7.5. Perhitungan lendutan dari persamaan aljabar simultan..... II-47

2.2.7.6. Menentukan tegangan dan regangan elemen..... II-47

2.2.8. Perhitungan Tegangan

2.2.8.1. Tegangan pada elemen rangka dengan metode analitis statis..... II-48

2.2.8.2. Tegangan ijin untuk member silinder (API RP 2A)..... II-51

2.2.8.3. Rasio interaksi (*Interaction ratio*)..II-53

2.2.9. Indeks lingkungan II-53

2.2.10. Analisa quasi statis II-54

BAB III. PEMODELAN STRUKTUR DAN PEMBEBANAN

3.1. Pemodelan struktur III-1

3.2. Model acuan III-2

PERPUSTAKAAN ITS

3.3. Pemodelan struktur kaki *jack-up*

3.3.1. *Detailed model* III-5

3.3.2. *Stick model* III-10

3.4.Model pembebanan III-14

BAB IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa

4.1.1. Perbandingan respon struktur antara *detailed model* dan *stick model*..... IV-1

4.1.2. Respon dari detailed analysis dan global analysis IV-16

4.2. Pembahasan IV-21

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.2. Kesimpulan V-1

5.2. Saran V-3

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Konfigurasi *Jack Up* tipe *truss* 3 kaki

Gambar 1.2. *Detailed model* dan *stick model* struktur kaki jack up

Gambar 1.3. Struktur *jack up* dengan 3 kaki tampak atas

Gambar 1.4. Kaki *jack up* tipe *truss* 4 *chord*, K dan Z *bracing sistem*

Gambar 1.5. Struktur *Jack Up* dengan 3 kaki

Gambar 1.6. Diagram alir metodologi penulisan

Gambar 1.7. Diagram alir pembuatan stick model

Gambar 2.1. Grafik *Region of Validity*

Gambar 2.2. Stick model struktur jack up

Gambar 2.3. Luasan *Ekuivalen* untuk K *bracing system*

Gambar 2.4. Luasan *Ekuivalen* untuk Z *bracing system*

Gambar 2.5. Proyeksi *Chord* dan *Rack* (DnV,1984)

Gambar 2.6. Proyeksi *diagonal brace*

Gambar 2.7 . *Horisontal brace dan secondary brace*

Gambar 2.8. CD untuk *chord* dengan *rack*

Gambar 2.9. Detailed model struktur jack up

Gambar 2.10. Tegangan Aksial

Gambar 2.11. Momen kopel pada batang tubular

Gambar 3.1. Ukuran utama Jack up

Gambar 3.2. Penampang kaki dan sistem *Pinions* pada *Chord*

Gambar 3.3. Sistem *support* dan nomor joint *detailed model* dengan K *bracing system*

Gambar 3.4. Sistem support dan nomor joint detailed model dengan Z bracing system

Gambar 3.5. Nomor joint dan support stick model 1 kaki

Gambar 3.6. Stick model untuk global analisis 3 kaki

Gambar 3.7. Luasan proyeksi yang terkena beban angin

Gambar 4.1. Grafik beban gelombang

Gambar 4.2. Grafik *displacement* arah X

Gambar 4.3. Grafik *displacement* arah Y

Gambar 4.4. Grafik displacement arah Z

Gambar 4.5. Gaya reaksi arah X

Gambar 4.6. Gaya reaksi arah Y

Gambar 4.7. Gaya reaksi arah Z

Gambar 4.8. Grafik Moment reaksi sumbu X

Gambar 4.9. Grafik Moment reaksi sumbu Y

Gambar 4.10. Grafik moment reaksi sumbu Z

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perbedaan Metode analisis deterministik dan stochastic

Tabel 2.2. Nilai parameter profil gelombang

Tabel 2.3. Nilai parameter kecepatan

Tabel 2.4. Parameter frekuensi gelombang

Tabel 3.1. Ukuran chord dan brace per bay

Tabel 3.2. Properti stick model ekuivalen untuk jack up 4 chord

Tabel 3.3. Beban gelombang

Tabel 3.4. Kecepatan arus tiap elevasi 10% kedalaman

Tabel 3.5. Luasan proyeksi yang terkena beban angin untuk model analisa global

Tabel 3.6. Luasan proyeksi yang terkena beban angin untuk model analisa local 1 kaki

Tabel 4.1. Besarnya indeks lingkungan

Tabel 4.2. Hasil perhitungan dari *detailed model* jack up satu kaki

Tabel 4.3. Data masukkan untuk analisa global struktur jack up 3 kaki

Tabel 4.4. Hasil perhitungan analisa global struktur jack up 3 kaki

BAB I
PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG MASALAH

Perancangan struktur merupakan sebuah kegiatan pengambilan keputusan untuk menentukan material, konfigurasi, penataan ruang dan susunan konstruksi. Salah satu cara untuk melakukan proses perancangan ini adalah dengan menggunakan pendekatan iterative yang melibatkan perhitungan, yang lazim disebut analisis (Rosyid,1993). Tujuan setiap analisa struktur adalah untuk memastikan bahwa besaran-besaran respon yang terhitung (terutama tegangan dan lendutan) bagi model struktur yang ditinjau berada dalam harga-harga yang diijinkan.

Analisa perancangan struktur, mencakup beberapa aspek rancangan, seperti kekuatan, stabilitas, keandalan dan sebagainya.

Metode analisis respon struktur barang kali merupakan bagian yang paling dapat diandalkan dari seluruh bagian kegiatan perancangan. Ini disebabkan karena kemajuan dalam mekanika komputasi seperti metode elemen hingga (FEM) dan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Meskipun demikian perancang menghadapi beberapa pilihan metode analisis (Rosyid,1993).

Pemahaman akan perkembangan perancangan (*conceptual design*) struktur *jack-up* yang telah ada merupakan hal

penting agar perancang dapat menciptakan suatu rancangan baru yang inovatif dan kompetitif dalam aspek operasional. Metodologi dan prosedur teknis perancangan *jack-up* masih perlu disempurnakan lagi dengan memasukan permasalahan kompleksitas dari sistem (Murdjito, 1996).

Metode penting yang sering digunakan dalam pekerjaan analisa suatu konstruksi bangunan lepas pantai adalah metode deterministik. Metode ini biasa digunakan untuk analisa perancangan konsep, karena analisisnya mudah dilakukan dan hasilnya dalam waktu singkat dapat dilihat. Analisa yang biasa digunakan untuk perancangan *jack-up platform* adalah *quasi static deterministic analysis*, dimana beban siklik dijadikan suatu beban statis yang tidak dinyatakan dalam fungsi waktu (dalam hal ini adalah beban gelombang yang mengenai struktur didekomposisikan menjadi gelombang reguler yang tidak dinyatakan dalam fungsi waktu, sehingga beban gelombang seolah-olah statis). Pendekatan statis ini diambil untuk mendapatkan gambaran awal konsep perancangan yang paling potensial untuk dikembangkan sebelum dilakukan analisa lebih lanjut. Pertama yang dilakukan pada analisa model struktur *jack-up* ialah pemodelan secara global untuk mendapatkan ukuran utama *jack-up*. Setelah ukuran utama ditentukan maka baru dilakukan pemodelan detail (*detailed model*) untuk melihat karakteristik tiap-tiap elemen (Murdjito, 1996).

Pemodelan *jack up* secara global ini adalah dengan menggunakan *stick model* dengan standar Det Norske Veritas. Dimana *stick model* ini merupakan *ekuivalen* dari *detailed model*. Dengan *stick model* ini kita tidak perlu memasukkan banyak elemen kaki *jack up* yang tentunya memerlukan banyak waktu, tetapi kita cukup memasukkan beberapa elemen yang *ekuivalen* dengan *detailed model*.

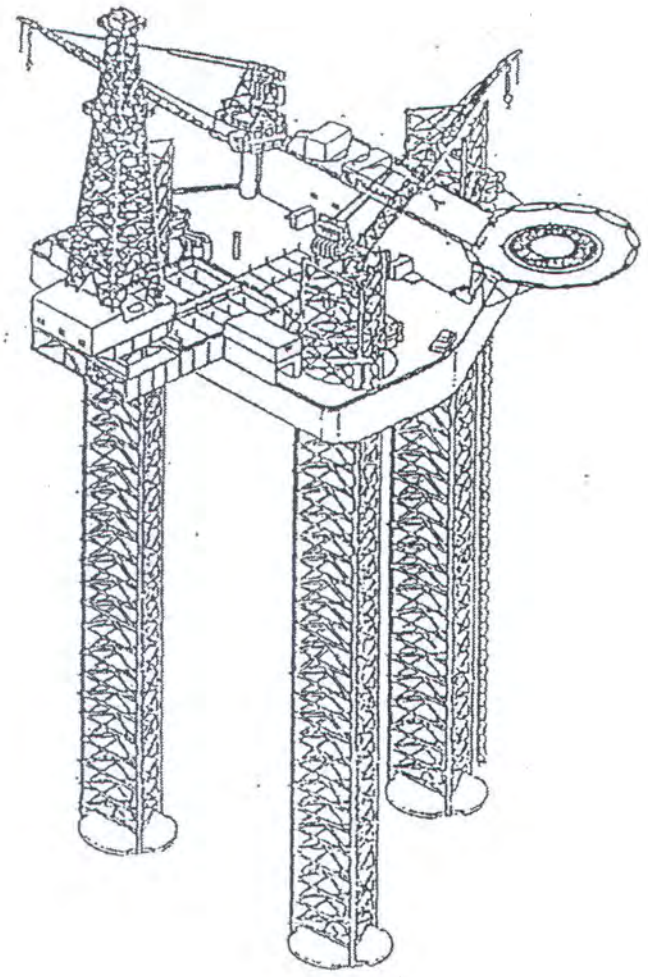
Dengan adanya *software-software* struktur yang semakin canggih, apakah pemodelan *jack up* dengan *stick model* masih efektif dalam pemodelan *jack up* secara global.

Untuk itu dalam penelitian ini akan dicoba untuk membandingkan analisa dengan menggunakan *stick model* dan *detailed model*, seberapa besar perbedaan respons yang terjadi pada kedua model tersebut.

Untuk mengecek dua model itu *ekuivalen*, maka disini akan digunakan analisa statis pada kedua model tersebut dan *displacement* dari kedua model tersebut dapat dibandingkan.

Model yang digunakan dalam analisa disini adalah kaki *jack up* tipe *truss* 4 *chord*, K dan Z *bracing system* (gambar 1.1).

MILIK PERPUSTAKAAN ITS



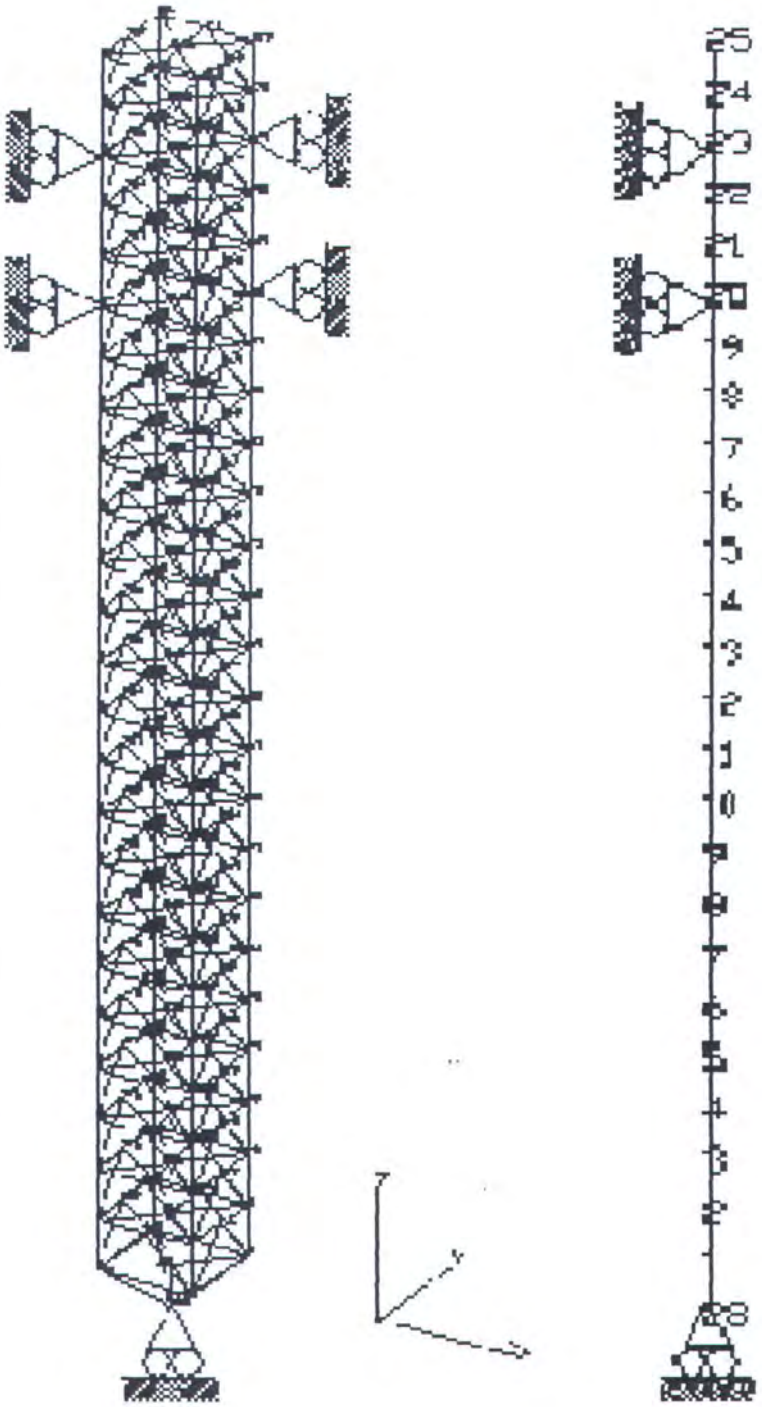
Gambar 1.1. Konfigurasi *Jack Up* tipe *truss* 3 kaki (Murdjito,1997)

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Dengan memperhatikan gambar 1.2, maka permasalahan yang akan dibahas dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana *stick model* untuk kaki *jack up* tipe truss 4 *chords* dengan K *bracing system* yang *ekuivalen* dengan *detailed model*.

2. Bagaimana *stick model* untuk kaki *jack up* tipe *truss* 4 *chords* dengan *Z bracing system* yang *ekuivalen* dengan *detailed model*.
3. Identifikasi variable analisa dalam pemodelan baik dengan *stick model* maupun *detailed model*.
4. Bentuk konfigurasi bracing mana yang memiliki kekuatan dan stabilitas yang paling baik terhadap beban gelombang pada fase operasional antara kaki jack up tipe truss 4 chords dengan K bracing system dan Z bracing system untuk perancangan yang lebih lanjut.
5. Pemodelan mana yang paling efektif untuk analisa perancangan awal struktur kaki jack up antara detailed model dan stick model.



Gambar 1.2. *Detailed model* dan *stick model* struktur kaki jack up

1.3. TUJUAN

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian yang akan dilakukan ini adalah:

1. Mengetahui *stick model* untuk kaki *jack up* tipe *truss* 4 *chords* dengan K *bracing system* yang *ekuivalen* dengan *detailed model*.
2. Mengetahui *stick model* untuk kaki *jack up* tipe *truss* 4 *chords* dengan Z *bracing system* yang *ekuivalen* dengan *detailed model*.
3. Mengetahui variable analisa dalam pemodelan baik dengan *stick model* maupun *detailed model*.
4. Menentukan Bentuk konfigurasi bracing yang memiliki kekuatan dan stabilitas yang paling baik terhadap beban gelombang pada fase operasional antara kaki jack up tipe truss 4 chords dengan K bracing system dan Z bracing system untuk perancangan yang lebih lanjut.
5. Menentukan pemodelan mana yang paling efektif untuk analisa perancangan awal struktur kaki jack up antara detailed model dan stick model.

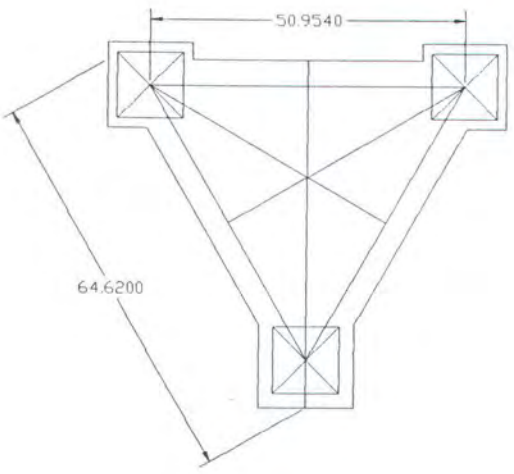
1.4. MANFAAT

Manfaat yang akan diperoleh yaitu dapat mengetahui cara pemodelan yang paling baik antara *detailed model* dan *stick model* dalam analisa global struktur kaki *jack up* tipe *truss* 4 chord, K dan Z *bracing system*.

1.5. BATASAN MASALAH

Untuk mempersempit permasalahan dan mempermudah perhitungan maka dibatasi sebagai berikut :

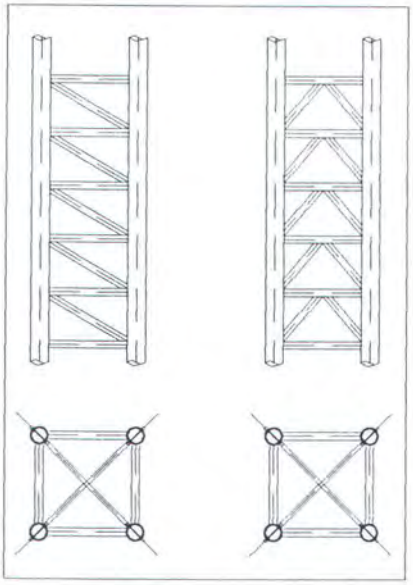
a. Jenis struktur yang dianalisa adalah *jack up* dengan jumlah kaki 3 (gambar 1.3),



Gambar 1.3. Struktur *jack up* dengan 3 kaki tampak atas

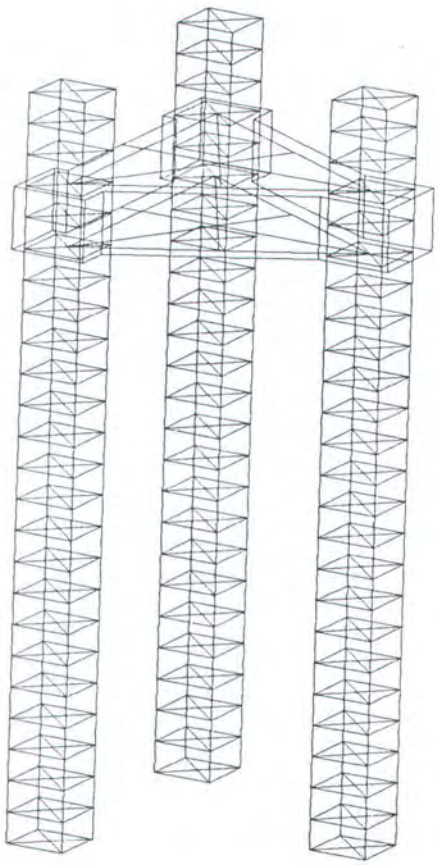
b. Bentuk kaki yang ditinjau adalah tipe *truss* 4 chord, dengan sistem *bracing* K dan Z (gambar 1.4),

MILIK PERPUSTAKAAN ITS



Gambar 1.4. Kaki *jack up* tipe *truss* 4 *chord*, K dan Z *bracing sistem*

c. Beban yang bekerja pada struktur adalah beban *vertical (payload)* dan beban lingkungan yang mencakup beban angin, arus dan beban gelombang,
d. Analisa yang dilakukan hanya pada kaki *jack up*,
e. Analisa yang dipakai adalah analisa statis pada kondisi operasional di Laut utara,
f. *Software* analisa struktur yang digunakan adalah *software* STRUCAD*3D,
g. Kaki dianggap terpancang dengan tumpuan engsel,
h. *Criteria* kekuatan yang digunakan adalah sesuai rekomendasi API-RP 2A,
i. Data ukuran utama Jack up didasarkan pada struktur Jack up "Dyvi Gamma" yang sudah diubah menjadi 4 chord (gambar 1.5).



Gambar 1.5. Struktur *Jack Up* dengan 3 kaki

1.6. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam melakukan penulisan tentang masalah yang diangkat maka akan dirumuskan langkah-langkah penelitian sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data lingkungan berupa data gelombang, angin dan data arus pada perairan yang ditinjau,
2. Penentuan konfigurasi struktur kaki *jack up*. Pada penelitian ini digunakan ukuran utama sesuai dengan *existing structure* Dyvi gamma *jack up*. Karena Dyvi gamma hanya menggunakan 3 chord, sedangkan pada penelitian ini menggunakan 4 *chords* maka konfigurasi dyvi gamma diubah

MILIK PERPUSTAKAAN ITS

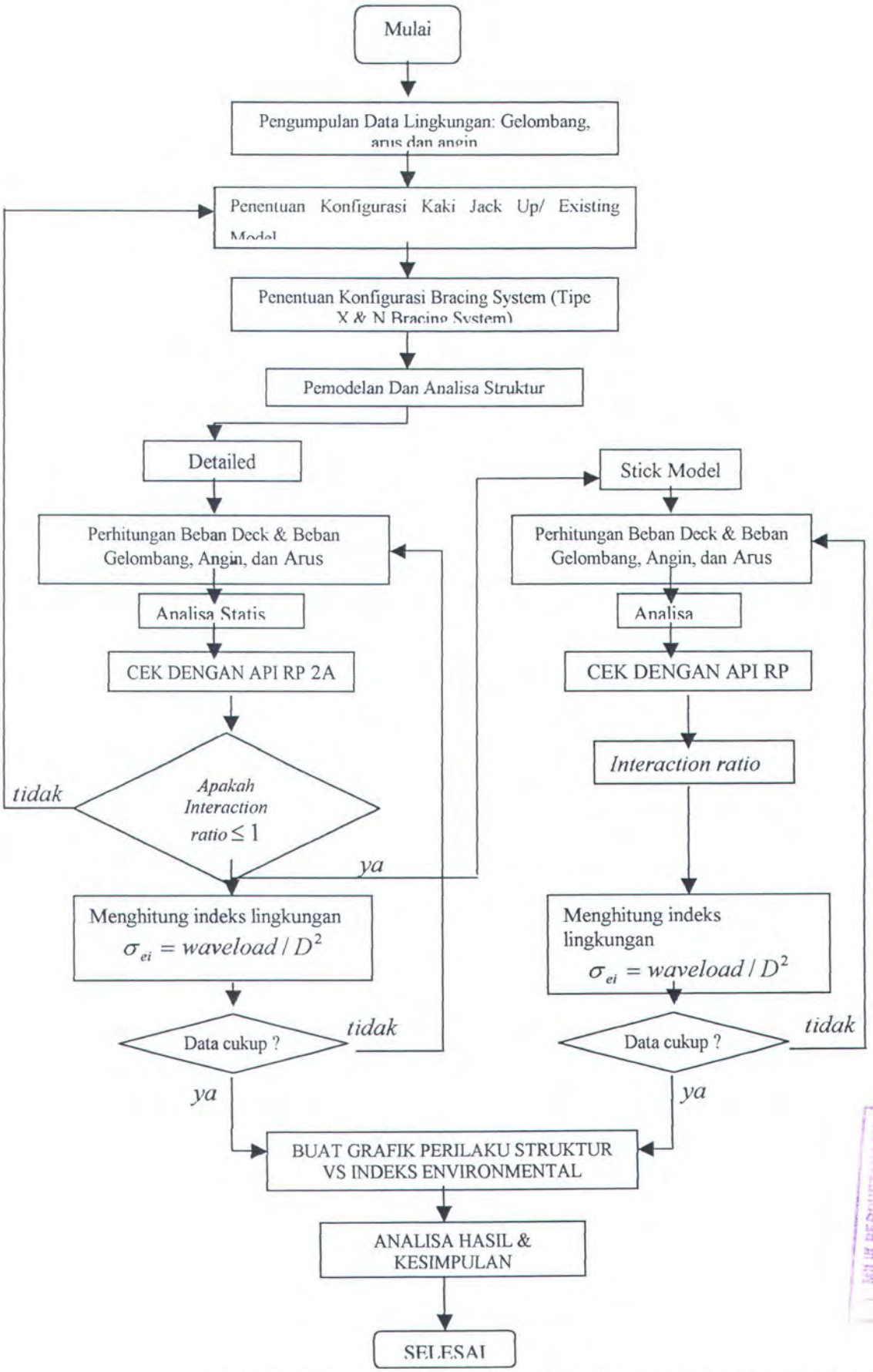
terlebih dahulu menjadi 4 *chords* dengan asumsi nilai kL/r dan D/t sama,

3. Pemodelan dan analisa struktur. Pertama kali dilakukan pada *detailed model* dengan pembebanan deck, beban gelombang, arus, dan beban angin,
4. Memeriksa tegangan yang terjadi dengan tegangan yang direkomendasikan oleh API RP-2A WSD dengan menggunakan analisa statis,
5. Jika sudah sesuai dengan rekomendasi API RP 2A WSD, maka bisa dibuat *stick model ekuivalen*-nya (gambar 1.7). Jika tidak, maka harus merubah konfigurasi awal struktur,
6. Dengan memperhatikan gambar 1.7, untuk membuat stick model, sebelumnya harus mengetahui properti ekuivalen yang mencakup Moment inersia, diameter, luasan, dan koefisien drag.
7. *Stick model* yang sudah *ekuivalen* juga dianalisa dengan kondisi pembebanan yang sama dengan *detailed model* sebelumnya,
8. Untuk mempermudah dalam membandingkan respons struktur yang terjadi akibat pembebanan, maka hasil perhitungan respons struktur yang berupa *displacement*, gaya reaksi dan moment reaksi disusun dalam grafik respons struktur *versus* indeks lingkungan untuk beberapa harga beban gelombang (perubahan beban gelombang dilakukan dengan variasi tinggi gelombang mulai dari 1m sampai dengan 10 m). Sedangkan untuk tegangan aksial, tegangan bending,

tegangan geser, tegangan torsi dan rasio interaksi dibandingkan hanya untuk *detailed model* tipe K dan Z *bracing system* dalam bentuk tabel,

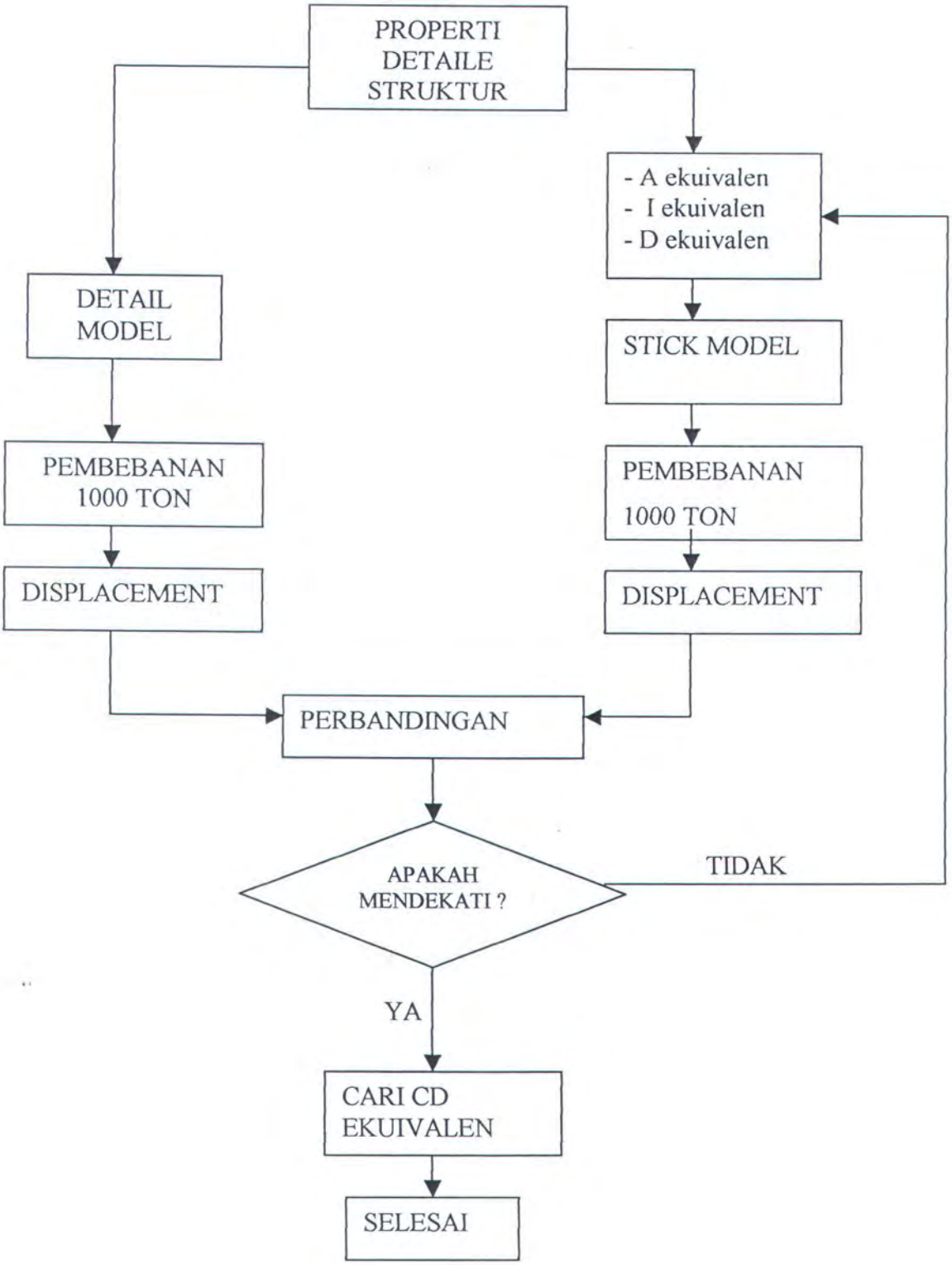
9. Menganalisa hasil yang berupa grafik dan tabel serta menarik kesimpulan.

Tahapan-tahapan yang telah disebutkan diatas digambarkan dalam sebuah diagram alir pada gambar 1.6.



Gambar 1.6. Diagram alir pelaksanaan tugas akhir

MILIK PERPUSTAKAAN ITS



Gambar 1.7. Diagram alir pembuatan stick model

1.7. SISTEMATIKA PENULISAN

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

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menerangkan latar belakang dalam melakukan studi, permasalahan yang akan dipecahkan, tujuan yang ingin dicapai yaitu menyelesaikan permasalahan yang ada, manfaat yang diinginkan penulis, batasan-batasan permasalahan yaitu berupa asumsi-asumsi, metodologi penelitian yang dilakukan serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Dalam penyelesaian masalah dalam laporan tugas akhir ini penulis berpedoman pada beberapa penelitian tentang struktur banguinan lepas pantai yang pernah dilakukan dan beberapa dasar teori yang sesuai. Dasar teori yang digunakan diantaranya adalah gambaran umum struktur *jack up*, dasar teori gelombang, teori pembebanan dan pemodelan struktur *jack up* baik *stick model* maupun *detailed model*, dasar-dasar metode elemen hingga, serta ketentuan dan peraturan mengenai criteria kekuatan struktur bangunan lepas pantai yang direkomendasikan dalam API RP-2A WSD.

BAB III PEMODELAN STRUKTUR DAN PEMBEBANAN

Bab ini menjelaskan bagaimana pemodelan struktur Jack up, baik untuk *detailed model* maupun *stick model*. Selain

pemodelan struktur pada bab ini juga akan dibahas bagaimana model pembebanan yang dipakai.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan analisa respon struktur yang dilakukan dengan bantuan *software* STRUCAD*3D. Beban gelombang, beban angin, dan beban arus secara otomatis telah dihitung oleh *software* STRUCAD*3D dengan menggunakan input data lingkungan yang ada. Hasil perhitungan kemudian diplot dalam bentuk grafik hubungan antara respon struktur dengan indeks lingkungan yang terjadi. Dari grafik tersebut dapat diketahui seberapa jauh perbedaan respons struktur antara *stick model* dan *detailed model*.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi ringkasan dari analisa hasil perhitungan respon yang terjadi pada struktur *jack up* antara *stick model* dan *detailed model*.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Jack-up platform sering disebut pula *self operating offshore platform*, pertama kali terlihat di teluk Mexico pada tahun 1955, dengan jumlah kaki 14 dan dirancang untuk kedalaman 85 ft. Kemudian pada tahun 1956, sebuah struktur *jack-up platform* dibangun dengan jumlah kaki 3, *platform* berbentuk segi tiga dengan *system jacking* berupa *rack* dan *pinion*. Pada tahun 1975, ada 38 unit struktur *jack-up platform* yang mampu dioperasikan pada kedalaman 300 sampai 350 ft dan dengan tinggi gelombang maksimum 60 ft (Sauteron).

Dalam beberapa tahun terakhir ini Badan Klasifikasi Norwegia, *Det norske Veritas* (DnV), telah berhasil mencatat 10 konsep berbeda yang dilakukan desainer dalam merancang struktur *jack-up*, diantara konsep tersebut adalah (Carlsen):

1. Desainer mengembangkan sendiri prosedur analisa yang dikombinasikan dengan berbagai macam teori yang dikenal.
2. Beberapa desainer menggunakan metode analisa yang sama untuk lingkungan yang lebih ganas dengan metode yang dipakai untuk lingkungan biasa.

3. Beberapa prosedur desain adalah analisa kekuatan statis sederhana dengan pertimbangan dua moda kegagalan yaitu *yielding* dan *buckling*.

Untuk melakukan analisa terhadap struktur *jack-up* perlu kiranya dilakukan pemodelan struktur yang sesuai sehingga hasil yang diharapkan bisa tercapai. Pemodelan *jack-up* untuk analisa statis deterministik bisa dilakukan dengan memodelkan seluruh elemen struktur secara lengkap dengan metode elemen hingga. Namun untuk analisa dinamis, metode ini diyakini kurang efektif, sehingga cenderung memakai *leg stick model*, dimana hasil yang didapatkan pun tidak jauh berbeda. Dalam perkembangan selanjutnya analisa statis deterministik berkembang menjadi analisa *quasi statis deterministic* (Bradshaw,1981).

Yang dimaksud dengan quasi statis deterministik adalah beban gelombang yang mengenai struktur didekomposisikan menjadi gelombang reguler yang tidak dinyatakan dalam fungsi waktu, sehingga beban gelombang (beban siklis) seolah-olah dianggap sebagai beban statis. Walaupun dalam kenyataannya gelombang laut yang bekerja pada struktur bersifat acak (*random*) dan dinyatakan sebagai fungsi waktu (Pradnyana, 1996).

Acuan yang dipakai dalam pembuatan *stick model* dari *Jack-up* ini berdasarkan kriteria dari *Det norske Veritas*. Yang dimaksud dengan *stick model* adalah pemodelan struktur sebagai batang satu dimensi. *Stick model* ini adalah bentuk

sederhana dari *detailed model*. Dimana *stick model* ini merupakan ekuivalen dari *detailed model*. *Detailed model* merupakan pemodelan struktur *jack-up* sebagai bentuk 3 dimensi. Dengan *stick model* ini kita tidak perlu memasukkan banyak elemen kaki *jack up* yang tentunya memerlukan banyak waktu, tetapi kita cukup memasukkan beberapa elemen yang ekuivalen dengan *detailed model* yang meliputi kekakuan kaki, diameter dan *drag coefficient* dari kaki, hubungan antara *hull* dan kaki, model inersia dari deck dan *spudcan interaction parameter*(DnV, 1984).

Hal yang lebih penting, *jack up* memiliki kekakuan lateral yang sangat kecil, seiring dengan bertambahnya kedalaman laut, periode natural *jack up* lumayan besar dan mulai melebihi batas pada periode gelombang dengan energi yang signifikan (periodenya 4 - 5 second dan diatasnya). Untuk itu analisa dinamis pada struktur kaki *jack up* akibat beban hidrodinamis siklis adalah hal yang sangat penting untuk mengetahui respons total dari struktur kaki *jack up* (Boswell L.F.,1987).

Ekuivalen massa menggumpal/terpusat pada *stick model* digunakan untuk menggambarkan properti massa dari *jack-up*. Massa menggumpal pada *stick model* merupakan ekuivalen dari massa pada *detailed model* pada elevasi yang bervariasi, dan dengan menerapkan beban-beban yang bekerja maka akan tampak defleksi horisontal pada tiap elevasi (Grenda, 1986).

2.2 Landasan Teori

2.2.1. *Jack-up* Secara Umum

Struktur lepas pantai secara umum dikategorikan menjadi 2 jenis, yaitu: *fixed structure* (seperti: *Jacket Platform* dan *Gravity Platform*) dan *mobile structure* (seperti: *Drill Barges, Drill Ships,* dan *Semisubmersible*). *Fixed structure* menancap dan memperoleh kestabilan dari sistem pondasi tiang pancang atau dengan sistem beratnya sendiri selama masa operasinya. Sedangkan *mobile structure* berada relatif tetap di lokasi selama beroperasi dengan sistem penjangkaran (*anchoring*), tambatan (*mooring*), dan *dynamic positioning system*. Mengkombinasikan kedua keuntungan di atas, struktur *jack-up* merupakan jenis *hybrid platform* antara kondisi tetap (diam) dan bergerak (Liu,P., 1991).

Pada dasarnya struktur *jack-up* merupakan pengembangan dari suatu struktur *pontoon* yang bisa dinaik-turunkan dengan sendirinya (*self-elevating pontoon*) yang dilengkapi dengan seperangkat struktur kaki penyangga. Pada saat kaki diangkat oleh mekanisme sistem *jacking*, maka praktis *jack-up* adalah *barge* dan dapat ditarik dengan *tug boat* atau diangkut dengan kapal berukuran besar ke lokasi lain. Dengan keistimewaan itulah maka *jack-up* lebih sering dipergunakan sebagai *drilling rig*. Kegiatan operasi untuk pengeboran membutuhkan waktu yang tidak terlalu panjang pada satu lokasi kerja dan setelah itu *jack-up rig* dapat digunakan di lokasi yang lain,

dimana hal ini sulit dilakukan dengan anjungan terpancang. Konstruksi geladak *(deck) jack-up* merupakan konstruksi yang kedap air seperti halnya lambung *barge*. Dengan demikian *jack-up* mempunyai daya apung *(buoyancy)* yang memungkinkan untuk berpindah tempat *(moveable)*.

Ada beberapa fase dalam pengoperasian suatu *jack up platform*. Setiap fase mempunyai karakteristik sendiri-sendiri dan berpengaruh dalam perancangan suatu *jack up platform* secara keseluruhan. Secara umum fase pengoperasian suatu *jack up platform* dibedakan atas 3 bagian penting, yakni:

1. Fase Transportasi
2. Fase Instalasi
3. Fase Operasional

Fase transportasi adalah fase pemindahan suatu anjungan *Jack-up* dari satu lokasi ke lokasi lain. Pada waktu transportasi, kaki-kaki *Jack-up* akan berdiri tegak di atas geladak dengan ujung kaki yang satu terikat pada geladak. Ada dua sistem transportasi yang digunakan, yaitu :

1. Sistem Transportasi Basah

   Pemindahan suatu anjungan *Jack-up* dengan bantuan kapal penarik *(tug boat)*. Metoda transportasi ini digunakan untuk jarak pemindahan yang tidak terlalu jauh. Keandalan *Jack-up* pada transportasi basah ini sangat ditentukan oleh stabilitas dinamis *Jack-up*. Sebagai kriteria stabilitas disini ialah stabilitas dinamis

Jack-up. Beberapa biro klasifikasi mensyaratkan bahwa nilai stabilitas dinamis *Jack-up* pada fase transportasi basah ini tidak boleh kurang dari 1,4. Besarnya nilai stabilitas apung *Jack-up* pada fase ini akan sangat tergantung pada ukuran utama geladak dan ukuran utama kaki *Jack-up*.

2. Sistem transportasi kering

   Yaitu pemindahan *Jack-up* dengan bantuan kapal pengangkut. Stabilitas kapal pengangkut disini menentukan kehandalan sistem transportasi.

Fase Instalasi meliputi kegiatan penurunan kaki *Jack-up* hingga menyentuh dasar laut, pembebanan awal (*preloading*) dan mengangkat geladak hingga ketinggian tertentu dari permukaan air tenang agar tidak terjangkau gelombang air laut dan terakhir pengikatan kaki dengan geladak.

Mekanisme *jacking* meliputi kegiatan menaikkan atau menurunkan kaki *Jack-up*, melakukan pembebanan awal, menarik kaki bila operasi sudah selesai dilaksanakan dan juga mengangkat geladak dari permukaan air.

Pembebanan Awal dilakukan untuk mendapatkan kondisi pondasi stabil, yakni dengan melakukan penekanan tanah hingga kedalaman tancap tertentu, tergantung pada sifat mekanis tanah yang ada. Untuk mendapatkan daya dukung pondasi yang cukup, maka gaya tekan yang diberikan harus lebih besar dari beban maksimal yang diperkirakan mungkin terjadi selama pengoperasian. Nilai faktor beban 1,10 sering

dipakai sebagai acuan atas dasar pertimbangan sebagai berikut :

1. Pondasi selama operasi harus cukup stabil untuk mengimbangi OTM yang diakibatkan beban lingkungan yang ada.
2. Tidak akan ada gaya reaksi aksial pada kaki *Jack-up* sebagai akibat perubahan berat operasi dan beban lingkungan yang akan melebihi gaya tekan yang telah diberikan.

Air Gap Sebagai kriteria adalah jarak minimal antara permukaan puncak gelombang hingga bagian bawah geladak, jarak ini biasanya lebih besar dari 15 meter.

Dari ketiga fase diatas, fase operasional merupakan fase terpenting pada pengoperasian suatu *jack up platform*. Hal ini dikarenakan pada fase ini suatu *jack up* harus mampu menjalankan fungsinya secara layak dan handal. Kedua, dari data kecelakaan yang terjadi pada *jack up* sebagian besar terjadi pada fase operasional. Untuk itu pada penelitian ini hanya akan dianalisa kondisi jack up pada fase operasional dan dibawah ini akan dijelaskan pengaruh fase operasional dalam perancangan suatu *jack up platform*.

Fase operasional adalah fase dimana *jack up* melakukan fungsinya. Kriteria terpenting pada fase operasi ialah besarnya momen pengembali yang dimiliki oleh *jack up* dituntut untuk mempunyai momen pengembali yang lebih besar dari momen guling akibat pengaruh lingkungan. Ini untuk

stabilitas jack up pada saat fase operasi. Besarnya perbandingan antara momen pengembali yang dimiliki oleh *jack up* dengan momen guling maksimal yang diakibatkan oleh lingkungan tidak boleh kurang dari 1,3 (Murdjito, 1997).

$$\frac{momen-pengembali}{momen-guling-maksimal} \geq 1{,}3 \quad \text{.....(2.1)}$$

Moment pengembali struktur dapat dihitung dengan rumus (Liu P, 1991):

$$M_s = \left(M_{so} - N * e_o * P_i\right) * \left(1 - \frac{P_i}{P_E}\right) \quad \text{.....(2.2)}$$

dimana :

$M_{so} = G * b$; $e_o = 0{,}003 * L$; $P_e = \frac{\pi^2 EI}{4L^2}$

Disini :

M_s = Momen pengembali struktur

G = Berat fungsional

b = Jarak antara titik berat ke sumbuputar

n = jumlah kaki

P_i = beban aksial terkecil pada kaki

e_o = Eksentrisitas tumpuan

P_e = Beban kritis euler untuk silinder

E = Modulus elastisitas

I = Moment inersia kaki

L = Panjang kaki efektif

Besarnya momen guling yang timbul selain ditentukan oleh beban lingkungan juga ditentukan oleh konstruksi *jack*

up terutama diameter kaki, koefisien drag (CD) dan koefisien inertia (CM).

Beban yang terjadi pada kaki *jack up* akan ditransformasikan ke geladak melalui system sambungan antara geladak dan kaki. Sehingga besarnya beban yang bekerja pada kaki juga akan mempengaruhi perancangan system sambungan antara geladak dengan kaki (*jacking & fixation system*).

Untuk mendukung pengoperasian jack up pada fase operasional, bagian yang paling penting dari struktur jack up adalah:

a. Konstruksi Kaki *Jack-up*

Jumlah kaki *jack-up* bervariasi antara 3 buah hingga 8 buah. Perancangan *jack-up* modern cenderung mengurangi jumlah kaki menjadi tiga atau empat buah. Hal ini berarti pengurangan berat total struktur dan menurunkan beban hidrodinamis. Akan tetapi secara umum orang lebih cenderung memilih *jack-up* 3 kaki daripada *jack-up* 4 kaki.(Murdjito,1997)

Selain jumlah kaki, bentuk kaki juga sangat diperhatikan dalam perancangan struktur *jack-up platform*. Ada dua jenis bentuk kaki *jack-up*, yaitu konstruksi kaki tertutup (*closed type*) dan konstruksi kaki cangkang (*truss type*). *Jack-up* dengan konstruksi kaki tertutup banyak dijumpai pada *jack-up* sebelum tahun 70-an. Menurut mommas (Murdjito,1997). Untuk *jack-up* dengan kaki tertutup, dapat

disimpulkan, jika daerah operasi semakin dalam maka biaya yang akan ditanggung akan meningkat sangat cepat dan cenderung peningkatannya eksponensial. Hal ini di karenakan untuk perairan yang semakin dalam, diameter kaki, berat kaki dan beban hidrodinamis akan semakin besar.

Jack-up dengan kaki cangkang mulai populer semenjak pertengahan tahun 70-an. Ada dua tipe konstruksi kaki cangkang, yaitu tipe 3-chord dan tipe 4-chord. Konstruksi kaki cangkang akan menjadikan beban hidrodinamis yang bekeja pada struktur akan lebih rendah dibanding dengan konstruksi tertutup. Disamping itu dengan konstruksi kaki cangkang menjadikan berat konstruksi dapat diturunkan.

Untuk menentukan konfigurasi struktur kaki jack up, ada beberapa kriteria perancangan yang harus diperhatikan (Murdjito,1997), diantaranya adalah:

1. Jarak antar kaki

   Jarak antar kaki akan menentukan stabilitas struktur dalam menahan beban momen.

2. Jarak antar *Chords*

   Selain menentukan kekakuan kaki juga akan menentukan berat kaki. Jarak antar *chord* akan menentukan momen inersia berarti juga akan menentukan kemampuan struktur dalam menahan beban momen dan gaya geser.

3. Tipe chords

   Bentuk dan Ukuran Chord ditentukan oleh :

   a. Kekakuan dan kekuatan kaki secara global.

b. Posisi dan konstruksi dari *rack* dan *pinion* dari sistem *jacking*

c. Hubungan antara kaki dengan permukaan sepatu tumpu (*Spud Can*)

d. Tegangan antara kaki dengan sepatu tumpu.

e. Tegangan ijin untuk sambungan antara chord dengan penegar

4. Bentuk penampang kaki Jack-Up (*bay*)

Ada dua tipe yang dikenal yaitu tipe 3-chord (*3-chords bay type*) dan tipe 4-chord (*4-chords bay type*). Untuk tipe 3-chord penampang kaki akan membentuk segitiga dengan chord diujung-ujungnya yang dihubungkan oleh penegar (*bracing*). Sedangkan untuk 4-chord penampang kaki akan berbentuk segi empat.

5. Tipe *Bracing*

Tipe Penegar K-*bracing* dan X-*bracing* paling banyak digunakan untuk konstruksi konstruksi cangkang kaki *Jack-Up* di perairan dalam.

b. Konstruksi sepatu tumpu dan sistem *jacking*

Konstruksi sepatu tumpu pada ujung konstruksi kaki *jack-up* sangat penting dalam menentukan karakteristik pondasi *jack-up*. Ada dua jenis konstruksi sepatu tumpu pada *jack-up* yaitu jenis mat dan jenis *spud-can*. Pemilihan jenis sepatu tumpu untuk konstruksi kaki *jack-up* tergantung pada

kondisi tanah dimana *jack-up* akan dioperasikan dan kemampuan pembebanan sistem *jacking*.

Jenis konstruksi mat berbentuk struktur pondasi yang saling menghubungkan ujung-ujung kaki *jack-up*. Konstruksi mat hanya cocok untuk kondisi tanah yang berlumpur atau berpasir dan permukaan tanah tersebut rata. Jenis kedua yaitu *spud-can*. Setiap kaki *jack-up* akan mempunyai satu *spud-can* yang berdiri bebas dan tidak terikat dengan kaki yang lain. Jenis konstruksi *spud cans* sekarang yang paling banyak dijumpai pada konstruksi sepatu tumpu *jack-up*. Karena dengan *spud cans* sistem instalasi *jack-up* menjadi lebih sederhana, sebab masing-masing *jack-up* berdiri bebas.

Untuk sistem *jacking*, secara umum melibatkan empat elemen penting, yaitu :

a. Pelindung tekanan bagian atas (*upper guide*),
b. Sistem jacking (*jacking system*),
c. Sistem pengikat (*fixation system*),
d. Pelindung tekanan bagian bawah (*lower guide*).

Sistem *jacking* merupakan konstruksi vital pada struktur *jack-up*. Sistem *jacking* berfungsi untuk menaikan dan menurunkan kaki, melakukan pembebanan awal dan untuk menaikkan serta menurunkan geladak. Untuk *jack-up* modern sistem *jacking*nya menggunakan *rack* dan *pinion*. Sistem *jacking* ini lebih efektif dalam mentransformasikan beban dari kaki ke geladak serta memudahkan dan mempercepat pelaksanaan kegiatan.

Dilihat dari konstruksinya, sistem *rack-pinions* dapat dikelompokkan dalam dua cara, yaitu:

1) *Rack-pinions* sistem ganda (*Oppossed rack-pinions elevating system*). Sistem pinions ini diletakkan pada dua sisi elemen utama (*chord*) dari kaki *jack-up*.
2) *Rack-pinions* sistem tunggal (*Unopposed rack-pinions elevating system*). *Pinions* hanya dipasang pada satu sisi setiap elemen utama kaki.

Didalam pemodelan struktur sambungan antara kaki dan geladak akan sangat ditentukan oleh pemilihan tipe sistem *jacking* diatas. Hal ini karena pemilihan ini akan menentukan karakteristik respon pada sambungan diatas, yang berarti karakteristik dari seluruh sistem (Murdjito, 1997).

Dilihat dari sistem penggerak yang mendukung sistem *jacking*, maka ada beberapa jenis sistem yang ada di lapangan, yakni : sistem hidrolis, sistem elektris, sistem *jacking* kecepatan tinggi, *positive engagement jacking system* dan lain-lain. Dari beberapa sisem diatas, sistem hidrolis dan elektris yang paling populer pada konstruksi *jack-up* terutama untuk ukuran besar. Jumlah *pinions* untuk satu unit *jack-up* sangat bervariasi dari 12 buah hingga 72 buah *pinions*.

c. Sistem Pengikat

Sistem pengikat dipasang pada tengah-tengah sambungan antara geladak dan kaki *jack-up*. Fungsi dari pengikat adalah menggantikan fungsi *jacking* pada waktu transportasi dan operasi. Disamping itu sistem pengikat juga berperan mengurangi gerakan *jack-up* terutama pada daerah sambungan tersebut. Terhadap beban yang ada secara umum fungsi pengikat adalah sebagai berikut :

1) Menciptakan suatu kondisi sambungan yang mati antara kaki dengan geladak pada waktu transportasi dan operasi.
2) Mentransfer beban momen lentur dari kaki ke geladak dalam bentuk tegangan vertikal dan gaya tekan pada elemen utama.

2.2.2. Prosedure Perancangan Struktur Jack Up

Untuk perancangan struktur jack up diatas tentunya ada beberapa prosedure yang harus dilakukan (Murdjito,1997):

a. Analisa kondisi lingkungan.

Kondisi lingkungan tempat beroperasinya *jack up platform* meliputi gelombang laut, arus laut, angin, kondisi tanah pondasi dan lain-lain. Lingkungan tersebut berpengaruh sangat besar pada beban lingkungan yang bekerja pada struktur *jack up*. Untuk lokasi operasi di perairan dalam, beban hidrodinamis

mengambil peranan penting pada total beban yang bekerja pada struktur.

b. Menentukan beban fungsional.

Besarnya beban fungsional sangat ditentukan oleh berat struktur beserta fasilitasnya dan daya muat *(payload)*.

c. Informasi geologi.

Informasi geologi berisi informasi tentang sifat-sifat dan struktur mekanis tanah dasar laut dimana *jack up* akan dioperasikan. Informasi ini sangat penting untuk menentukan pemodelan pondasi. Oleh karena masih sulitnya untuk mendapatkan data geologi yang lengkap pada daerah operasi lebih dari satu lokasi, maka informasi geologi ini sering hanya didasarkan pada data statistik dan asumsi.

d. Perhitungan beban eksternal

Beban eksternal yang paling dominan untuk *jack up* didaerah operasi laut dalam adalah beban hidrodinamis. Besarnya beban hidrodinamis akan sangat tergantung pada penentuan teori gelombang, penentuan beban gelombang serta transformasi parameter hidrodinamika ke beban hodrodinamis pada struktur.

e. Analisa model struktur.

Hal ini meliputi analisa respons struktur terhadap beban yang bekerja dan analisa terhadap stabilitas *Jack Up* dari pengaruh beban lingkungan pada fase operasional.

f. Evaluasi

Hasil dari analisa diatas akan dievaluasi dan disesuaikan dengan menggunakan kriteria perancangan yang ada untuk menentukan kelayakan hasil perancangan. Kriteria perancangan struktur *jack up* ini pada umumnya telah didefinisikan oleh Biro Klasifikasi seperti DnV, API, ABS, LR dan lain sebagainya dalam bentuk *Rules*.

2.2.3. Metode Analisa Perancangan Struktur *Jack Up*

Ada dua metode analisa yang bisa dipilih, dalam perancangan struktur *jack up*, diantaranya adalah:

1) Metode analisis deterministik,
2) Metode analisis stochastik.

MILIK PERPUSTAKAAN ITS

Dua metode ini memiliki beberapa perbedaan yang bisa dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Perbedaan Metode analisis deterministik dan stochastik (Murdjito,1997).

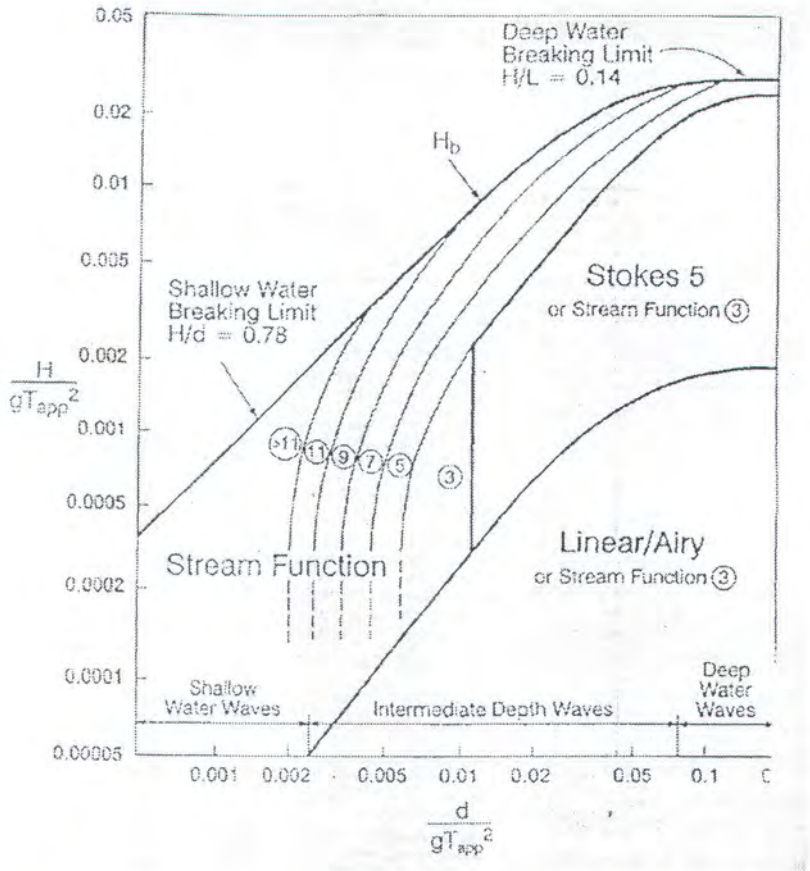
Metode Analisis Deterministik	Metode Analisis Stochastik
Cukup menggunakan Gel. Beraturan	Menggunakan teori gelombang tidak beraturan
Pengaruh yang tidak linier dinyatakan dalam DAF	Parameter-parameter tidak linier dapat disimulasikan dengan model matematis
Tidak mampu mempresentasikan	Model matematis sangat rumit

kondisi gelombang laut yang sebenarnya	sehingga membutuhkan fasilitas komputer yang sangat memadai.
Pengaruh parameter-parameter yang lainnya tidak dapat dimasukkan dalam perhitungan padahal pengaruhnya terhadap respon struktur mungkin cukup berarti.	

2.2.4. TEORI GELOMBANG

Kecepatan dan percepatan partikel air merupakan fungsi dari tinggi gelombang (H), periode gelombang (T), kedalaman perairan (d), jarak partikel dari dasar laut (z), dan waktu (t). fungsi tesebut ditentukan dengan menggunakan metode yang telah diakui sesuai kasus yang bersangkutan, misalnya teori gelombang linier (Airy), teori gelombang stokes derajat 5, teori gelombang dengan fungsi aliran dan lain-lain.

Penentuan teori gelombang yang digunakan yaitu sesuai dengan grafik region of validity teori gelombang (API RP-2A WSD) dengan menggunakan parameter $\frac{d}{gT^2}$ dan $\frac{H}{gT^2}$.



Gambar 2.1. Grafik *Region of Validity* (API RP 2A WSD,1993)

Dalam studi ini teori gelombang yang sesuai dengan data lingkungan yang ada adalah teori gelombang Stokes order 5.

Untuk tinggi gelombang H, angka gelombang k, dan frekuensi ω, mengacu pada arah x positif, displacement bebas air permukaan η dari *still water level*, menurut teori stokes order 5 dideskripsikan oleh persamaan 2.3 (Dawson T.H,1983) sebagai berikut:

$$\eta = \frac{1}{k}\sum_{n=1}^{5} F_n \cos n(kx - \omega t) \quad \text{.....(2.3)}$$

dimana F_1, F_2, F_3, F_4 dan F_5 didapat dari :

$F_1 = a$

$F_2 = a^2F_{22} + a^4 F_{24}$

$F_3 = a^3F_{33} + a^5F_{35}$

$F_4 = a^4F_{44}$

$F_5 = a^5F_{55}$

Dengan F_{22}, F_{24}, dll, didapatkan dari tabel 2.2 yang menyatakan parameter profil gelombang yang berdasarkan pada nilai kd dan a yang menyatakan parameter tinggi gelombang melalui persamaan 2.4 (Dawson T.H,1983) sebagai berikut:

$$kH = 2\left[a + a^3F_{33} + a^5(F_{35} + F_{55})\right] \quad \text{(2.4)}$$

kecepatan partikel air horizontal u dan kecepatan partikel air vertical v (pada x, waktu t, dan jarak y diatas *mudline*) dikarenakan oleh permukaan bebas gelombang pada kedalaman air h adalah sebagai berikut (Dawson T.H,1983):

$$u = \frac{\omega}{k}\sum_{n=1}^{5} G_n \frac{\cosh nky}{\sinh nkh}\cos n(kx - \omega t) \quad \text{(2.5)}$$

$$v = \frac{\omega}{k}\sum_{n=1}^{5} G_n \frac{\sinh nky}{\sinh nkh}\sin n(kx - \omega t) \quad \text{(2.6)}$$

dimana :

$G_1 = aG_{11} + a^3G_{13} + a^5G_{15}$

$G_2 = 2(a^2G_{22} + a^4G_{24})$

$G_3 = 3(a^3G_{33} + a^5G_{35})$

$G_4 = 4\ a^4G_{44}$

$G_5 = 5a^5G_{55}$

Dengan G11, G13, dll menyatakan parameter kecepatan gelombang berdasar pada nilai kh. Parameter F22, F24, G11

dll didapatkan dari Skjelbreia dan Hendrickson. (lihat table 2.2 dan 2.3)

Table 2.2. Nilai parameter profil gelombang

d/λ	F22	F24	F33	F35	F44	F55
0.10	3.892	-28.61	13.09	-138.6	44.99	163.8
0.15	1.539	1.344	2.381	6.935	4.147	7.935
0.20	0.927	1.398	0.996	3.679	1.259	1.734
0.25	0.699	1.064	0.630	2.244	0.676	0.797
0.30	0.599	0.893	0.495	1.685	0.484	0.525
0.35	0.551	0.804	0.435	1.438	0.407	0.420
0.40	0.527	0.759	0.410	1.330	0.371	0.373
0.50	0.507	0.722	0.384	1.230	0.344	0.339
0.60	0.502	0.712	0.377	1.205	0.337	0.329

Sumber: Skjelbreia and Hendrickson (1961)

Tabel 2.3. Nilai parameter kecepatan

d/λ	G11	G13	G15	G22	G24	G33	G35	G44	G55
0.10	1.000	-7.394	-12.73	2.996	-48.14	5.942	-121.7	7.671	0.892
0.15	1.000	-2.320	-4.864	0.860	-0.907	0.310	2.843	-0.167	-0.257
0.20	1.000	-1.263	-2.266	0.326	0.680	-0.017	1.093	-0.044	0.006
0.25	1.000	-0.911	-1.415	0.154	0.673	-0.030	0.440	-0.005	0.005
0.30	1.000	-0.765	-1.077	0.076	0.601	-0.020	0.231	0.002	0.001
0.35	1.000	-0.696	-0.925	0.038	0.556	-0.012	0.152	0.002	0.000
0.40	1.000	-0.662	-0.850	0.020	0.528	-0.006	0.117	0.001	0.000
0.50	1.000	-0.635	-0.790	0.006	0.503	-0.002	0.092	0.000	0.000
0.60	1.000	-0.628	-0.777	0.002	0.502	-0.001	0.086	0.000	0.000

Sumber: skjelbreia and Hendrickson (1961)

Percepatan patikel air dapat dicari dengan menggunakan rumus (Dawson T.H,1983):

$$a_x = \frac{kc^2}{2}\sum_{n=1}^{5} Rn.\sin n(kx-\omega t) \quad \text{.....(2.7)}$$

$$a_z = \frac{-kc^2}{2}\sum_{n=1}^{5} Sn.\cos n(kx-\omega t) \quad \text{.....(2.8)}$$

dimana koefisien Rn dan Sn adalah sebagai berikut:

$R_1 = 2U_1 - U_1U_2 - V_1V_2 - U_2U_3 - V_2V_3$

$R_2 = 4U_2 - U_1^2 + V_1^2 - 2U_1U_3 - 2V_1V_3$

$R_3 = 6U_3 - 3U_1U_2 + 3V_1V_2 - 3U_1U_4 - 3V_1V_4$

$R_4 = 8U_4 - 2U_2^2 + 2V_2^2 - 4U_1U_3 + 4V_1V_3$

$R_5 = 10U_5 - 2U_1U_4 - 5U_2U_3 + 5V_1V_4 + 5V_2V_3$

$S_0 = -2U_1V_1$

$S_1 = 2V_1 - 3U_1V_2 - 3U_2V_1 - 5U_2V_3 - 5U_3V_2$

$S_2 = 4V_2 - 4U_1V_3 - 4U_3V_1$

$S_3 = 6V_3 - U_1V_2 + U_2V_1 - 5U_1V_4 - 5U_4V_1$

$S_4 = 8V_4 - 2U_1V_3 + 2U_3V_1 + 4U_2V2$

$S_5 = 10V_5 - 3U_1V_4 + 3U_4V_1 - U_2V_3 + U_3V_2$

Dimana :

$$Un = Gn\ \frac{\cosh nky}{\sinh nkh}$$

$$Vn = Gn\ \frac{\sinh nky}{\sinh nkh}$$

c adalah kecepatan rambat gelombang dengan formulasi(Dawson T.H,1983):

$$c = \left[\frac{g}{k}\left(1 + a^2 C_1 + a^4 C_2\right)\tanh kh\right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{.....(2.9)}$$

C1 dan C1 adalah parameter frekuensi gelombang yang didapatkan dari table 2.4.

Table 2.4. Parameter frekuensi gelombang

d/λ	C1	C2
0.10	8.791	383.7
0.15	2.646	19.82
0.20	1.549	5.044
0.25	1.229	2.568
0.30	1.107	1.833
0.35	1.055	1.532
0.40	1.027	1.393
0.50	1.008	1.283
0.60	1.002	1.240

Sumber: skjelbreia and Hendrickson (1961)

2.2.5. TEORI PEMBEBANAN

Pada suatu proses perancangan bangunan lepas pantai, untuk menentukan kemampuan kerja suatu struktur akan dipengaruhi oleh beban yang terjadi pada bangunan tersebut. Sehingga perancang harus menentukan akurasi atau ketepatan beban yang akan diterapkan dalam perancangan. Adapun beban-

beban yang harus dipertimbangkan dalam perancangan bangunan lepas pantai adalah sebagai berikut:

1. Beban mati (*Dead Loads*),
2. Beban hidup *(Live Lads*),
3. Beban akibat kecelakaan (*Accidental Loads*),
4. Beban lingkungan (*environmental Loads*).

2.2.5.1. Beban mati (*dead loads*)

Beban mati (*dead load*) adalah beban dari komponen-komponen kering serta beban-beban dari peralatan, perlengkapan dan permesinan yang tidak berubah dari mode operasi pada suatu bangunan lepas pantai. Adapun beban mati tersebut dapat dikelompokkan sebagai berikut:

a. Berat dari struktur bangunan lepas pantai, seperti tiang pancang, bangunan atas, *jacket, deck, railing, grout, paint, stiffners* dan lain-lain.
b. Berat peralatan dan permesinan yang tidak digunakan untuk pengeboran atau proses pengeboran.
c. Berat perlengkapan tambahan lain yang dipasang permanen pada struktur, seperti *boad landing, risers, barge bumper*.

2.2.5.2. Beban hidup (*live loads*)

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

operasi yang lain. Adapun yang termasuk beban hidup (*live loads*) dapat digolongkan sebagai berikut:

a. Berat peralatan pengeboran (*drilling*),
b. Berat peralatan produksi atau *treatment*,
c. Berat pendukung pengeboran,
d. Berat pendukung treatment,
e. Beban pengeboran,
f. Beban akibat gaya-gaya yang terjadi pada struktur dari operasi.

2.2.5.3. Beban akibat kecelakaan (*accidental loads*)

Beban kecelakan *(accidental loads)* merupakan beban yang tidak dapat diduga sebelumnya yang terjadi pada suatu bangunan lepas pantai. Beban kecelakaan ini terjadi akibat dari:

a. Tabrakan dengan kapal pemandu operasi,
b. Putusnya tali katrol *(crane)*,
c. Putusnya tali tambat (rantai jangkar, tali baja pengikat katrol),
d. Kebakaran, letusan, *blow out*,
e. Benda yang jatuh mengenai deck, dan lain-lain.

2.2.3.4. Beban lingkungan (*environmental loads*)

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

a. Beban gelombang,

b. Beban angin,

c. Beban arus.

a. Beban Gelombang

Gaya gelombang yang bekerja pada silinder tegak adalah merupakan penjumlahan langsung dari gaya inersia dan gaya drag. Sedangkan gaya inersia merupakan penjumlahan antara gaya Froude-Krylov dengan gaya yang disebabkan oleh massa tambah. Dalam perhitungan gaya gelombang bangunan lepas pantai maka persamaan Morrison sering dipakai (chakrabarty,1987) , yaitu :

MILIK PERPUSTAKAAN ITS

$$F = F_D + F_I$$

$$F = \tfrac{1}{2}\rho C_D D\, u|u| + \rho C_I \frac{\pi D^2}{4} a_X \quad \text{.....(2.10)}$$

Dimana :

F = gaya gelombang yang bekerja pada struktur per satuan panjang.

C_D = koefisien drag.

C_I = koefisien inersia ($C_I = 1 + C_M$)

C_M = koefisien massa tambah

D = diameter silinder

Asumsi yang digunakan dalam persamaan :

1. Refleksi dan defraksi gelombang diabaikan, untuk validitas ditentukan dengan perhitungan gaya

gelombang, sehingga diperlukan persyaratan D< 0.2λ. Dimana D adalah dimensi struktur pada sudut arah gelombang dan λ adalah panjang gelombang.

2. Interfensi diantara struktur member diabaikan, seperti gaya yang terjadi pada seluruh struktur dihitung dengan secara jelas ditambahkan pada gaya yang terjadi di setiap elemen struktur.
3. Pengaruh gaya Froude-Krylov, gaya inersia dan gaya drag, sekalipun dua gaya yang pertama adalah linear sedangkan gaya drag tidak.

Nilai dari koefisien drag (CD) dan koefisien inersia (CI) dapat dicari berdasarkan dimensi yang bisa mengakibatkan perubahan dari kecepatan air maksimum (u) dan periode (T) melalui Reynold number (Rn) dan Keulegan Carpenter number (Kc) sebagai berikut (Dawson T.H,1983):

$$Rn = \frac{\rho^{uD}}{\mu} \quad , \qquad Kc = \frac{uT}{D} \qquad \text{.....(2.11)}$$

Dimana ρ adalah densitas air dan μ adalah viskositas air. Didalam data percobaan yang berupa grafik, terdapat hubungan antara variasi koefisien drag dan inersia dengan kedua nomor tersebut, dan biasanya dalam praktek rekayasa ini disimpelkan menjadi suatu nilai konstan, dengan nilai koefisien drag antara 0,6 sampai 1,0 dan nilai koefisien inersia antara 1,5 sampai 2,0 (API,1980).

Nilai dari kecepatan u dan percepatan a_x pada persamaan (2.5) dan (2.7) dihitung dari teori gelombang yang sesuai dengan diagram *region of validity*.

b. Gaya arus

Arus yang terjadi di dalam air laut dihasilkan oleh pengaruh beberapa hal sebagai berikut:

a. Kecepatan arus harus ditambahkan secara vektorial ke kecepatan horisontal partikel air sebelum menghitung gaya drag. Karena gaya drag tergantung pada kecepatan horisontal partikel kwadrat dan menyebabkan kecepatan arus menurun perlahan sesuai dengan kedalaman laut. Sebuah perbandingan arus kecil dapat meningkatkan gaya drag secara signifikan.

b. Struktur dengan sendirinya menghasilkan gelombang yang mana dalam pengembaliannya akan menciptakan gaya difraksi. Karena itu gaya difraksi dapat diabaikan untuk nilai-nilai realistik pada arus yang terjadi pada struktur yang berdimensi besar.

Besarnya kecepatan arus dapat ditentukan sebagai berikut (Dawson T.H,1983):

$$V_x = V_s \, (x/d)^{1/7} \quad \text{.....(2.12)}$$

Dimana:

V_x = kecepatan arus (m/det) pada jarak x (m) diatas mudline

V_s = kecepatan arus pada permukaan air(m/det)

x = jarak diatas mudline (m)

D = jarak dari permukaan air ke mudline (m)

Untuk arus tanpa gelombang, untuk menentukan besarnya gaya drag vertikal dan horisontal per unit panjang, maka dipakai formula sebagai berikut (Soedjono J.J,1997):

- Gaya drag arah vertikal per unit panjang

$$F_L = 0.5\ C_D\ \rho\ V^2\ A \quad \text{.....(2.13)}$$

- Gaya drag arah horisontal per unit panjang

$$F_D = 0.5\ C_D\ \rho\ V^2\ A \quad \text{.....(2.14)}$$

Dimana:

C_D = koefisien drag

ρ = massa jenis (kg/m_3)

V = kecepatan arus (m/s)

A = luas proyeksi per unit panjang (m_2/m)

c. Gaya angin

Intensitas gaya angin yang bekerja pada bangunan lepas pantai akan tergantung dari kecepatan berhembusnya angin dan ukuran serta bentuk komponen-komponen struktur yang berada dalam hembusan angin. Data kecepatan angin merupakan hasil pengukuran pada ketinggian 10 m diatas permukaan tanah atau laut. Untuk menentukan besarnya kecepatan angin pada ketinggian yang berbeda maka dapat dipakai perumusan sederhana sebagai berikut (Soedjono J.J,1997):

$$V_y = V_{10}\ (y/10)^x \quad \text{.....(2.15)}$$

Dimana :

V_y = kecepatan angin pad aketinggian y meter

V_{10} = kecepatan angin pada ketinggian 10 m

Y = ketinggian dimana kecepatan angin dihitung

X = faktor eksponen

Bila informasi yang akurat tidak tersedia, maka harga eksponensial x sebesar 1/7 dapat diambil sebagai pendekatan. Harga ini cukup sesuai untuk ketinggian sampai dengan 200 meter.

Besarnya gaya angin yang bekerja pada sebuah bangunan lepas pantai dapat ditentukan dengan menjumlahkan gay-gaya yang diterima oleh tiap-tiap komponen struktur. Gaya-gaya pada komponen tersebut timbul oleh adanya hambatan kekentalan udara dan oleh perbedaan distribusi tekanan di sisi-sisi komponen yang menghadap ke arah angin dan di belakangnya.

American Bereau of Shipping memberikan persamaan spesifik untuk gaya angin pada bangunan lepas pantai sebagai berikut:

$$F = 0.0623\ C_h C_s A V^2 \quad \text{.....(2.16)}$$

Dimana:

F = gaya angin (kg)

V = kecepatan angin (m/det)

A = luas proyeksi struktur (m_2)

Ch = koefisien ketinggian

Cs = koefisien bentuk

2.2.6. TEORI PEMODELAN STRUKTUR

2.2.6.1. Pemodelan Secara Umum

Model merupakan dasar dari komunikasi. Kita belajar dari model. Model bisa berupa fisik, matematis, dan grafik. Tetapi dalam tugas akhir ini akan menggunakan model matematis sebagai dasar analisa. Model matematis merupakan suatu model yang dapat mendeskripsikan dimensi dan karakteristik dari prototipe kedalam formulasi matematis.

Model harus bisa memenuhi prinsip kesamaan yang mencakup (Chakrabarti S.K.,1994):

1. Kesamaan Geometrik

   Kesamaan geometrik dapat dipenuhi apabila model dan protipe memiliki kesamaan geometrik baik ukuran maupun bentuk. Ada dua macam prinsip kesamaan geometrik:

   1. Kesamaan geometrik sempurna (*Undistorted*),
   2. Kesamaan geometrik terdistorsi (*distorted*).

   Pada *undistorted model*, skala panjang dan lebar (horisontal) serta skala tinggi (vertikal) adalah sama. Untuk *distorted model*, skala ke arah horisontal dan ke arah vertikal tidak sama. Apabila dimungkinkan model dibuat dengan tanpa distorsi, sedangkan pada permasalahan khusus model dapat dilakukan dengan distorsi namun harus memenuhi beberapa persyaratan tertentu.

2. Kesamaan kinematis

Sebangun kinematik terjadi antara prototipe dan model jika prototipe dan model sebangun geometrik dan perbandingan kecepatan dan percepatan di dua titik yang bersangkutan pada prototipe dan model pada arah yang sama adalah sama besar (Hughes, 1993).

3. Kesamaan dinamis

Jika prototipe dan model sebangun geometrik dan kinematik, serta perbandingan gaya-gaya yang bersangkutan pada model dan prototipe untuk seluruh aliran pada arah yang sama adalah sama besar, maka dapat dikatakan bahwa keduanya sebangun dinamik. Gaya-gaya tersebut meliputi gaya inersia, gaya tekanan, gaya berat, gaya gesek (viskositas), gaya kenyal dan gaya tegangan permukaan.

2.2.6.2. Pemodelan Struktur Jack Up

Didalam pemodelan struktur *jack up platform* yang tepat akan sangat menentukan ketepatan hasil analisa , baik untuk analisa matematis maupun test hidodinamis model skala dikolam tes. Untuk mendapatkan model matematis yang representatif, maka model matematis struktur *jack up platform* harus memenuhi criteria model yang meliputi (Murdjito,1997):

a. Model harus mampu memberikan hasil respon yang andal sehubungan dengan parameter-parameter perancangan,

seperti perpindahan *horizontal* geladak, kelenturan kaki *jack up* dan lain-lain.

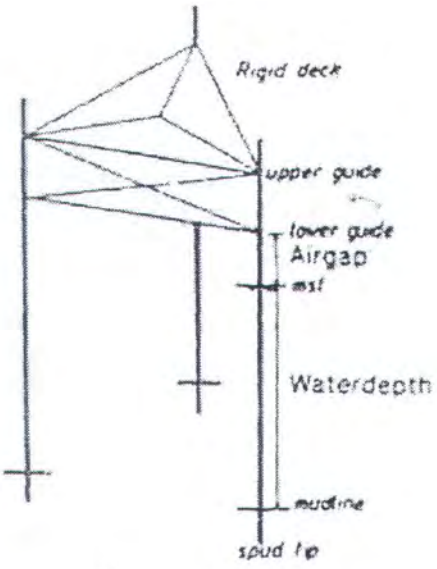
b. Model harus mampu memberikan gambaran yang jelas tentang peranan parameter-parameter perancangannya, baik untuk *system* yang linier maupun *system* yang tidak linier.

c. Model harus fleksibel terhadap berbagai jenis metode analisis.

Pemodelan matematis jack up sendiri ada dua macam cara pemodelan, yang pertama pemodelan dengan menggunakan *Stick Model* untuk keperluan analisa global struktur jack up yang kemudian baru menggunakan detailed model untuk melihat respons detail struktur dalam hal ini adalah *Chords* dan *Bracing.*

1) Stick Model

Stick model merupakan pemodelan struktur berupa satu batang yang *ekuivalen* dengan *detailed model* dengan suatu derajat kebebasan yang disesuaikan. *Stick model* digunakan untuk mengetahui respons struktur secara global (gambar 2.2). Karena analisa yang akan dilakukan analisa statis maka disini kita juga akan menggunakan metode elemen hingga.



MILIK PERPUS ITS

Gambar 2.2. Stick model struktur jack up (Boswell L.F.,1987)

Properti fisik dari *stick model* yang *ekuivalen* dengan *detailed model* menurut standar *Det norske Veritas* meliputi:

1. *Ekuivalen stiffness* kaki *jack up*

   a. Momen Inersia *ekuivalen*

      Gaya bending pada kaki *jack up*, hanya terkena pada *chords*, dan Momen Inersia *ekuivalen* untuk 4 chords dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$I_{eq} = 4\ I_c + A_c\ l^2 \quad \text{.....(2.17)}$$

      Dimana :

      A_c = Luas penampang satu *chord*

      I_c = moment inersia satu *chords*

      l = jarak actual antara pusat *chords*

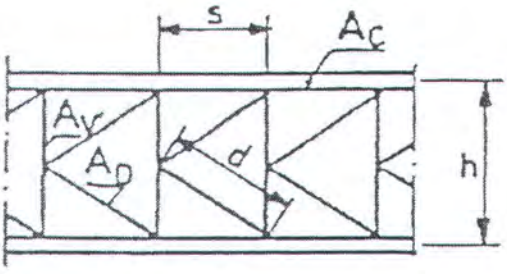
   b. Luasan *Ekuivalen*

      metode yang digunakan untuk estimasi awal dari luasan *ekuivalen* kaki *jack up* asumsikan bahwa

gaya geser pada kaki *jack up* sama seperti gaya aksial pada *braces*. Sehingga luasan ekuivalen tiap *bay* ditentukan dengan rumus:

Untuk K *bracing system*(gambar 2.3):

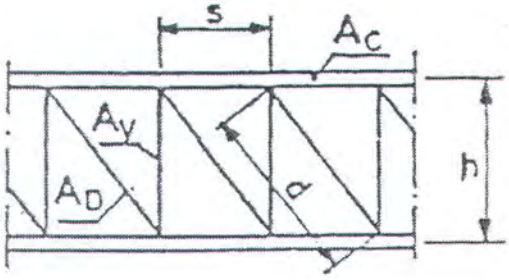
$$Aw = \frac{(1+\nu)sh^2}{\frac{d^3}{A_D} + \frac{h^3}{8A_V} + \frac{s^3}{12A_C}} \quad \text{.....(2.18)}$$



Gambar 2.3. Luasan *Ekuivalen* untuk K *bracing system* (Murdjito,1997)

Untuk Z bracing system (gambar 2.4):

$$Aw = \frac{(1+\nu)sh^2}{\frac{d^3}{2A_D} + \frac{h^3}{2A_V} + \frac{s^3}{12A_C}} \quad \text{.....(2.19)}$$



Gambar 2.4. Luasan *Ekuivalen* untuk Z *bracing system* (Murdjito,1997)

Dimana :

Aw = Luasan *ekuivalen* kaki *jack up*

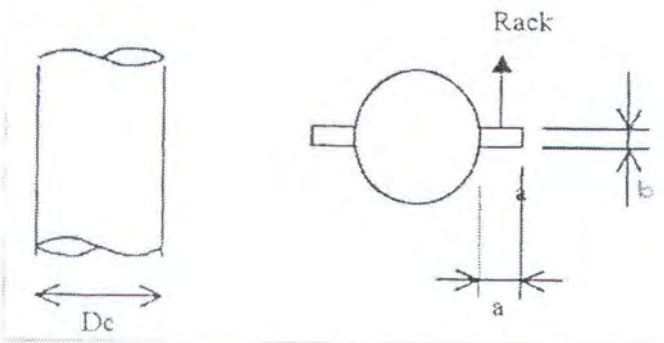
ν = Poisson's Rasio

2. Diameter ekuivalen dan Coefisien drag

a. Ekuivalen diameter

Diameter ekuivalen dapat dicari dari kondisi dimana gaya froude-krilov dari *detailed model* dan *stick model* adalah sama. Sehingga luas penampang total (*chord, diagonal braces, horizontal brace*) per tinggi tiap *bay* dan *ekuivalen diameter* dapat dicari.

- Luas penampang *chords:*

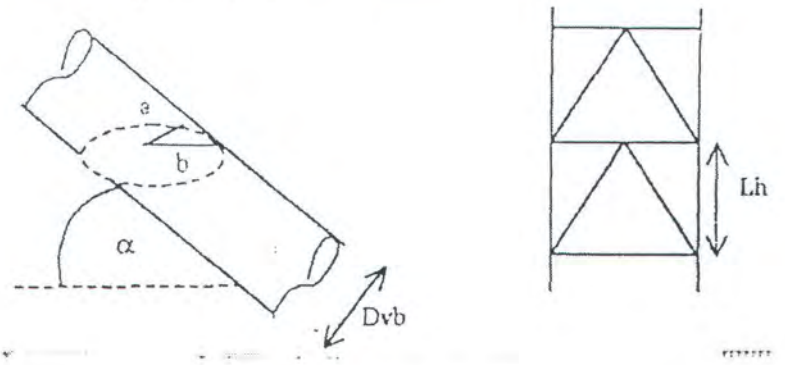


Gambar 2.5. Proyeksi *Chord* dan *Rack* (DnV,1984)

Luasan terproyeksi untuk *Chord* dan *Rack* adalah (gambar 2.5):

$$A_C = \pi \frac{Dc^2}{4} 2.a.b \quad \text{.....(2.20)}$$

- Luas penampang diagonal brace (gambar 2.6):



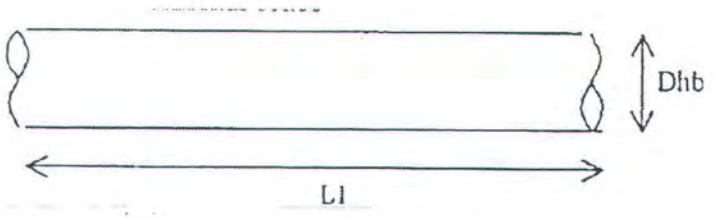
Gambar 2.6. Proyeksi *diagonal brace*

(DnV,1984)

Luasan terproyeksi untuk *diagonal brace*:

$$b = \frac{Dvb}{2} \quad , \quad a = \frac{b}{\sin\alpha} \qquad \text{.....(2.21)}$$

$$Avb = \pi.a.b \qquad \text{.....(2.22)}$$



Gambar 2.7 . *Horisontal brace dan secondary brace* (DnV,1984)

- Luasan terproyeksi untuk *horizontal brace dan secondary brace* adalah (gambar 2.7):

$$Ahb = \frac{Db^2}{4}.\frac{Ll}{Lh} \qquad \text{.....(2.23)}$$

Dimana Lh adalah tinggi tiap *bay*

- Luar penampang total per unit panjang kaki:

Untuk K *bracing system* :

$$A_T = 4A_c + 8A_{vb} + 4A_{hb} + 2A_{sc} \quad \text{.....(2.24)}$$

Untuk Z *bracing system* :

$$A_T = 4A_c + 4A_{vb} + 4A_{hb} + 2A_{sc} \quad \text{.....(2.25)}$$

sehingga diameter ekuivalen adalah:

$$\text{Deq} = \sqrt{\left(\frac{4A_T}{\pi}\right)} \quad \text{.....(2.26)}$$

Dimana :

A_T = Luas penampang total dari chords, diagonal braces dan horizontal braces per unit panjang dari kaki tiap bay

b. Koefisien drag ekuivalen

Untuk mendapatkan Koefisien drag ekuivalen (CD_{eq}) tiap bay dari kaki jack up, analisa perhitungannya dilakukan dengan asumsi bahwa arus yang mengenai struktur adalah konstan. Arus ini digunakan pada arah beban gelombang yang diasumsikan. Sebelum menghitung CD ekuivalen, kita harus menghitung CD pada chord dan bracing. Besarnya CD pada chord dihitung dengan mengasumsikan chord sebagai pelat, ini dikarenakan pada chord terdapat rack yang

ukurannya relatif besar. Besarnya CD untuk pelat pada aliran steady adalah 2.0.

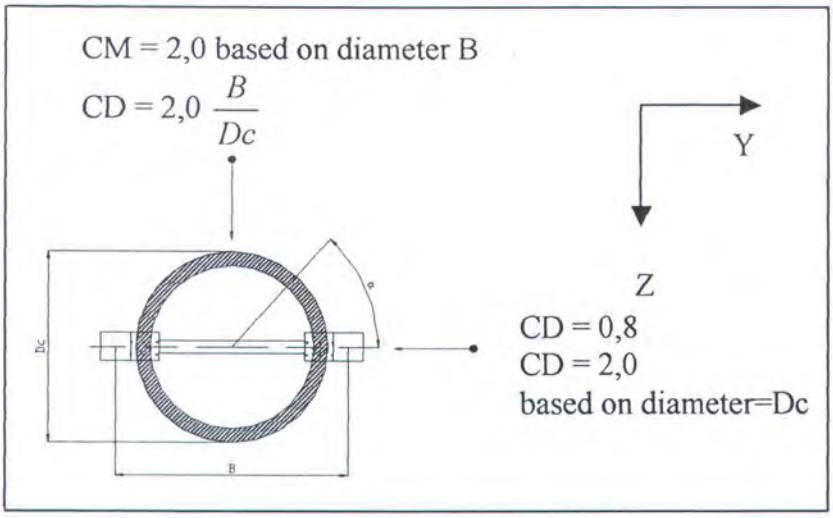
Sehingga, CD untuk chord dengan arah tegak lurus sumbu axis pada rack (gambar 2.8), dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$CD_Z = 2.0 \frac{B}{D_c} \quad \text{.....(2.27)}$$

Dimana :

B = lebar chord dengan racknya

D_c = diameter chord



Gambar 2.8. CD untuk *chord* dengan *rack*

Untuk arah antara arah axis, CD dicari dengan mengasumsikan variasi sinusoidal antara nilai CD_y dan CD_Z. dimana CD_y sebesar 0.8 atau dengan menggunakan rumus:

$$CD(\alpha) = 0.8 + \left((2.0\frac{B}{D_c} - 0.8)\sin^2 \alpha \right) \quad \text{.....(2.28)}$$

Dimana α sama dengan sudut antara sumbu axis dengan arah aliran.

Dengan menggunakan CD(α) tiap chord dengan kecepatan arus V=1.0 m/s, maka gaya drag untuk 1 bay dapat dihitung. Dan gaya reaksi arah X (Fx) dan Y (Fy) dihitung resultan gayanya (F_R). Resultan gaya ini akan digunakan untuk mencari CD ekuivalen dengan menggunakan rumus gaya Drag per unit panjang sebagai berikut :

$$F_R/ln = 0.5.\rho_W.CD_{eq}.D_{eq}.V_C^2 \quad \text{.....(2.29)}$$

Dimana :

F_R = resultan gaya dari arus

ln = tinggi 1 bay

ρ_W = densitas dari air asin, 1.025 kNs^2/m^4

$D_{eq.}$ = diameter ekuivalen

Vc = kecepatan arus, disini 1.0 m/s

2) *Detailed Model* Sebagai *Finite Element Model*

Penyelesaian suatu permasalahan dalam bidang rekayasa umumnya menghasilkan ekspresi/model matematik yang melibatkan kondisi batas *(boundary condition)*, sifat material, ketidaklinieran dan sebagainya, sehingga jarang sekali model matematis untuk masalah-masalah teknik yang bisa diselesaikan secara analitis. Keadaan inilah yang memaksa *engineer* menggunakan analisa numerik yang kendati pun hasilnya hanya bersifat pendekatan tetapi dianggap cukup

dapat diterima. Perhitungan lendutan dan tegangan di sepanjang elemen *space-frame* adalah salah satu masalah teknik yang cukup populer dalarn bidang rekayasa lepas pantai.

Pendekatan-pendekatan numerik ini, berdasarkan sifatnya selalu menggunakan informasi-informasi pada *joint*. Proses penentuan *joint* ini disebut *discretization*. Salah satu caranya adalah dengan membagi suatu sistem menjadi bagian-bagian atau elemen-elemen yang lebih kecil. Pemecahan masalah kemudian dilakukan pada elemen-elemen kecil ini, yang selanjutnya digabungkan kembali sehingga didapatkan pemecahan masalah secara keseluruhan. Metode ini dikenal dengan *finite element method* atau metode elemen hinnga. Pada prinsipnya metode elemen hingga memperlakukan suatu sistem sebagai gabungan dari elemen-elemen kecil yang digabungkan satu sama lain oleh titik-titik yang *disebut joint/node*.

Fungsi yang sederhana umumnya dipilih untuk mendekati distribusi atau variasi lendutan yang sesungguhnya pada tiap elemen tersebut. Fungsi yang harus memenuhi syarat-syarat tertentu itu disebut dengan *displacement function* atau *displacement model*. Hasil yang diinginkan seperti besar lendutan, dihitung pada *joint*, sehingga hasil akhir yang diperoleh adalah harga pendekatan dari lendutan pada lokasi-lokasi diskret dari sistem yang diselidiki, yaitu pada *nodes-point-nya* tersebut.

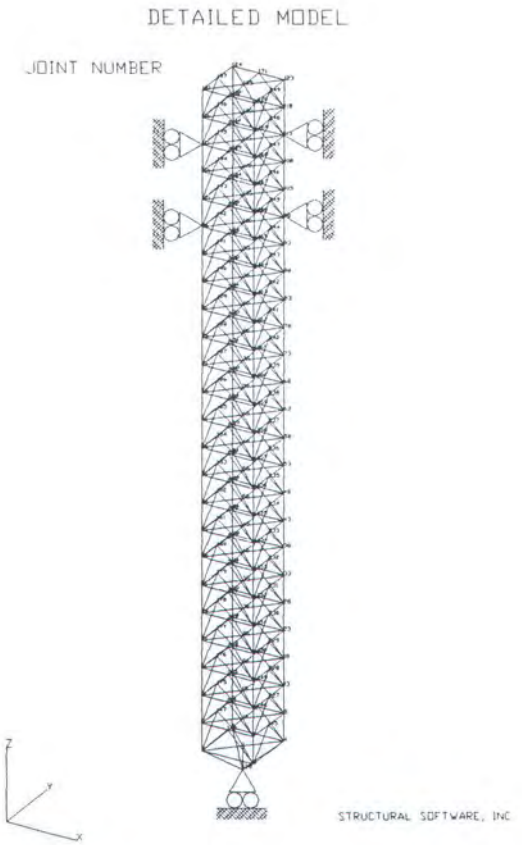
Struktur kaki jack up tipe truss yang terdiri dari *chord* dan *brace* adalah suatu sistem yang terdiri dari banyak elemen *space-frame*. Elemen *space frame* sebenarnya adalah gabungan dari dua macam elemen, yaitu elemen *truss* dan *beam* dalam koordinat global tiga dimensi. Pengasumsian ini didasarkan pada pembebanan dan lendutan yang akan terjadi pada elemen *space frame* tersebut.

Elemen *truss* adalah elemen yang akan mengalami pembebanan dan lendutan pada arah aksial (pada arah sumbu elemen) sedang elemen *beam* akan mengalami pembebanan, lendutan dan momen ke arah lateral.

Elemen *chord* dan *brace* pada struktur kaki jack up akan mengalami pembebanan dari segala arah (aksial dan lateral) dalam ruang sehingga elemen *chord* dan *brace* tersebut akan mengalami lendutan dan momen ke segala arah pula. Jadi pendekatan model elemen yang paling baik untuk elemen *chord* dan *brace* ini adalah gabungan antara elemen truss dan *beam* dalam koordinat global tiga dimensi atau *space frame*.

Detailed model merupakan pemodelan struktur *jack-up* sebagai bentuk 3 dimensi yang terdiri dari system *chord* dan *brace*. Didalam analisa dengan menggunakan detailed model, kita akan menggunakan *Finite Element Method* (FEM), dimana kita memasukkan model secara detail, menjadikan bentuk fisik model struktur sebagai suatu system linier yang kontinyu dengan jalan membagi bentuk fisik struktur menjadi kelompok elemen-elemen yang kecil. Elemen-elemen kecil ini

dihubungkan dengan simpul-simpul (nodes) sehingga menjadi suatu system yang kontinyu (gambar 2.9).



Gambar 2.9. Detailed model struktur jack up

Didalam pemodelan detail kita akan mengacu pada metode perancangan sebagai berikut:

1. Rasio kerampingan/*Slenderness ratio*

$$Slenderness\ ratio = \frac{kL}{r} \quad \text{.....(2.30)}$$

Dimana : k = *buckling length factor*

L = panjang elemen

r = jari-jari girasi = 0,35 D

2. *Diameter to wall tickness ratio* (D/t)

Karakteristik kedua yang penting adalah kestabilan penampang sebuah rangka tubular yang dinyatakan dalam *ratio* diameter dan tebal dinding (D/t) yang juga menunjukkan kestabilan terhadap *local buckling/hydrostatic collaps* .

2.2.7. DASAR METODE ELEMEN HINGGA

2.2.7.1 Pendiskritan dari sistem yang dianalisa

Ini adalah proses dimana sistem yang dianalisa dibagi menjadi bagian-bagian kecil. Beberapa usaha telah dilakukan untuk membagi elemen-elemen ini secara otomatis, akan tetapi dalam banyak hal tergantung kecakapan individu yang melakukan analisa, termasuk misalnya menentukan model apa yang akan digunakan sebagai elemennya dan berapa jumlah serta dimensinya yang dianggap memenuhi syarat untuk suatu masalah tertentu. Pendiskritan ini merupakan tahap yang penting, karena dalam praktek suatu sistem umumnya sangat komplek dan besar, sehingga untuk keperluan analisa dengan metode elemen hingga hanya bagian-bagian tertentu yang dianggap perlu saja yang akan diselidiki.

Struktur *jack-up* yang terdiri dari *chord* dan *brace* adalah suatu sistem yang terdiri dari banyak elemen *space-frame*. Elemen *space-frame* merupakan gabungan dari dua macam

elemen yaitu elemen *truss* dan elemen *beam* dalam koordinat global tiga dimensi.

Elemen *chord* dan *brace* akan mengalami pembebanan dari segala arah dalam ruang sehingga akan mengalami lendutan dan momen ke segala arah .

2.2.7.2 Pemilihan model lendutan

Walaupun hanya bersifat pendekatan akan tetapi pemilihan model lendutan ini harus tetap memenuhi ketentuan pokok tertentu. Sebagai contoh, derajat dari fungsi polinomial yang umum digunakan sebagai model lendutan dipilih atas dasar pertimbangan-pertimbangan praktis, karena pendekatan akan menjadi eksak kalau derajat polinomial yang digunakan adalah tak terhingga. Model polinomial yang sering digunakan adalah polinomial linier. Berikut ini adalah bentuk umum dari polinomial yang sering digunakan :

$$u(x) = \alpha_0+\alpha_1x^1+\alpha_2x^2+\alpha_3x^3+....+\alpha_nx^n \quad (2.31)$$

Bentuk polinomial ini dapat ditulis dalam bentuk persamaan matriks sebagai berikut :

$$\{u\} = [\Phi]\ [\alpha] \quad (2.32)$$

dimana :

$\{u\}$ = matriks model lendutan

$[\Phi]$ = matriks koordinat masing-masing simpul.

$[\alpha]$ = matriks koordinat umum

Kemudian antara lendutan dan simpul dengan koordinat umum dihubungkan dengan persamaan matriks berikut :

$$\{q\} = [A]\ \{\alpha\} \quad \text{atau} \quad \{\alpha\} = [A]^{-1}\ \{q\} \qquad (2.33)$$

Substitusi persamaan (2.32) dan persamaan (2.33) menghasilkan persamaan matriks yang menyatakan hubungan antara model lendutan (u) dan vektor lendutan simpul (q) dalam bentuk :

$$\{u\} = [\Phi]\ [A]^{-1}\ \{q\} \qquad (2.34)$$

Fungsi yang menghubungkan model lendutan dan vektor lendutan simpul diatas disebut fungsi bentuk (*shape function*). Notasinya adalah seperti di bawah ini :

$$[N] = [\Phi]\ [A]^{-1}\ \{q\} \qquad (2.35)$$

Fungsi bentuk merupakan dasar pembentuk matriks kekakuan dan gaya simpul equivalen.

2.2.7.3 Penurunan matrik kekakuan elemen

Kekakuan pada dasarnya menghubungkan *displacement* pada *joint* dengan gaya-gaya luar yang bekerja pada *joint* tersebut. Analisa struktur dengan metode energi mengharuskan struktur hanya menerima beban yang bekerja pada titik simpul. Namun pada kondisi pembebanan yang sebenarnya, gaya umumnya terdistribusi secara merata sepanjang elemen.

$$[K]\ \{q\} = \{Q\} \qquad (2.36)$$

dimana :

[K] = matriks kekakuan

{q} = matriks vektor lendutan simpul

{Q} = matriks vektor dari gaya simpul gabungan

MILIK PERPUSTAKAAN ITS

Lendutan yang diperoleh pada tiap elemen ini adalah lendutan yang ditinjau dari sumbu koordinat lokal atau koordinat elemen. Untuk masalah-masalah yang sederhana, matriks kekakuan bisa ditentukan dengan menggunakan asas keseimbangan, namun hal tersebut sulit dilakukan pada masalah atau sistem yang sedikit kompleks. Matriks kekakuan dipengaruhi pada tiga hal yaitu model lendutan yang dipakai, geometri dan elemen-elemennya dan sifat material elemen. Karena sifat material ini bisa berbeda-beda untuk setiap elemen maka metode ini memungkinkan untuk dipakai pada sistem atau struktur yang terdiri dari bermacam-macam material yang berbeda sifatnya.

2.2.7.4 Penggabungan elemen

Proses penggabungan elemen didasarkan pada anggapan kontinuitas pada joint yang menghubungkan satu elemen dengan elemen yang lain. Persamaan global yang harus diselesaikan dalam proses penggabungan elemen ini adalah :

$$[K]\ \{r\} = \{R\} \qquad (2.37)$$

dimana :

[K] = matriks kekakuan global

{r} = matriks vektor lendutan untuk seluruh sistem yang dianalisa

{R} = matriks pembebanan global

Matriks kekakuan dan pembebanan global pada persamaan tersebut adalah matriks kekakuan dan pembebanan lokal yang

sudah ditransformasikan ke dalam koordinat global atau koordinat struktur. Jadi dalam proses penggabungan elemen ini perlu didefinisikan terlebih dahulu matriks transformasi atau matriks rotasinya.

2.2.7.5 Perhitungan lendutan dari persamaan aljabar simultan

Setelah persamaan global dan kondisi batasnya dapat dihubungkan, maka persamaan aljabar simultan tersebut segera dapat diselesaikan untuk mendapatkan besarnya lendutan. Untuk persamaan linear hal ini mudah diselesaikan, akan tetapi untuk yang non linear tidaklah mudah untuk diselesaikan, sehingga beberapa metode bantu untuk memodifikasi persamaan digunakan untuk maksud tersebut sehingga mempercepat proses manipulasi yang dilakukan komputer.

2.2.7.6 Menentukan tegangan dan regangan elemen

Untuk masalah analisis tegangan struktur, besaran penting yang kedua adalah regangan dan tegangan dapat diperoleh karena besaran-besaran tersebut dapat dinyatakan secara langsung sebagai fungsi dari displasmen yang sudah diperoleh sebelumnya.

2.2.8. PERHITUNGAN TEGANGAN

2.2.8.1. Tegangan Pada Elemen Rangka dengan Metode Analitis Statis

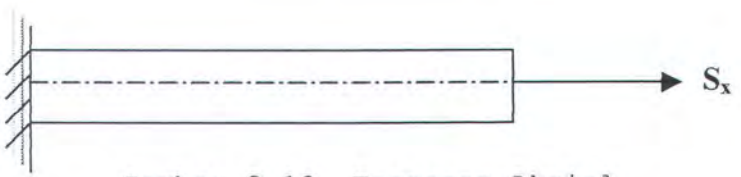
Bila suatu struktur mengalami pembebanan, maka pada elemen-elemen pembentuk struktur tersebut selain akan terjadi lendutan juga akan timbul tegangan. Tegangan menyatakan aksi terbesar yang terjadi secara internal antara elemen-elemen yang berdekatan dengan struktur. Analisis tegangan dengan metode statis ini berdasarkan hukum Hooke yang menganggap bahan bersifat elastis linear, sehingga prinsip superposisi bisa digunakan untuk menggabungkan tegangan akibat berbagai system pembebanan. Tegangan-tegangan ini terdiri dari:

1. Tegangan Aksial (*Axial Stress*)

Tegangan Aksial terjadi karena adanya Beban S_x (tarik atau tekan) yang mengenai elemen rangka struktur sejajar dengan sumbu simetri, seperti yang terlihat pada gambar 2.10 dibawah ini :

$$F_a = \frac{S_x}{A} \qquad \text{.....(2.38)}$$

dengan A = luas penampang lintang



Gambar 2.10. Tegangan Aksial

2. Tegangan Bending (*Bending Stress*)

Selain akibat gaya aksial, tegangan juga dapat diakibatkan oleh momen lentur murni akibat kopel M yang terjadi di setiap ujungnya (gambar 2.11). Tegangan yang tejadi akibat momen ini dikenal sebagai *bending stress* atau tegangan lentur (API RP 2A)

$$F_b = \sqrt{F_{by}^{\ 2} + F_{bz}^{\ 2}} \quad \text{.....(2.39)}$$

Dimana :

$$F_{by} = \frac{M_y.D}{2I_y} \text{ dan } \quad F_{bz} = \frac{M_z.D}{2I_z} \quad \text{.....(2.40)}$$

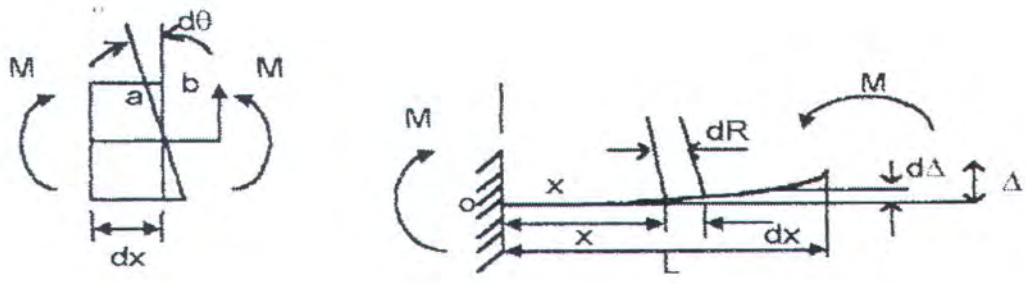
F_b = tegangan bending

F_{by} = tegangan bending akibat momen bending dari Y axis

F_{bz} = tegangan bending akibat momen bending dari Z axis

M_y dan M_z = momen bending dari y dan z axis

I_y dan I_z = momen inersia dari y dan z axis



Gambar 2.11. Momen kopel pada batang tubular (E.P. Popov,1993)

3. Tegangan Geser (*Shear stress*)

Batang penampang bulat juga akan mengalami tegangan geser walau besarnya tidak begitu berarti. Tegangan geser ini bisa dihitung dengan menggunakan rumus (API RP 2A):

$$Fv = \frac{\sqrt{S_y^{\,2} + S_z^{\,2}}}{A_s} + \frac{16.M_x.D}{\pi\left[D^4 - (D-2t)^4\right]} \quad \text{.....(2.41)}$$

Dimana:

Fv = tegangan geser pada silinder

S_y dan S_z = gaya geser pada arah sumbu y dan z

A_s = luasan geser (luasan total dikalikan dengan factor modifikasi, biasanya 0,5)

M_x = momen bending dari x axis

D = diameter luar silinder

t = tebal silinder

4. Tegangan Kombinasi (*Combine Stress*)

Tegangan merupakan penjumlahan antara tegangan aksial dan bending. Ini dapat didiskripsikan dengan rumus:

$$F_C = F_A + F_B \quad \text{.....(2.42)}$$

Dimana :

F_C = Tegangan kombinasi

F_A = Tegangan aksial

F_B = Tegangan bending

2.2.8.2. Tegangan ijin untuk member silinder (API RP2A, 1993)

Agar struktur jack up aman, maka tegangan yang terhitung harus berada dibawah tegangan ijin yang direkomendasikan API RP 2A WSD, tegangan ijin ini mencakup:

1. Tegangan aksial tarik ijin

Tegangan tarik ijin Ft, dirumuskan :

$$Ft = 0,6\ Fy \quad \text{.....(2.44)}$$

Dimana Fy adalah tegangan yield, ksi (MPa)

2. Tegangan aksial tekan ijin

Tegangan tekan yang diijinkan adalah Fa.

Untuk D/t ≤ 60

$$Fa = \frac{\left[1-\frac{(kL/r)^2}{2Cc^2}\right]Fy}{\frac{5}{3}+\frac{3(kL/r)}{8Cc}-\frac{(kL/r)}{8Cc^3}} \quad , \quad \text{untuk kL/r < Cc.....(2.45)}$$

$$Fa = \frac{12\pi^2 E}{23(kL/r)^2} \quad , \quad \text{untuk kL/r ≥Cc.....(2.46)}$$

Dimana :

$$Cc = \left[\frac{2\pi^2 E}{Fy}\right]^{0,5} \quad \text{.....(2.47)}$$

E = modulus elastisitas, ksi (MPa)

K = faktor panjang efektif

L = Panjang tanpa bracing

R = jari-jari girasi

Untuk member dengan D/t > 60 dengan menggunakan *local buckling*

1. *Local buckling* elastis

Fxe = 2 Cet/D.....(2.48)

Dimana :

C = koefisien tegangan kritis buckling

D = diameter luar

t = ketebalan pipa

secara teoritis harga C adalah 0,6

2. *Local buckling* inelastic

$$Fxc = Fy\left[1{,}64 - 0{,}23(D/t)^{1/4}\right] \leq Fxe \quad \text{.....(2.49)}$$

Fxc = Fy , untuk (D/t) ≤ 60

3. Tegangan Bending ijin

Tegangan bending ijin, Fb dinyatakan :

Fb = 0,75 Fy , untuk D/t ≤1500/Fy.....(2.50)

$$\left(\frac{D}{t} \leq \frac{10340}{Fy}, dalam satuan SI\right)$$

$$Fb = \left[0{,}84 - 1{,}74\frac{FyD}{Et}\right]Fy, \text{untuk } \frac{1500}{Fy} < \frac{D}{t} \leq \frac{3000}{Fy} \quad \text{.....(2.51)}$$

$$\left(\frac{10340}{Fy} < \frac{D}{t} \leq \frac{20680}{Fy}, dalam satuan SI\right)$$

$$Fb = \left[0{,}72 - 0{,}58\frac{FyD}{Et}\right]Fy, \text{untuk} \frac{3000}{Fy} < \frac{D}{t} \leq 300 \quad \text{.....(2.52)}$$

4. **Tegangan Geser ijin**

Sedangkan tegangan geser torsional yang diijinkan adalah:

$$F_v = 0,4\ Fy \quad \text{.....(2.53)}$$

2.2.8.3. Rasio Interaksi (interaction ratio)

Untuk mengecek apakah tegangan-tegangan yang terhitung sesuai dengan rekomendasi API RP 2A, maka disini digunakan rasio interaksi.

Rasio interaksi adalah perbandingan antara tegangan kombinasi aktual pada member dengan tegangan ijin secara teoritis.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \le 1.0 \quad \text{.....(2.43)}$$

dimana :

f_a = tegangan aksial aktual

F_a = tegangan aksial ijin

f_b = tegangan bending aktual

F_b = tegangan bending ijin

2.2.9. INDEKS LINGKUNGAN

Perancangan struktur yang optimum dengan analisa dimensi telah dilakukan, contohnya pada rancangan struktur pesawat terbang dengan menggunakan indeks structural (shanley,1956).

Indeks structural juga telah digunakan pada struktur anjungan lepas pantai khususnya *Jacket* (Rosyid, 1993). Indeks structural yang digunakan :

$$\sigma_{SI} = \frac{R}{L.B} \qquad \text{.....(2.54)}$$

dimana :

R adalah pembebanan karakteristik

L adalah panjang karakteristik struktur

B adalah lebar karakteristik struktur

Sedangkan pada indeks lingkungan (*environmental index*) pembebanan karakteristik R merupakan pembebanan yang terjadi akibat beban lingkungan. Dalam penelitian ini beban lingkungan yang ditinjau adalah beban gelombang. Sedangkan L dan B merupakan fungsi kuadrat kedalaman laut. Sehingga didapatkan rumus indeks lingkungan sebagai berikut:

$$(\textit{Environmental index} = \sigma_{EI} = \frac{waveload}{D^2}) \text{.....(2.55)}$$

dimana :

D adalah kedalaman laut

2.2.10. ANALISA *QUASI* STATIS

Analisa quasi statis akan menjadi dominant terhadap analisa respon struktur apabila frekuensi gaya eksitasi lebih kecil dari frekuensi natural struktur $\omega << \omega_n$.

$$\omega \to 0, \quad x \to \frac{f_0}{K}\cos\omega t \qquad (\textit{quasi static response}) \text{.....(2.56)}$$

Respon didominasi oleh kekakuan. Ini dikarenakan percepatan dan gaya inertia adalah sangat kecil.

Jika persamaan dinamis adalah:

$$M\ddot{x}+C\dot{x}+Kx=f(t) \quad \text{.....(2.57)}$$

dimana $M\ddot{x}$ adalah gaya inersia, $C\dot{x}$ adalah gaya akibat redaman (*damping*), Kx adalah gaya pegas. Dapat diketahui bahwa $M\ddot{x}+C\dot{x}$ adalah sangat kecil jika dibanding dengan Kx. Sehingga ini diijinkan untuk mengabaikan $M\ddot{x}$ dan $C\dot{x}$ dan menggunakan $Kx=f(t)$. Struktur kaki Jack up umumnya memiliki frekuensi natural yang lebih kecil dari frekuensi gaya eksitasi serta periode natural yang lebih besar dari 3 detik. Struktur yang memiliki periode natural lebih dari 3 detik, tidak mungkin untuk mengabaikan $M\ddot{x}+C\dot{x}$. Sehingga harus dilakukan analisa dinamis (API RP 2A). Untuk itu sebagai pendekatan mencari respons dinamis struktur dalam hal ini adalah *amplitudo displacement*, yaitu dengan cara mengalikan respon statis (*static displacement*) dengan *Dynamic Amplification Factor* (DAF). Dimana DAF merupakan perbandingan antara *amplitudo displacement* dengan *ekuivalen static displacement*, jika dirumuskan adalah sebagai berikut (Chakrabarty,1994):

$$DAF=\frac{amplitude_of_displacement}{equivalent_static_displacement}=\frac{x_0}{f_o/K} \quad \text{.....(2.58)}$$

untuk *single degree of freedom system* diberikan oleh (Boswell L.F,1987):

$$DAF = \frac{1}{\sqrt{\left(1-\left(\frac{To}{T}\right)^2\right)^2+\left(2\xi\frac{To}{T}\right)^2}} \quad \text{.....(2.59)}$$

dimana :

To : Periode natural dari struktur

T : Periode dari beban variabel (periode gelombang)

ξ : Damping rasio (=0,06)

untuk kondisi operasi ini biasanya ditemukan bahwa tiga frekuensi natural yang paling rendah cocok untuk gerakan *surge, sway,* dan *yaw.*

Periode natural merupakan nilai inverse dari frekuensi natural dan diberikan oleh:

$$Tn = \frac{1}{f} = 2\pi\sqrt{\frac{Me}{ke}} \quad \text{.....(2.60)}$$

dimana :

f : Frekuensi natural dari struktur

ke : kekakuan efektif satu kaki

Me : Massa efektif satu kaki

Oleh karena kaki berupa silinder bebas di satu ujung dan dijepit diujung lainnya maka kekakuan efektif kaki dapat ditentukan:

$$k_e = \left(1-\frac{P}{P_e}\right)k \quad \text{.....(2.61)}$$

dan k dihitung dengan rumus:

$$k = 3\ EI/L^3 \quad \text{.....(2.62)}$$

untuk harga Pe ditentukan dengan rumus:

$$P_e = \frac{\pi^2 EI}{4L^2} \quad \text{.....(2.63)}$$

dimana:

ke = kekakuan efektif kaki

k = kekakuan silinder karena bending

P = beban axial kaki

Pe = beban kritis euler untuk silinder

E = modulus elastisitas

I = moment inersia kaki

BAB III
PEMODELAN STRUKTUR DAN PEMBEBANAN

BAB III

PEMODELAN STRUKTUR DAN PEMBEBANAN

3.1. PEMODELAN STRUKTUR

Dasar dalam melakukan pemodelan struktur *Jack-Up* di sini adalah menggunakan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) sebab metode ini dianggap lebih representatif. Dalam Metode Elemen Hingga tujuan pemodelan adalah untuk menyederhanakan struktur yang akan dianalisa sesuai dengan batasan - batasan yang dikehendaki namun masih tetap bisa mewakili struktur yang sebenarnya. Dengan adanya model yang lebih sederhana tersebut maka analisa dan perhitungan akan lebih mudah dilakukan sebab struktur yang sebenarnya jauh lebih rumit dan detail apalagi diketahui bahwa *Jack-Up* merupakan konstruksi yang cukup kompleks, di mana konstruksi tersebut terdiri dari berbagai tipe, jenis, dan ukuran elemen struktur.

Didalam pemodelan jack up ada dua cara pemodelan yaitu pemodelan jack up untuk keperluan analisa global tiga kaki dan pemodelan jack up untuk keperluan analisa lokal satu kaki. Kedua cara pemodelan ini sangat penting dilakukan, dimana analisa global untuk mengetahui respons struktur secara global yang mencakup perpindahan geladak horisontal, stabilitas struktur jack up, gaya-gaya reaksi, *P-delta effect* dan lain sebagainya. Sedangkan analisa lokal satu

kaki untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada *chord* dan *brace*.

Karena *jack up* terdiri dari tiga kaki yang mempunyai element *chord* dan *brace* yang begitu banyak maka didalam analisa global struktur kita akan memerlukan piranti lunak komputer yang canggih, dimana dia dapat memodelkan seluruh element tersebut. Untuk mengatasi hal tersebut maka didalam analisa global struktur jack up, disini digunakan *stick model*. Sedangkan untuk analisa lokal satu kaki digunakan *detailed model*.

3.2. MODEL ACUAN

Dalam pembuatan model matematis struktur, maka diperlukan sebuah model struktur yang sudah ada sebagai acuan atau referensi. Model struktur yang dipakai sebagai *Case Study* di sini adalah :

Nama anjungan *Jack-Up* : *Dyvi Gamma*

Fungsi : *Rig* pengeboran

Pemilik (*Owner*) : *Dyvi Offshore Co.*, Norwegia

Tahun operasi : 1977

Lokasi operasi : lokasi 1 / 9 -3 lepas pantai Norwegia

Bentuk kaki (*leg*) : tipe *Truss* dengan 3 *chord*

Bentuk geladak (*deck*) : trigonal (segitiga) dengan 3 kaki

Karena model yang dipakai case study bentuk kakinya adalah tipe *truss* 4 *chords* dengan tipe *bracing* K dan Z maka model yang dibuat akan mengalami modifikasi atau perubahan

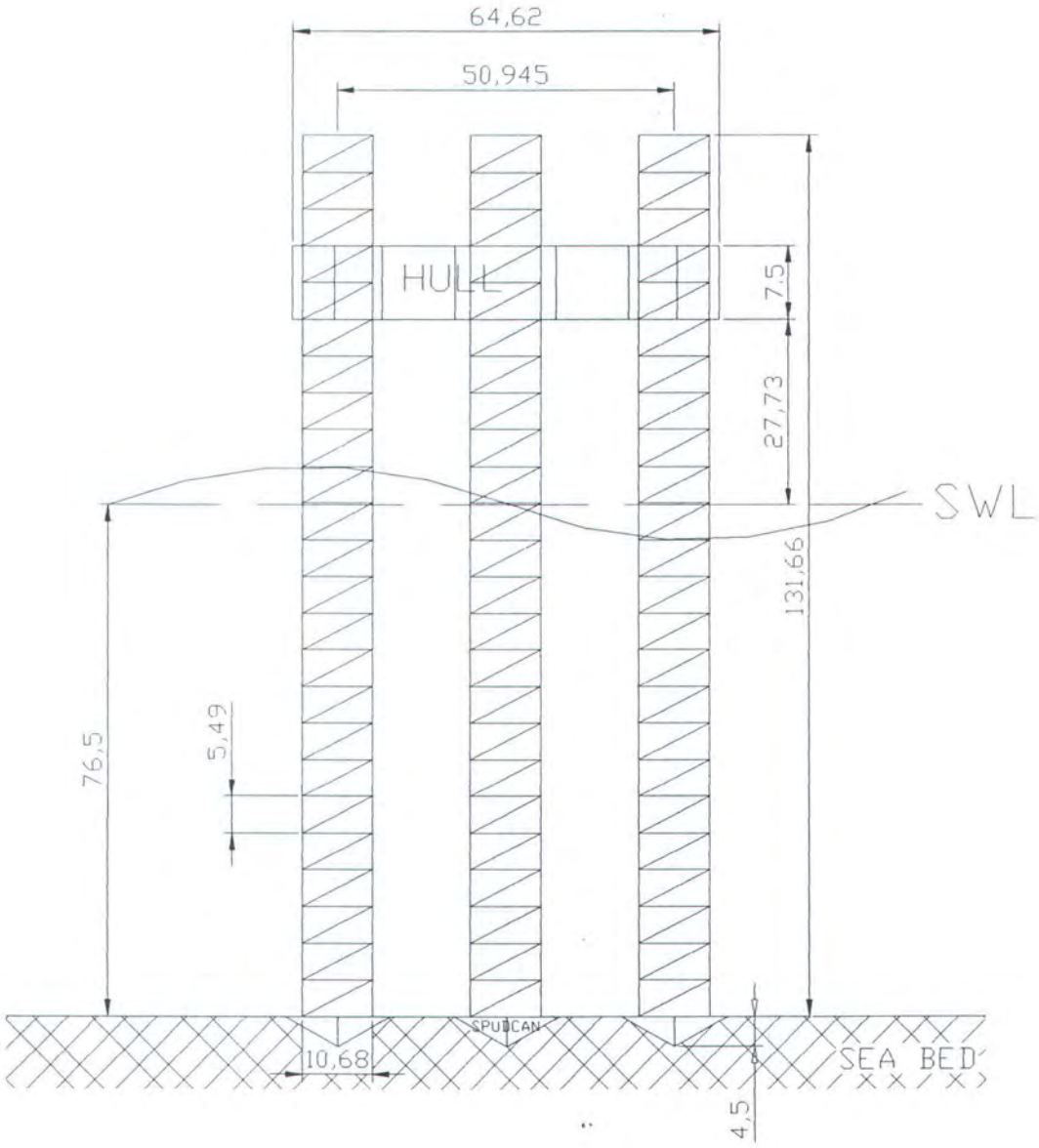
dalam beberapa hal sesuai dengan tujuan penelitian tugas akhir , antara lain sebagai berikut :

- Jumlah *chords*
- Konfigurasi *bracing*
- Ukuran diameter dan ketebalan dari *bracing*

Adapun ukuran utama struktur jack up yang ditinjau adalah sebagai berikut:

Ukuran utama Jack Up :

Jumlah kaki	:	3	kaki
Jumlah Chord tiap kaki	:	4	chord
Jarak antar kaki	:	50.945	m
Jarak antar chord	:	10.688	m
Panjang kaki	:	131.664	m
Tinggi tiap bay	:	5.486 m	
Lebar geladak	:	64.620	m
Panjang geladak	:	64.620	m
Tinggi geladak	:	7.5	m
Berat geladak & peralatan total	:	9153,03 ton	



Gambar 3.1. Ukuran utama Jack up

3.3 PEMODELAN STRUKTUR KAKI JACK UP

3.3.1. *Detailed Model*

Satu struktur kaki *Jack-Up* tipe rangka (*Truss Type*) terdiri atas tiga (3) bagian atau *member* utama, yaitu :

- *Chord; member* yang memiliki ukuran relatif lebih besar yang berfungsi sebagai penopang utama struktur geladak (*Super Structure*)
- *Horizontal Braces; member* sebagai penegar yang diletakkan secara melintang atau horisontal terhadap sumbu mendatar struktur
- *Diagonal Braces; member* sebagai penegar yang diletakkan secara miring atau memiliki sudut kemiringan tertentu terhadap sumbu atau bidang referensi dari struktur

Detailed model merupakan pemodelan 3 dimensi yang terdiri dari 3 member utama tersebut diatas.

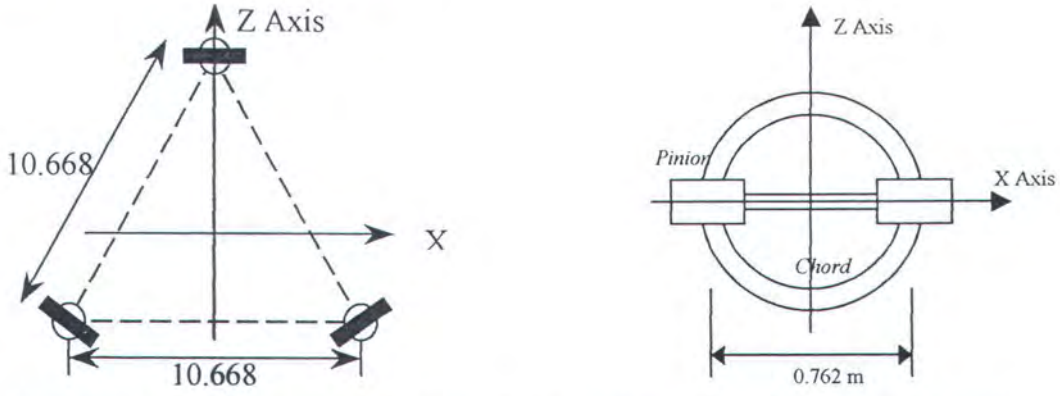
Adapun ukuran dari chord dan brace per bay seperti terlihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Ukuran chord dan brace per bay

Tipe properti	K bracing system				Z bracing system			
	Outside Diameter (cm)	Wall-Thicknes (cm)	Kl/r	D/t	Outside Diameter (cm)	Wall-Thicknes (cm)	Kl/r	D/t
Chords	76.2	11.900	20.57	6.4	76.2	11.906	20.57	6.4
Dia. Brace	32.4	2.8575	47.13	11.33	64.8	5.7150	47.13	11.33
Hor. Brace	32.4	3.3060	67.53	9.8	50.811	5.1848	67.53	9.8
Sec. Brace	21.55	0.8600	200.0	25	21.55	0.8600	200.0	25

3.3.1.1. Pemodelan Sistem Jacking

Sistem *jacking* yang dipergunakan adalah *Rack - Pinions* sistem ganda (*Opposed Rack-Pinions Elevating System*) di mana *pinions* diletakkan pada dua (2) sisi *Chord* dari kaki *Jack-Up* (gambar 3.2). Dalam pemodelan, struktur *rack-pinions* tidak dimodelkan secara nyata, hanya dipergunakan untuk menghitung koefisien *Drag* (*CD*) pada *Chord* dan beban gelombang yang mengenainya.



Gambar 3.2. Penampang kaki dan sistem *Pinions* pada *Chord* (Murdjito, 1997)

Didalam pemodelan komputer sistem *jacking* tidak dimodelkan secara nyata. Sistem jacking hanya dimodelkan sebagai tumpuan rol arah Z global axis.

3.3.1.2. Pemodelan Struktur Geladak

Untuk pemodelan detail satu kaki, geladak tidak dimodelkan secara nyata. Geladak dimodelkan sebagai beban vertikal yang terkena pada *Chord*.

Adapun beban vertikal berupa peralatan yang ada di atas geladak yang dikenai oleh model struktur *Deck Jack-Up*

di atas mengacu pada struktur " *Dyvi Gamma Jack-Up Rig* " adalah sebagai berikut :

- *Basic Hull* = 4744.34 ton
- *Pipping and Electrical Equipment* = 181.03 ton
- *Machinery Foundations* = 45.37 ton
- *Living Quarters* = 13.79 ton
- *Helideck* = 110.25 ton
- *Water Tower* = 55.81 ton
- *Derrick and Drill Floor* = 567.13 ton
- *Skid Rails and Pipeline Racks* = 46.73 ton
- *Fixed Equipment* = 998.14 ton
- *Jack House* = 363.42 ton
- *Jacking Units* = 571.65 ton
- *Liquid Load* = 1304.02 ton

Total beban vertikal yang diterima sebesar = 9151.68 ton

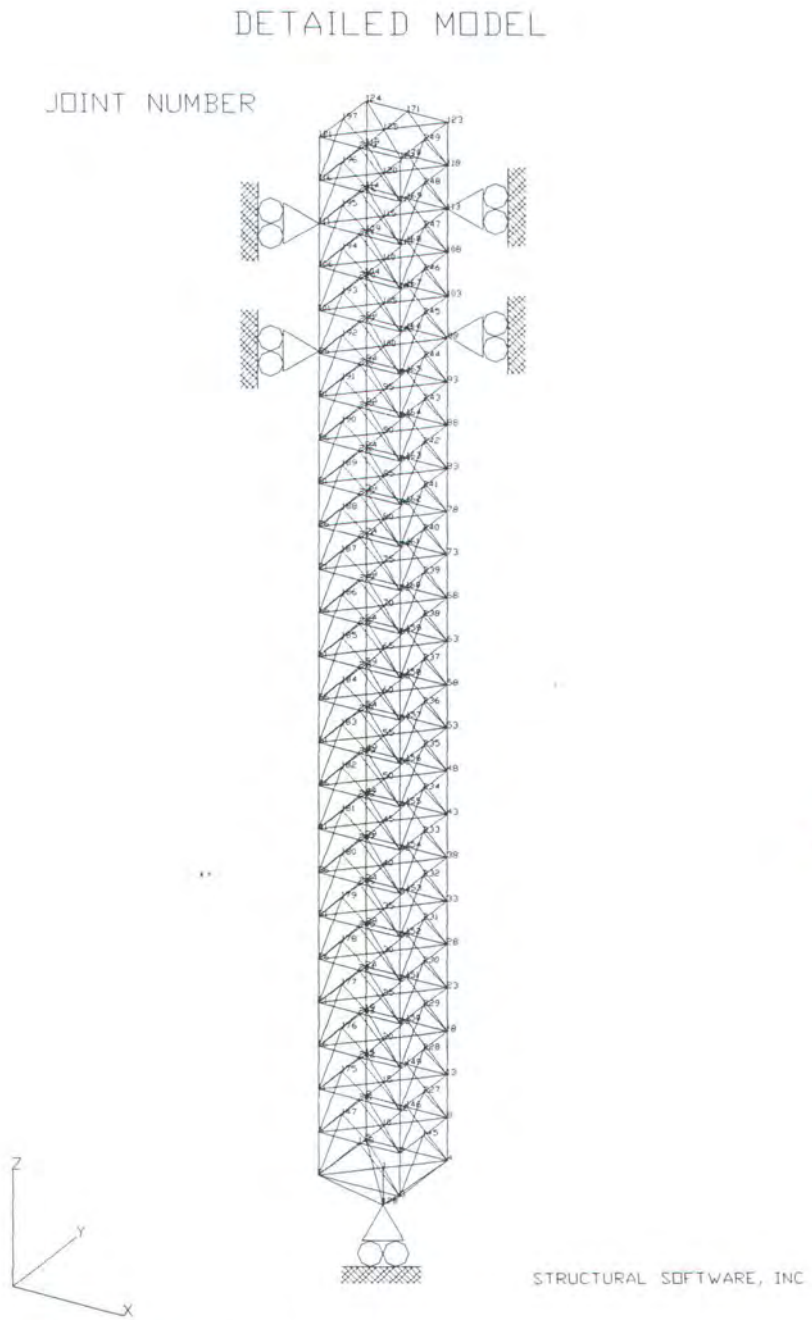
3.3.1.2. Pemodelan *Spud Can* (Pondasi kaki Jack-Up)

Sistem pondasi yang dipakai dalam model *Jack-Up* yang akan dianalisa ini menggunakan sepatu tumpu *Spud Can*. Dengan sepatu tumpu jenis ini, maka setiap kaki *Jack-Up* akan mempunyai satu *Spud Can* yang tidak terikat dengan kaki yang lain. Jenis konstruksi *Spud Can* ini paling banyak digunakan karena sistem instalasi *Jack-Up* menjadi lebih sederhana, sebab masing - masing kaki *Jack-Up* berdiri bebas.

Dalam pembuatan model analisis komputer, *Spud Cans* dimodelkan sebagai rigid body element yang menghubungkan

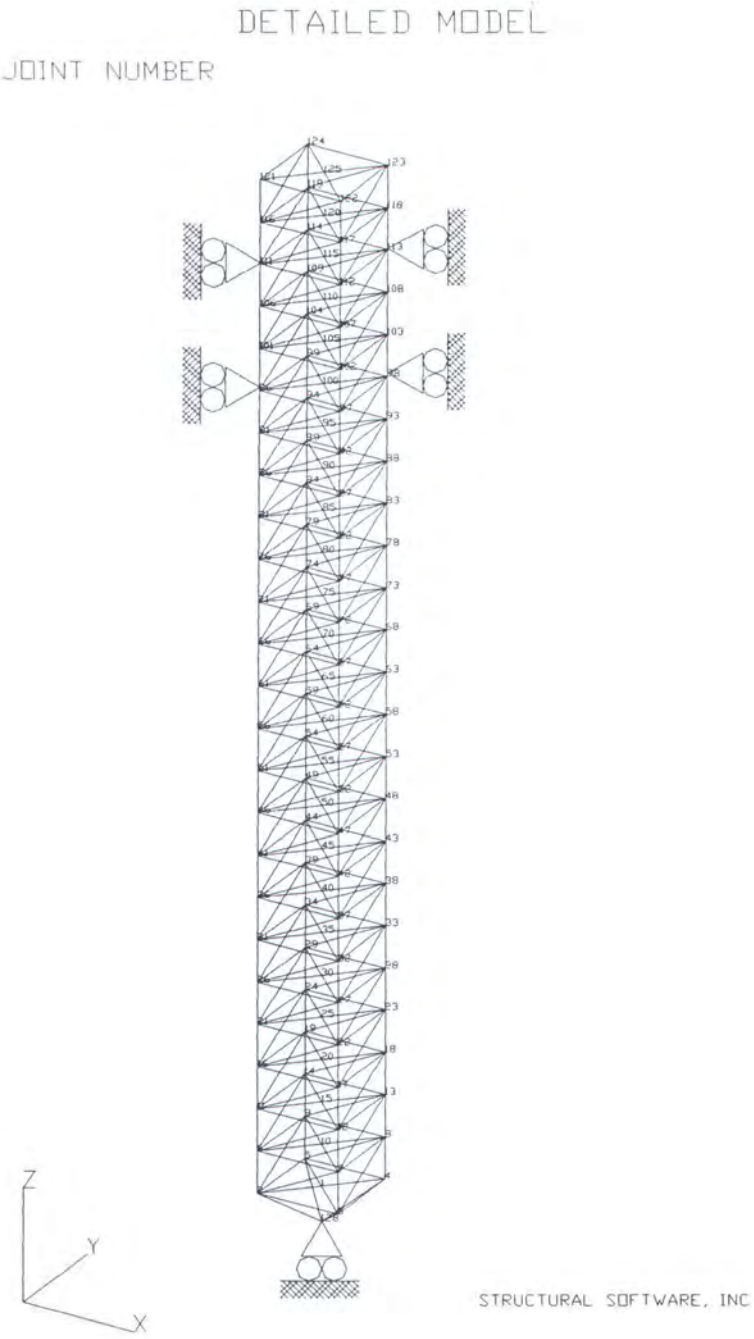
keempat chord yang mempunyai tumpuan rol arah horisontal (arah X global axis).

Detailed model ini bisa dilihat pada gambar 3.3 dan 3.4.



MILIK PERPUSTAKAAN ITS

Gambar 3.3. Sistem *support* dan nomor joint *detailed model* dengan K *bracing system*



Gambar 3.4. Sistem support dan nomor joint detailed model dengan Z bracing system

3.3.2. Stick Model

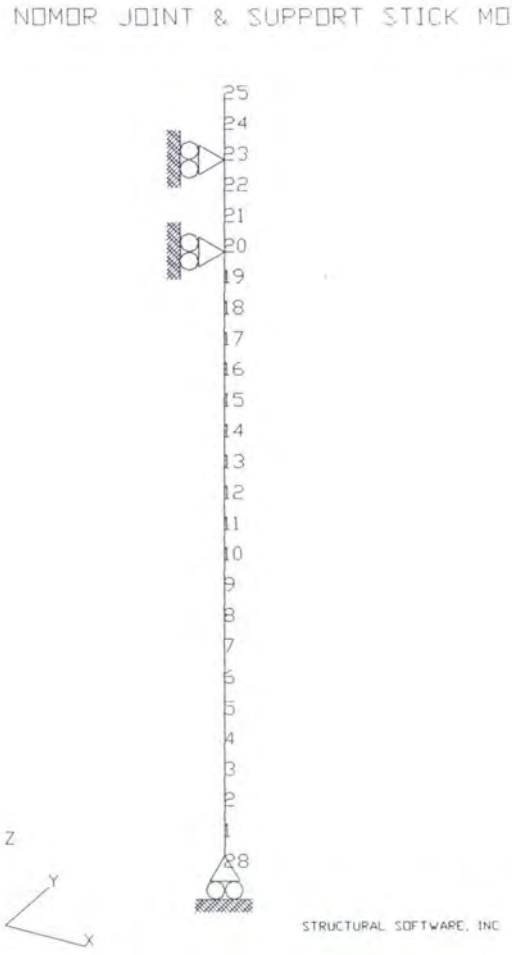
Stick model merupakan bentuk yang lebih sederhana dari *detailed model*. Untuk membandingkan displacement dan gaya-gaya antara *stick model* dan *detailed model* maka *stick model* dan *detailed model* dimodelkan 1 kaki. Sebagai langkah awal, *stick model* dibuat untuk 1 struktur kaki *jack-up* terlebih dahulu dengan *support* pada spudcan dimodelkan sebagai tumpuan rol arah horisontal (arah x global axis) dan hubungan antara deck dan kaki dimodelkan dengan support berupa rol arah vertikal (arah Z global axis) seperti pada gambar 3.5. *Stick model* ini harus mempunyai geometri dan gaya-gaya yang ekuivalen dengan *detailed model*. Beban-beban yang bekerja pada *stick model* sama dengan beban-beban yang bekerja pada *detailed model*. Dengan beban yang sama tersebut maka *stick model* diharapkan menghasilkan displacement dan gaya-gaya reaksi yang sama/mendekati *detailed model* sehingga kekakuan dari *stick model* harus ekuivalen dengan *detailed model*. Untuk mendapatkan kekakuan yang ekuivalen ini, stick model dan detailed model diberi pembebanan 1000 ton pada spud can level dan dibandingkan displasmennya. Untuk mendapatkan displasmen yang sama, maka harus dilakukan analisa yang berulang-ulang dengan mengubah D/t yang juga akan mengubah moment inersia ekuivalen.

Setelah stick model memiliki kekakuan yang sama dengan detailed model, maka sekarang gaya-gayanya harus sama pula.

Gaya-gaya ini meliputi gaya gelombang dan arus, gaya angin, beban deck dan berat struktur sendiri.

Untuk itu, agar model struktur antara stick model dan detailed model mempunyai berat struktur kaki yang sama, maka pada stick model terdapat massa yang menggumpal pada tiap bay, dimana besarnya adalah sama dengan berat satu bay pada detailed model.

Gaya gelombang pada detailed model harus sama dengan gaya gelombang pada stick model. Untuk itu harus dicari diameter ekuivalen dan koefisien drag ekuivalen (pada bab II).



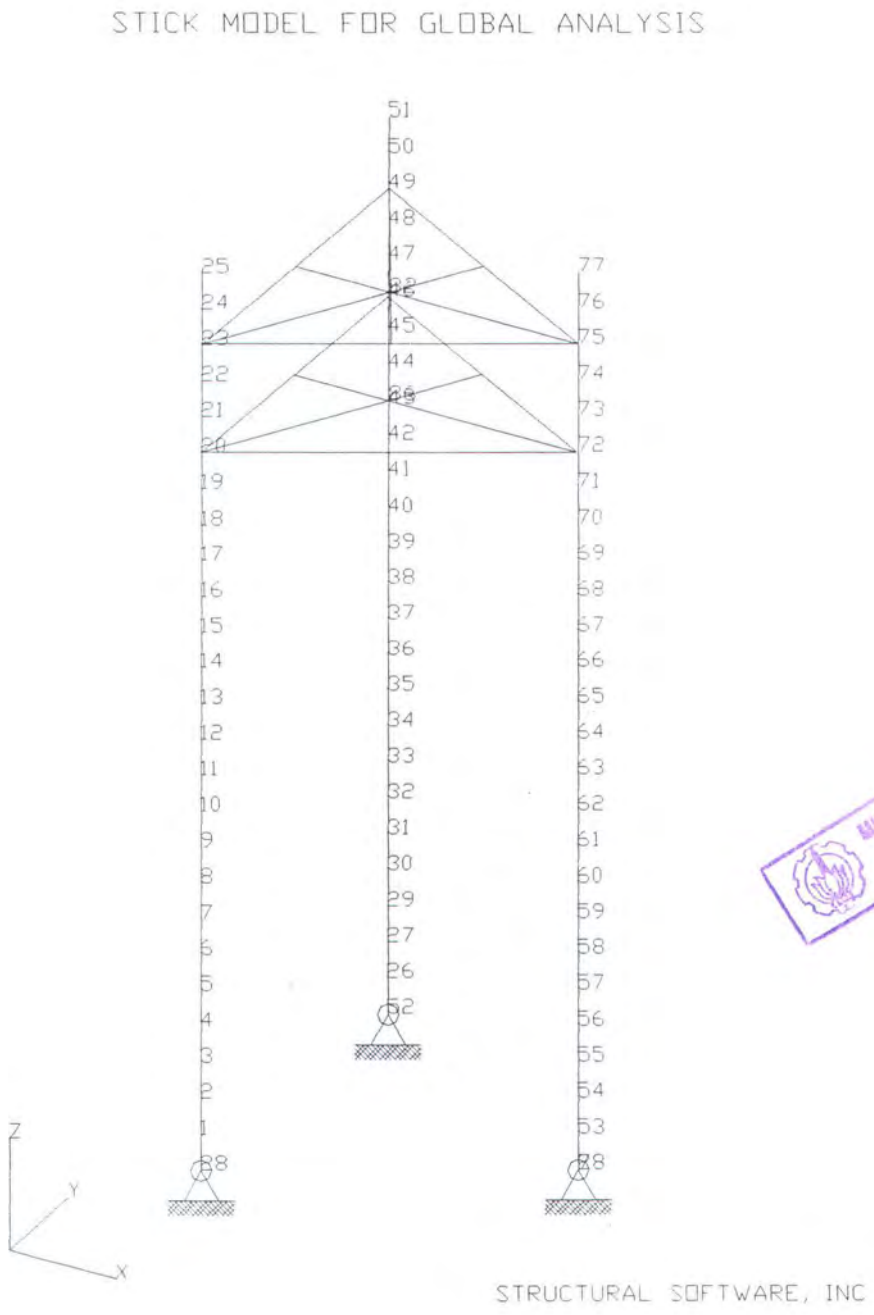
Gambar 3.5. Nomor joint dan support stick model 1 kaki

Dengan menggunakan rumus-rumus dari *Det norske Veritas* maka diperoleh properti ekuivalen dari *stick model* pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Properti stick model ekuivalen untuk jack up 4 chord

No	Uraian	K bracing system	Z bracing system
1	Momen inersia ekuivalen	0.067851 m^4	0.0934835 m^4
2	Luasan ekuivalen	0.044384 m^2	0.05248 m^2
3	Diameter ekuivalen	2.186562 m	3.080574 m
4	Coefisient Drag ekuivalen	6.309	5.075
5	Coefficient Inersia eq.	2.0	2.0
6	Thickness ekuivalen	3.3385 cm	1.6425 cm
7	D/t	0.654953	1.87554
8	Massa tiap *bay*	89.709 Ton	57.763 Ton

Setelah didapatkan *stick model* ekuivalen langkah selanjutnya adalah membuat pemodelan untuk analisa global struktur, yaitu dengan memodelkan struktur *jack-up* 3 kaki dalam bentuk *stick model*. Pada pemodelan ini *support* pada spudcan dimodelkan sebagai tumpuan pin sedangkan struktur *deck* dimodelkan sebagai *rigid body element* yang memiliki kekakuan yang sangat besar seperti yang ditunjukkan gambar 3.6.



MILIK PERPUSTAKAAN ITS

Gambar 3.6. *Stick model* untuk analisa global 3 kaki

3.4. MODEL PEMBEBANAN

Masalah perhitungan beban di sini dibatasi dalam dua (2) macam beban yang bekerja pada model struktur kaki *Jack-Up* baik model lokal maupun model global, yaitu :

1. Beban dari struktur kaki itu sendiri, termasuk beban dari ' *deck* '-nya
2. Beban lingkungan yang meliputi beban gelombang (*wave load*), beban angin (*wind load*) dan beban arus (*current load*).

1. Beban Struktur

Beban struktur dalam arah vertikal di sini terdiri atas dua (2) model beban, yaitu :

- Beban dari berat struktur kaki itu sendiri (*Selfweight*)
- Beban dari struktur geladak yang ditopang oleh kaki *Jack-Up* (*Deck Load*)

Beban berupa berat sendiri (*Selfweight*) dihitung secara otomatis lewat perangkat lunak komputer yang dipakai yaitu *Strucad*3D*. Sedangkan beban deck pada *detailed model* dimodelkan sebagai beban terpusat pada *joint* sambungan antara *chord* dengan *jacking system* dengan arah searah sumbu Z global axis negatif sebagai *joint load* dengan perhitungan sebagai berikut :

Untuk pemodelan 1 kaki beban deck dihitung dengan rumus:

$$beban_deck_1_kaki = \frac{Beban_deck_Total}{3} = \frac{9151.68}{3} = 3050.56ton$$

$$beban_deck_1_chord = \frac{beban_deck_1_kaki}{4} = \frac{3050.56}{4} = 762.64ton$$

sehingga dalam pemakaiannya beban fungsional yang dikenakan pada *detailed model* adalah beban deck 1 *chord* yang terdistribusi pada *joint* sambungan antar *chord* dan *jacking system* dengan arah vertikal searah dengan sumbu Z global axis negatif sebagai *joint load*.

Untuk pemodelan stick 1 kaki, beban deck yang dipakai adalah beban deck 1 kaki yang juga terdistribusi pada joint sambungan antar *chord* dan *jacking system* dengan arah vertikal searah dengan sumbu Z global axis negatif sebagai *joint load*.

Sedangkan untuk pemodelan stick 3 kaki, beban deck terdistribusi pada titik berat deck yang besarnya sama dengan beban deck total dimana arah pembebanannya adalah arah vertical searah dengan sumbu Z global axis negatif sebagai *joint load*.

2. Beban lingkungan

Dengan memasukkan input data lingkungan dimana struktur jack up dyvi gamma beroperasi pada software strucad, maka secara otomatis beban lingkungan yang berupa gelombang, angin dan arus dapat dihitung. Adapun data lingkungan tersebut adalah:

Kedalaman laut : 76.5 m

Tinggi gelombang : 8 m

Periode gelombang : 10.4 detik

Still Water Level current : 2.4 m/s

Kecepatan Angin : 35 m/s

a. Beban gelombang

Langkah awal perhitungan beban gelombang adalah menentukan terlebih dahulu teori gelombang yang sesuai dengan kondisi lingkungan di Laut Utara Jawa. Teori gelombang di check dengan menggunakan grafik region of validity pada gambar 2.1 pada bab 2. Dari data lingkungan didapatkan :

$$\frac{d}{gT^2} = \frac{76.5}{9.81x10.4^2} = 0,072$$

$$\frac{H}{gT^2} = \frac{8}{9.81x10.4^2} = 0,0075$$

Sehingga didapatkan teori gelombang yang dipergunakan adalah Stokes orde 5.

Kemudian beban gelombang dihitung dengan menggunakan software STRUCAD*3D, dengan input sebagai berikut :

1. Teori gelombang yang digunakan
2. Tinggi gelombang
3. Periode gelombang
4. Arah gelombang
5. Berat jenis air
6. Elevasi mudline

7. Kedalaman laut
8. Increment langkah gelombang
9. CD dan CM

Untuk menentukan nilai CD dan CM disini didasarkan pada recommended design value dari Det Norske Veritas dimana besarnya CD untuk cylindrical member besarnya 0.8 dan CM sama dengan 2.0.

Karena chord terdapat rack yang berupa plate dengan sudut antara sumbu axis dengan arah aliran sebesar 45°, maka CD untuk chord dihitung dengan menggunakan rumus 2.28. sehingga diperoleh :

$CD_{chord} = 2.0837$

CD dan CM untuk bracing sebesar 0.8 dan 2.0.

Arah dari beban gelombang yang ditinjau adalah 0° dari sumbu X global axis.

Sesuai dengan kondisi lingkungan yang ada, maka didapatkan beban gelombang dengan arus yang ditampilkan dengan variasi tinggi gelombang pada table 3.3.

Table 3.3. Beban gelombang (KN)

WAVE HEIGHT	BRACING K	BRACING Z
1	2725.59	3131.81
2	3040.26	3499.22
3	3396.25	3904.59
4	3786.41	4346.84
5	4213.6	4826.73
6	4679.97	5351.21
7	5188.47	5919.99
8	5741.27	6535.69
9	6341.6	7201.14
10	6992.46	7919.22

b. Beban arus

Besarnya beban arus dipengaruhi oleh besarnya kecepatan arus pada perairan tersebut. Karena data yang diketahui adalah kecepatan arus pada permukaan air laut, maka untuk mengetahui besarnya kecepatan arus tiap kedalaman digunakan rumus 2.12. sehingga didapatkan kecepatan arus tiap 10% kedalaman pada tabel 3.4.

Tabel 3.4. Kecepatan arus tiap elevasi 10% kedalaman

No	Elevasi (m)	Kecepatan Arus (m/s)
1	0	2.4
2	-7.65	2.364147
3	-15.3	2.3247
4	-22.95	2.280775
5	-30.6	2.231098
6	-38.25	2.173737
7	-45.9	2.105536
8	-53.55	2.020758
9	-61.2	1.907034
10	-68.85	1.727246
11	-76.5	0

Kemudian untuk beban arus secara otomatis dihitung langsung oleh software STRUCAD*3D dengan input sebagai berikut:

1. Elevasi arus
2. Kecepatan arus
3. Arah arus
4. Koefisien drag

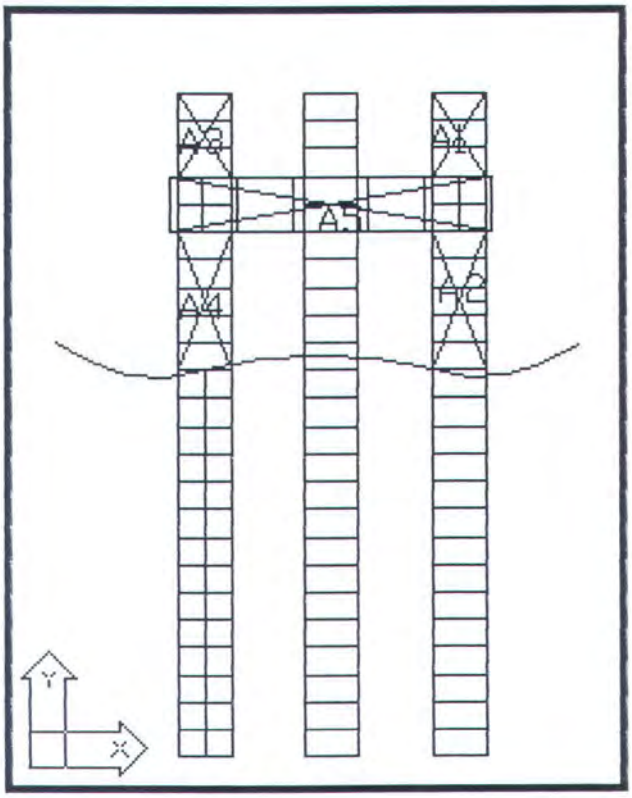
Untuk arah arus disesuaikan dengan arah gelombang yang ditinjau yaitu arah X.

c. Beban angin

Untuk menghitung beban angin STRUCAD*3D membutuhkan data masukkan sebagai berikut:

1. Luasan yang terkena beban angin,
2. Pusat Luasan yang terkena angin,
3. Joint-joint yang terkena beban angin,
4. Teori atau standard yang digunakan (*American Beaureu of Shipping*),
5. Kecepatan dan arah angin ,
6. Koefisien bentuk.

Untuk menghitung luasan yang terkena angin, Jack up dibagi kedalam 5 luasan seperti yang terlihat dalam gambar 3.7.



Gambar 3.7. Luasan proyeksi yang terkena beban angin

Luasan proyeksi yang terkena beban angin dapat dilihat pada table 3.5 dan 3.6.

Table 3.5. Luasan proyeksi yang terkena beban angin untuk model analisa global

No	Luasan	Besarnya	Elevasi pusat luasan			koefisien bentuk
			x	y	z	
1	Area 1	175.5739	-5.334	0	46.935	0.5
2	Area 2	292.6232	-5.334	0	14.019	0.5
3	Area 3	175.5739	-5.334	50.954	46.935	0.5
4	Area 4	292.6232	-5.334	50.954	14.019	0.5
5	Area 5	709.0106	-6.833	25.477	33.22	1

Tabel 3.6. Luasan proyeksi yang terkena beban angin untuk model analisa local 1 kaki

No	Luasan	Besarnya	Elevasi pusat luasan			koefisien bentuk
			x	y	z	
1	Area 1	175.5739	-5.334	0	46.935	0.5
2	Area 2	292.6232	-5.334	0	14.019	0.5
3	Area 5	354.5053	-6.833	12.7385	33.22	1

BAB IV
ANALISA DAN PEMBAHASAN

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. ANALISA

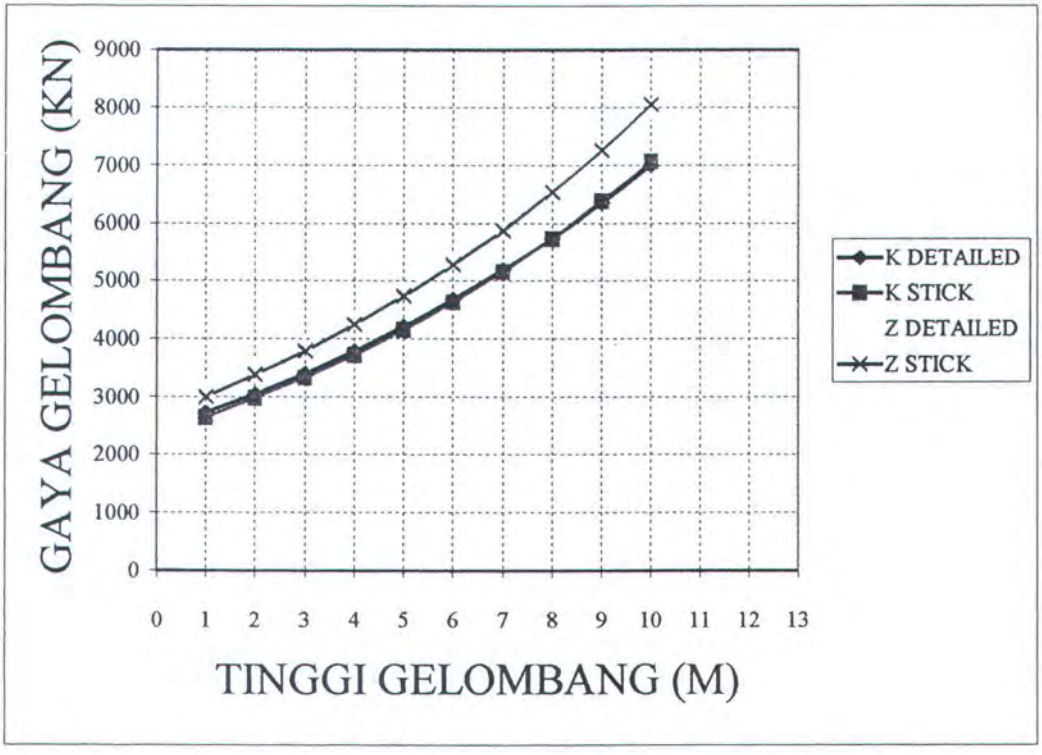
4.1.1. Perbandingan respons antara Stick Model dan Detailed Model

Sebelum *stick model* ekuivalen dianalisa secara global, *stick model* harus memiliki respons yang sama dengan *detailed model*. Kesamaan tersebut menyangkut *displacement* dan gaya-gaya reaksinya. *Stick model* dan *detailed model* yang dibandingkan adalah model 1 kaki (lihat gambar 3.2 untuk stick model dan gambar 3.4 untuk detailed model).

Agar respons antara *stick model* dan *detailed model* nilainya mendekati, maka gaya-gaya yang mengenai *stick model* dan *detailed model* harus sama disamping kekakuannya harus sama.

Untuk memperoleh kekakuan yang sama antara *stick model* dan *detailed model* dilakukan pembebanan sebesar 1000 ton pada *spudcan level* pada kedua model. Sehingga didapatkan *displacement* antara *stick model* dan *detailed model*. Dari *displacement* ini bisa diketahui kekakuannya. *Displacement* antara *stick model* dan *detailed model* ini, harus memiliki selisih yang tidak lebih dari 5% (DnV,1984). Untuk mendapatkan *displacement stick model* yang nilainya mendekati dengan *detailed model*, maka variabel peubah dari *stick model* adalah moment inersia ekuivalen.

Sedangkan gaya-gaya yang harus sama itu antara lain gaya gelombang dengan arus, gaya angin, beban deck maupun *selfweight*nya. Untuk gaya angin dan beban deck antara *stick model* dan *detailed model* disini sudah sama, yaitu untuk gaya angin sebesar 513,75 KN dan beban deck 1 kaki sebesar 29925.6 KN. *Selfweight* pada *detailed model* dibuat sama dengan *stick model* dengan cara mendistribusikan *net gravity load* 1 bay *detailed model* sebagai *joint load* pada *stick model* tiap *bay*, sehingga bisa didapatkan total *gravity load* yang sama antara *stick model* dan *detailed model* yaitu sebesar 13863.14 KN untuk K *bracing system* dan 21530.280 KN untuk Z *bracing system*. Sedangkan untuk mencari beban gelombang yang sama antara *stick model* dan *detailed model*, disini menggunakan acuan Detnorske Veritas dimana untuk mencari beban gelombang yang ekuivalen harus mencari diameter ekuivalen dan CD ekuivalen terlebih dahulu (lihat pada Bab 2.2.4.1). Diameter ekuivalen dicari dengan asumsi bahwa gaya Froude Krylov yang mengenai struktur adalah sama. Sedangkan untuk CD ekuivalen dengan mengasumsikan gaya Drag yang mengenai struktur adalah sama. Sehingga didapatkan Diameter ekuivalen dan CD ekuivalen seperti pada table 3.2. Untuk memastikan apakah gaya gelombang yang mengenai struktur antara *stick model* dan *detailed model* adalah sama, maka bisa dilihat pada gambar 4.1 yang dinyatakan dalam grafik antara tinggi gelombang dan gaya gelombang yang terjadi.



Gambar 4.1. Grafik beban gelombang

Dari gambar 4.1 diatas terlihat bahwa gaya gelombang antara *stick model* dan *detailed model* prosentase selisih rata-rata untuk K *bracing system* sebesar 1,037 % sedang untuk Z *bracing system* sebesar 1,494% dan ini di bawah batas yang diijinkan Detnorske Veritas yaitu sebesar 5%.

Gaya gelombang pada struktur tipe Z terlihat lebih besar dibanding dengan gaya gelombang pada struktur tipe K. Ini disebabkan luas penampang struktur yang tertimpa beban gelombang dari struktur dengan tipe *bracing* Z lebih besar daripada luas penampang struktur tipe *bracing* K, dan ini sangat mempengaruhi gaya hidrodinamis.

Grafik antara beban gelombang dan tinggi gelombang baik struktur dengan *bracing* K maupun Z seperti yang

terlihat pada gambar 4.1 memiliki kecenderungan kemiringan pertumbuhan yang sama akibat bertambahnya tinggi gelombang.

Untuk mempermudah dalam perbandingan respons struktur, maka respon struktur yang berupa gaya reaksi, moment reaksi dan displasmen disusun dalam grafik respon struktur *versus* harga indeks lingkungan. Indeks lingkungan merupakan perbandingan antara beban gelombang dengan kuadrat kedalaman perairan. Besarnya indeks lingkungan ini diambil dari gaya gelombang yang mengenai struktur dengan tipe K dibagi dengan kuadrat kedalaman dengan nilai seperti yang tercantum pada table 4.1.

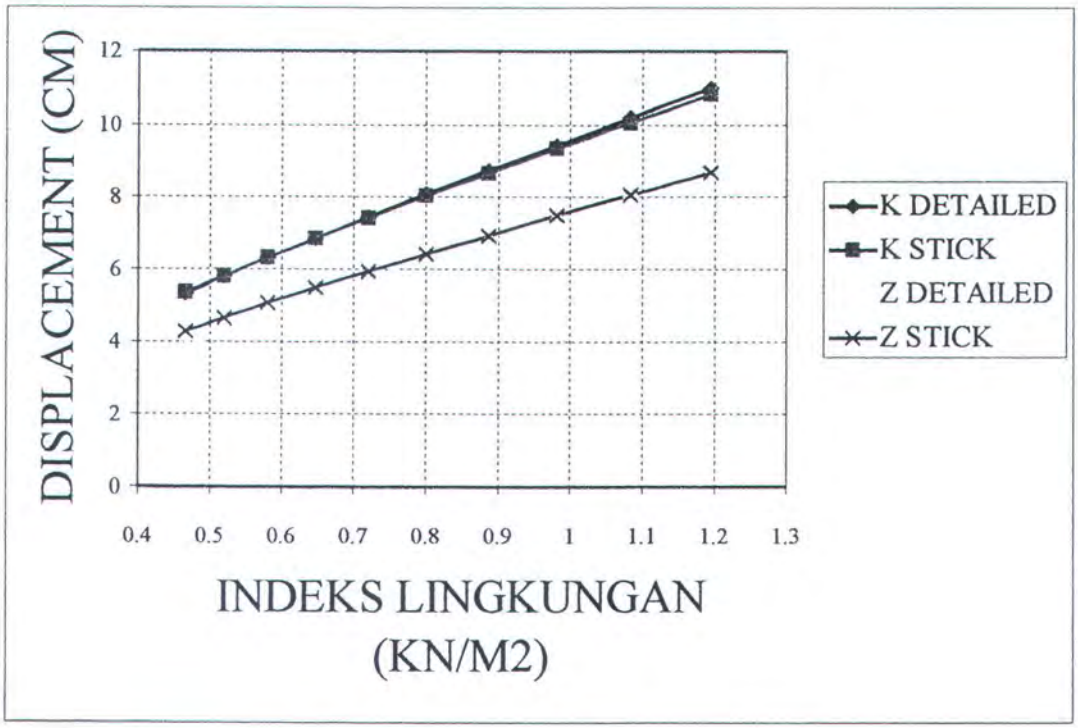
Table 4.1. Besarnya indeks lingkungan

TINGGI GEL. (M)	GAYA GEL. (KN)	INDEKS LING.
1	2725.59	0.4657337
2	3040.26	0.5195028
3	3396.25	0.5803324
4	3786.41	0.6470007
5	4213.6	0.7199966
6	4679.97	0.7996873
7	5188.47	0.886577
8	5741.27	0.9810364
9	6341.6	1.0836174
10	6992.46	1.1948328

4.1.1.1. Displacement

Untuk membandingan *displacement* yang terjadi pada struktur, ditinjau pada *displacement* arah translasi X, Y, dan Z yang paling maksimum pada joint.

Sesuai dengan standar Detnorske Veritas, besarnya perbedaan *displacement* antara *stick model* dan *detailed model* yang diijinkan tidak boleh lebih dari 5%.



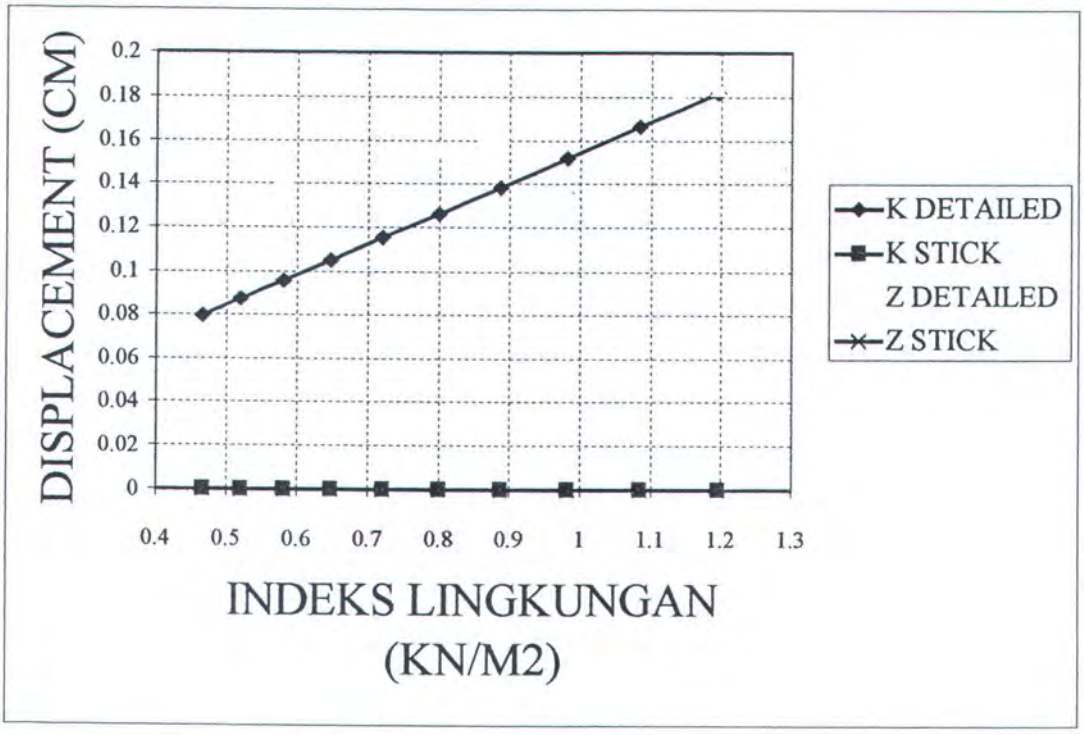
Gambar 4.2. Grafik *displacement* arah X

Displacement arah X antara *stick model* dan *detailed model* memiliki prosentase perbedaan rata-rata untuk K *bracing system* sebesar 0.59%, sedang untuk Z *bracing system* sebesar 2,83%. Harga-harga tersebut dibawah harga yang diijinkan oleh DnV. Ini membuktikan bahwa antara *detailed model* dan *stick model* sudah memiliki kekakuan yang sama.

Displacement arah X untuk struktur dengan K *bracing system*, memiliki *displacement* yang lebih besar dari Z *bracing system* (gambar 4.2), ini disebabkan struktur dengan

bracing Z memiliki kekakuan yang lebih besar dari struktur dengan *bracing* K. Disamping itu gaya yang mengenai struktur dengan *bracing* Z, khususnya gaya gelombang nilainya lebih besar dari struktur dengan *bracing* K (gambar 4.1).

Grafik dari gambar 4.2 menunjukkan kemiringan pertumbuhan *displacement* arah X terhadap kenaikan indeks lingkungan, struktur dengan *bracing* K memiliki kemiringan yang lebih besar dari struktur dengan *bracing* Z, untuk struktur dengan *bracing* K sebesar 17,35°, sedang struktur dengan *bracing* Z sebesar 15,15°. Ini menunjukkan bahwa *displacement* arah X untuk struktur dengan bracing K memiliki sensitifitas yang lebih tinggi daripada struktur dengan *bracing* Z terhadap beban gelombang.

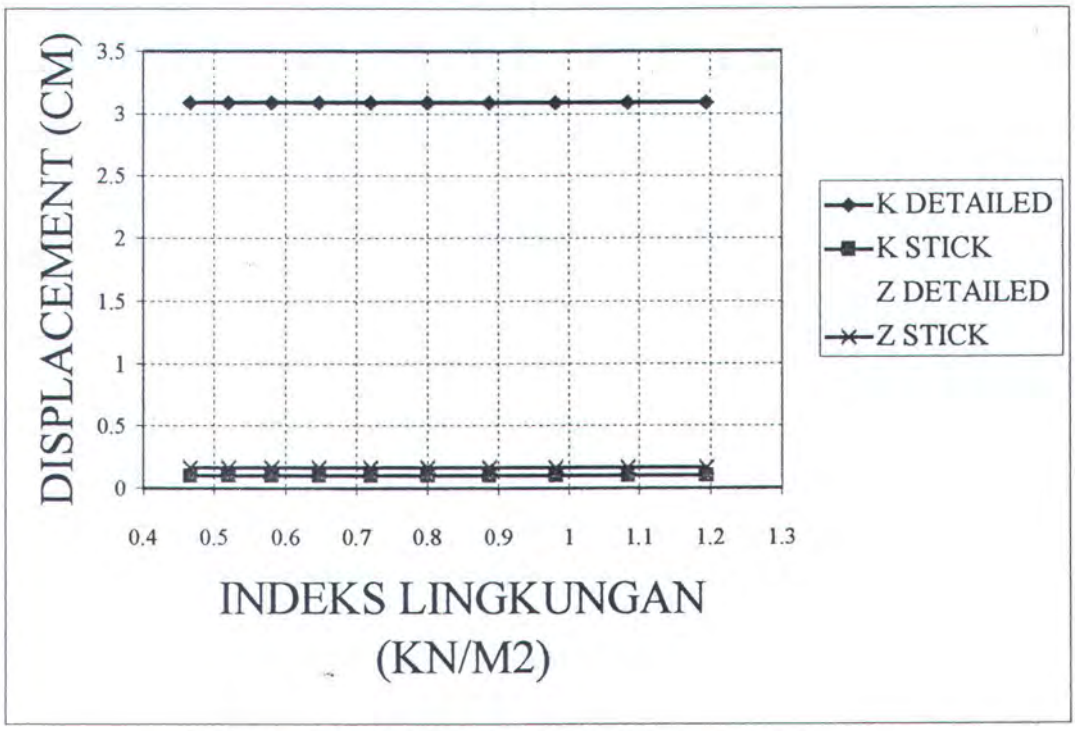


Gambar 4.3. Grafik *displacement* arah Y

Grafik *displacement* arah Y seperti yang terlihat pada gambar 4.3, untuk *stick model* dan *detailed model* memiliki prosentase perbedaan yang besar, yang melebihi batas yang diijinkan oleh DnV. Ini disebabkan pada *detailed model* orientasi bracing menimbulkan gaya gelombang kearah Y, disamping itu dengan adanya *bracing* gaya-gaya yang mengenai struktur sebagian akan didistribusikan kearah Y. Sedang untuk stick model yang tidak memiliki bracing, displacement kearah Y sama dengan nol.

Kecenderungan kemiringan kurva pertumbuhan *displacement* kearah Y akibat bertambahnya indeks lingkungan struktur dengan *detailed model* tipe *bracing* K lebih besar dibanding dengan struktur tipe *bracing* Z. Untuk struktur tipe bracing K kemiringannya sebesar 18,97°, sedang untuk tipe *bracing* Z memiliki kemiringan kurva sebesar 9,46°.

Tetapi karena *displacement* arah Y pada *detailed model* besarnya mendekati nol, untuk analisa global biasanya ini bisa diabaikan.



Gambar 4.4. Grafik displacement arah Z

Grafik *displacement* arah Z seperti yang terlihat pada gambar 4.4. menunjukkan bahwa antara *stick model* dan *detailed model* memiliki prosentase perbedaan rata-rata Untuk struktur dengan *bracing* K, prosentase perbedaan rata-ratanya sebesar 96,82%, sedangkan untuk struktur dengan *bracing* Z, prosentase perbedaan rata-ratanya sebesar 94,97%. Prosentase ini lebih besar dengan prosentase perbedaan yang diijinkan oleh DnV.

Displacement arah Z antara struktur dengan bracing K dan Z memilki nilai yang cenderung konstan seiring dengan kenaikkan indeks lingkungan. Ini membuktikan bahwa *displacement* arah Z tidak begitu dipengaruhi oleh beban gelombang.

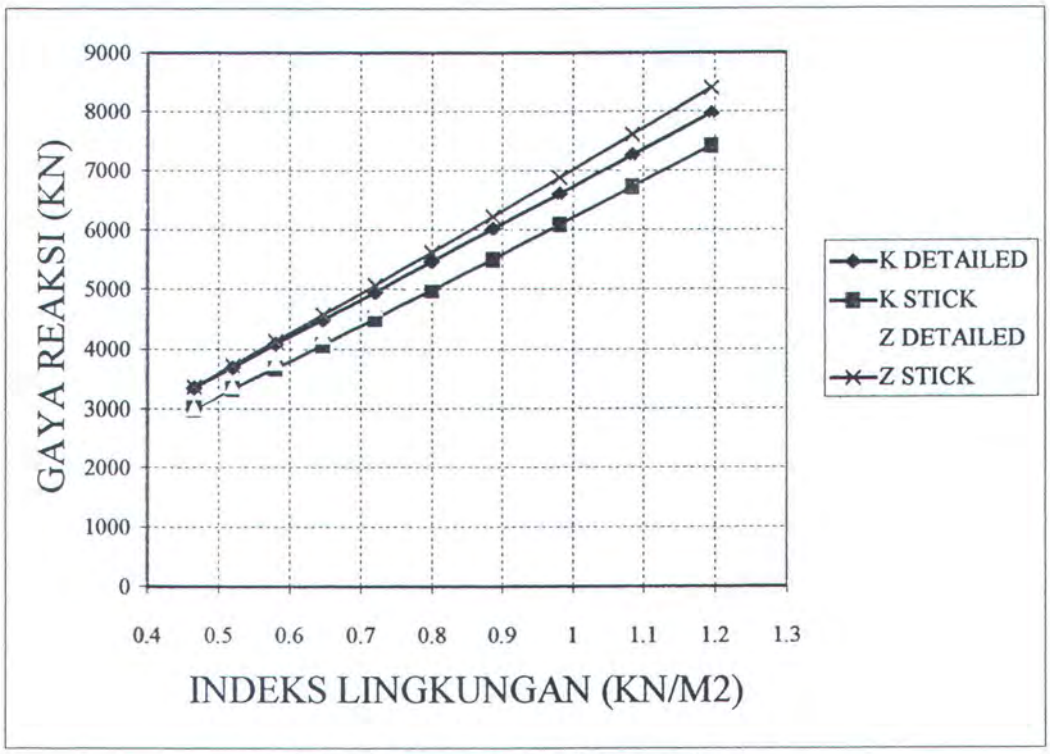
Dari gambar 4.2 sampai dengan 4.4 terlihat bahwa hanya *displacement* arah X saja yang memiliki nilai prosentase perbedaan rata-rata dibawah nilai prosentase yang diijinkan DnV. Ini dikarenakan beban lingkungan yang mengenai struktur adalah searah sumbu X. sehingga didalam analisa global, *displacement* arah Y dan Z diabaikan.

4.1.1.2. Gaya Reaksi

Untuk mengetahui apakah gaya reaksi yang terjadi pada support antara *stick model* dan *detailed model* memiliki selisih yang kecil, disini akan ditinjau grafik antara gaya reaksi arah X, Y, dan Z *versus* indeks lingkungan. Dimana gaya reaksi *support* yang terjadi pada hubungan antara deck dan kaki untuk *detailed model* merupakan penjumlahan empat gaya reaksi pada level tersebut.

Gaya reaksi arah X dan Y ditinjau pada level hubungan antara deck dan kaki, sedangkan gaya reaksi arah Z ditinjau pada level *spud can*.

Perbedaan prosentase yang diijinkan oleh DnV untuk gaya reaksi antara *stick model* dan *detailed model* sebesar 15%.

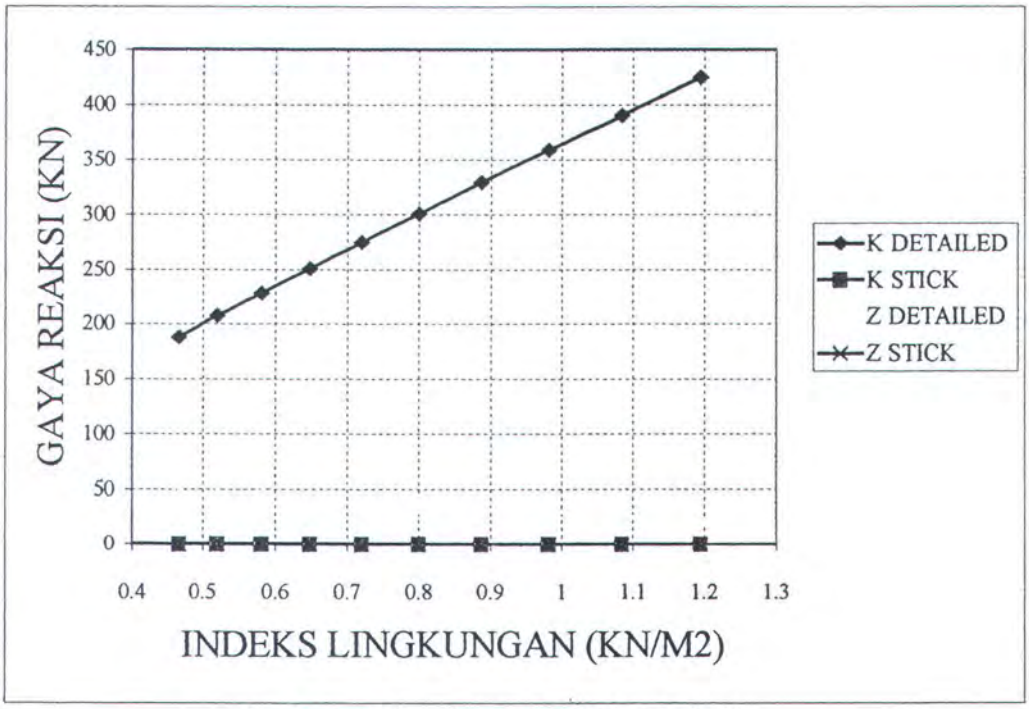


Gambar 4.5. Gaya reaksi arah X

Gaya reaksi arah X antara *stick model* dan *detailed model* yang terlihat pada gambar 4.5 memiliki prosentase perbedaan rata-rata yang kecil. Struktur dengan K *bracing*, prosentase perbedaan rata-ratanya sebesar 8,88% sedangkan untuk struktur dengan *bracing* Z sebesar 7,89%. Harga-harga ini masih dibawah harga yang diijinkan oleh DnV. Ini dapat diartikan bahwa gaya arah X yang mengenai struktur juga memiliki selisih yang tidak terlalu signifikan.

Gaya reaksi arah X ini cenderung mengalami kenaikkan seiring dengan kenaikan indeks lingkungan. Ini membuktikan bahwa indeks lingkungan memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap gaya reaksi arah X.

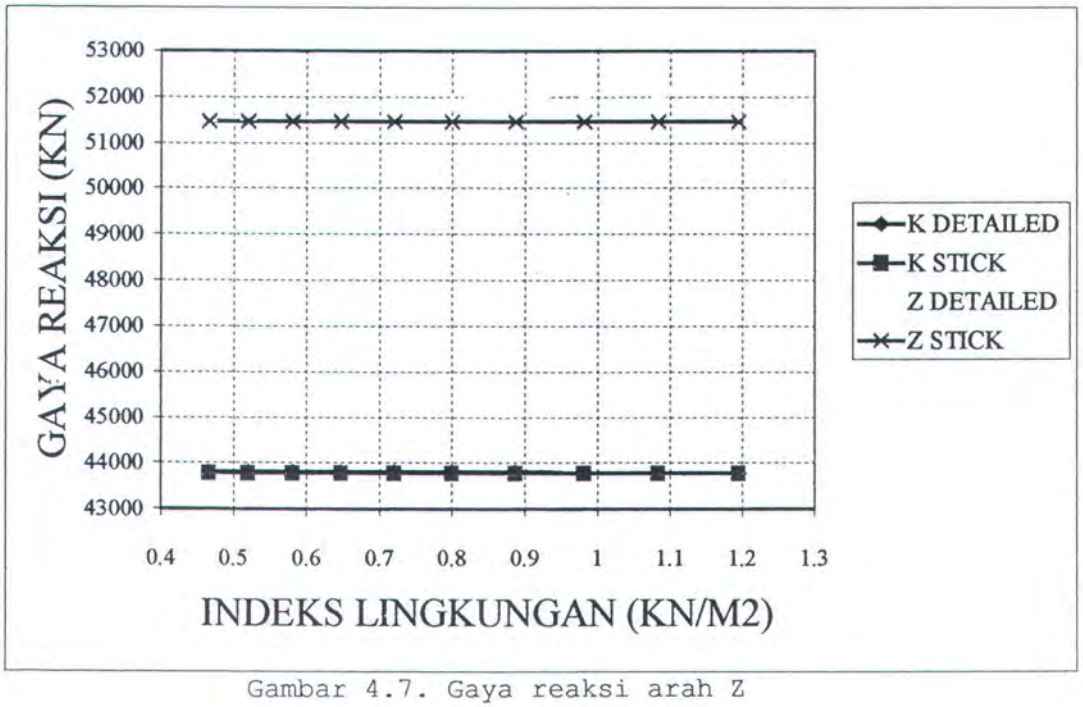
Struktur dengan *bracing* Z memiliki gaya reaksi arah X yang lebih besar dibanding dengan gaya reaksi arah X pada struktur dengan *bracing* K. Ini disebabkan beban gelombang yang mengenai struktur dengan *bracing* Z memiliki nilai yang lebih besar dari struktur dengan *bracing* Z.



Gambar 4.6. Gaya reaksi arah Y

Gaya reaksi arah Y untuk *stick model* dan *detailed model* (gambar 4.5) memilki perbedaan yang sangat besar. Ini disebabkan pada *detailed model* memiliki orientasi *bracing* yang menyebabkan gaya gelombang kearah Y, disamping itu dengan adanya *bracing*, gaya-gaya yang bekerja pada struktur sebagian akan didistribusikan kearah Y, sedangkan untuk *stick model* tidak memiliki *bracing*, sehingga gaya reaksi kearah Y sama dengan nol.

Jika dilihat dari besarnya gaya reaksi, maka gya reaksi arah Y untuk struktur dengan bracing K memiliki nilai yang lebih besar dari struktur dengan tipe *bracing* Z. Hal ini disebabkan orientasi gaya kearah Y pada struktur dengan tipe *bracing* K lebih besar dibanding struktur dengan *bracing* Z. Untuk kemiringan kurva pada struktur dengan *bracing* K memilki nilai yang lebih tinggi dibanding struktur dengan *bracing* Z. struktur dengan *bracing* K memiliki kemiringan sebesar 15.33° sedang untuk Z *bracing* 0,03°. Ini menunjukkan bahwa struktur dengan tipe *bracing* K memilki sensitifitas yang lebih tinggi dibanding struktur dengan tipe *bracing* Z. dan beban gelombang terhadap gaya reaksi arah Z pengaruhnya sangat kecil sekali.



Gambar 4.7. Gaya reaksi arah Z

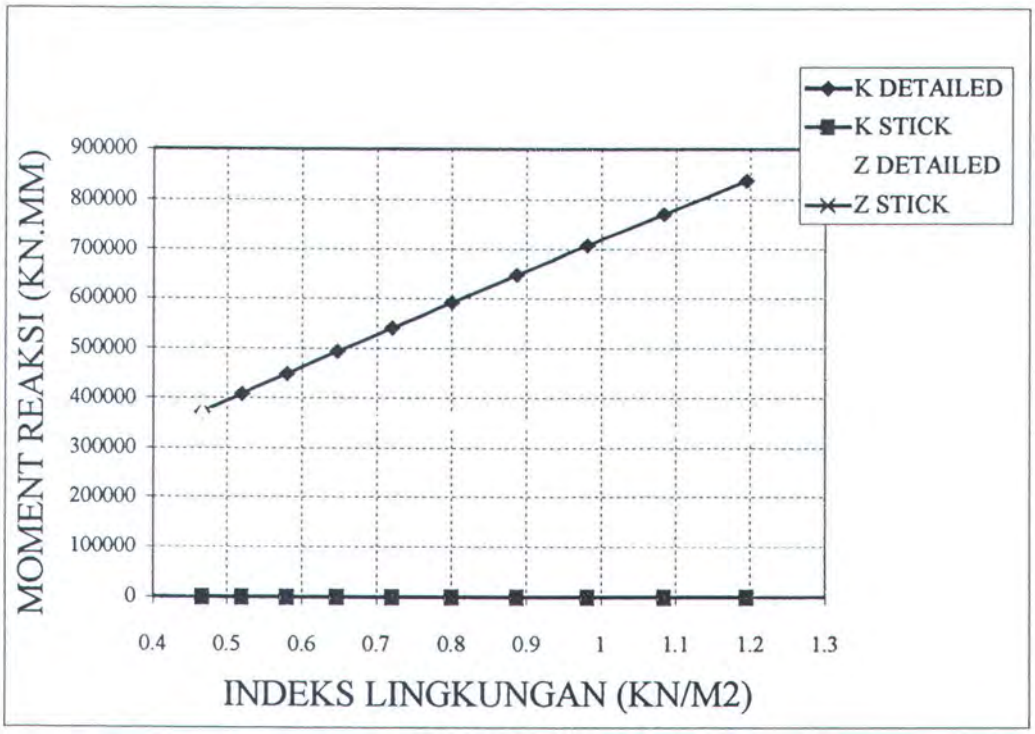
Gaya reaksi arah Z untuk *stick model* dan *detailed model* memiliki selisih perbedaan yang kecil yaitu untuk struktur dengan tipe bracing K prosentase perbedaan rata-ratanya sebesar 0,01% sedangkan untuk struktur dengan tipe *bracing* Z sebesar 0,83%. Hal ini jauh dibawah harga yang diijinkan oleh DnV.

Gari gambar 4.6 terlihat bahwa gaya reaksi arah Z untuk struktur dengan tipe bracing Z memiliki nilai yang lebih besar disbanding dengan struktur dengan tipe bracing K. hal ini disebabkan oleh besarnya *selfweight* dari struktur dengan tipe bracing Z lebih tinggi disbanding struktur dengan tipe bracing K.

Pertumbuhan gaya reaksi Z yang konstan terhadap kenaikkan indeks lingkungan menunjukkan bahwa gaya gelombang pengaruhnya terhadap gaya reaksi arah Z sangat kecil sekali. Grafik gaya reaksi yang terlihat diatas menunjukkan bahwa gaya reaksi arah X dan Z memiliki nilai yang ekuivalen antara *stick model* dan *detailed model*. Sedangkan arah Y tidak begitu mendekati nilainya. Ini dikarenakan gaya yang datang atau gaya eksitasi yang mengenai struktur searah sumbu X dan Z. dimana yang searah sumbu X adalah beban lingkungan dan yang searah sumbu Z adalah beban deck dan *selfweight*.

4.1.1.2. Moment Reaksi

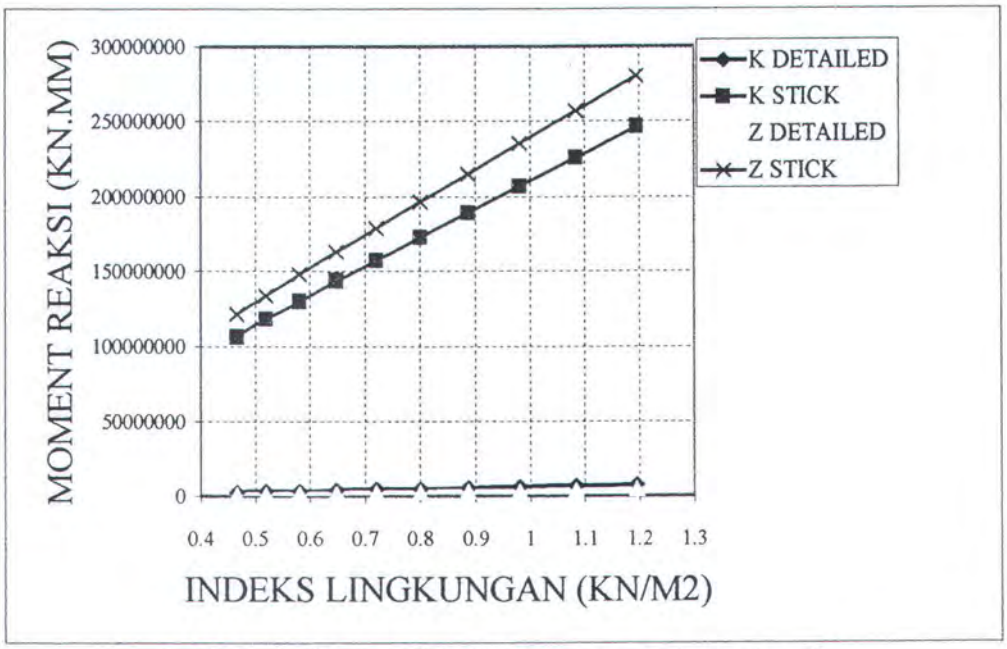
Untuk membedakan moment reaksi antara *stick model* dan *detailed model*, disini akan ditinjau grafik moment reaksi sumbu X, Y dan Z versus indeks lingkungan. Moment reaksi yang ditinjau adalah moment reaksi pada *support*.



Gambar 4.8. Grafik Moment reaksi sumbu X

Moment reaksi sumbu X antara *stick model* dan *detailed* memiliki prosentase perbedaan yang signifikan. Karena pada *stick model* moment reaksi sumbu X sama dengan nol, hal ini diakibatkan gaya yang searah sumbu Y yang mempengaruhi besarnya moment reaksi sumbu X sama dengan nol. Sedangkan pada *detailed model* gaya yang searah sumbu Y tidak sama dengan nol.

Dari gambar 4.7 terlihat bahwa sudut kemiringan pertumbuhan Moment reaksi sumbu X terhadap kenaikan indeks lingkungan struktur dengan tipe K nilainya lebih tinggi dibanding dengan struktur dengan tipe Z. Sudut kemiringan kurva untuk struktur dengan tipe *bracing* K sebesar 18,12°, sedangkan struktur dengan tipe *bracing* Z sebesar 0,003°. Hal ini menunjukkan bahwa struktur dengan tipe K lebih sensitive dari struktur tipe *bracing* Z. Sedangkan untuk struktur dengan tipe *bracing* Z kenaikkanya tidak terlalu signifikan atau cenderung konstan. Kesensitifan struktur dengan tipe *bracing* K ini juga bias dilihat pada grafik dimana pada indeks lingkungan awal besarnya moment reaksi antara tipe bracing K dan Z adalah hampir sama dan kemudian setelah pada indeks lingkungan yang terakhir tipe *bracing* K cenderung naik nilai moment reaksi X-nya.

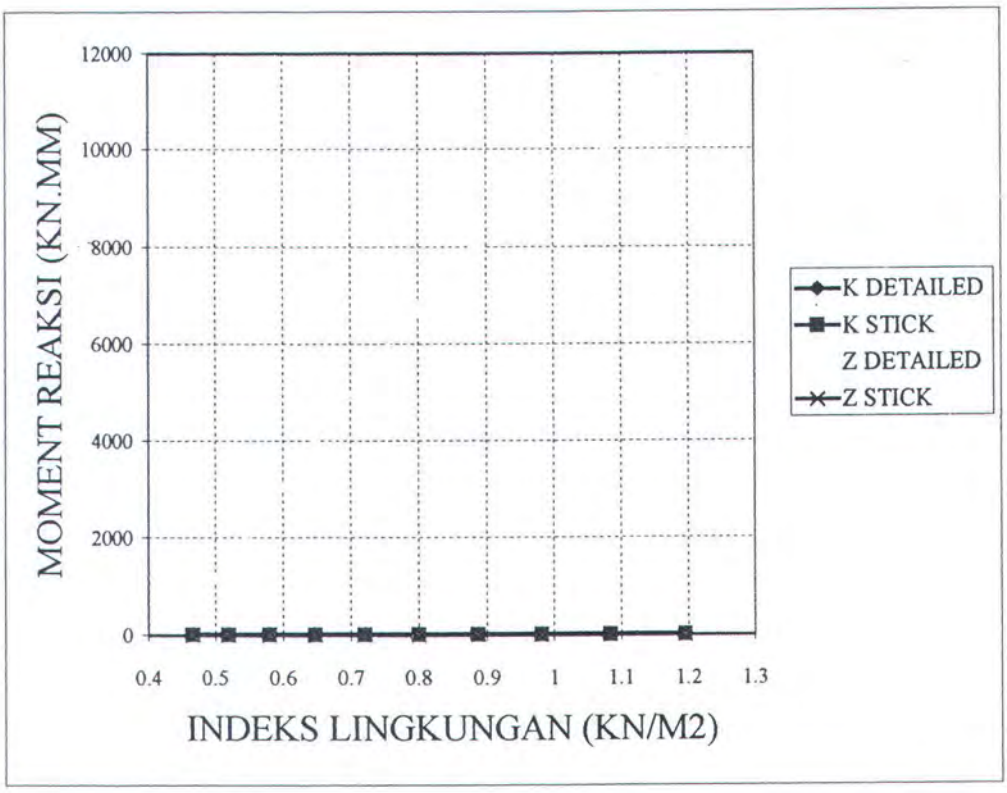


Gambar 4.9. Grafik Moment reaksi sumbu Y

Moment reaksi sumbu Y antara *stick model* dan *detailed model* meskipun gaya arah X yang mengenai struktur sama tetapi Moment reaksi sumbu Y berbeda. Hal ini menyangkut adanya titik berat dari gaya-gaya yang bekerja, khususnya beban lingkungan. Titik berat dari beban lingkungan antara *stick model* dan *detailed model* memiliki perbedaan baik X, Y maupun titik Z. sehingga lengan daripada moment reaksinya juga berbeda.

Moment reaksi sumbu Y dari detailed model struktur dengan tipe *bracing* Z lebih besar disbanding pada struktur dengan tipe *bracing* K. hal ini dikareanakan besarnya gaya yang searah dengan sumbu X yang mempengaruhi moment reaksi sumbu Y nilainya lebih besar struktur dengan tipe *bracing* Z daripada K.

Sedangkan untuk kemiringan kurva pertumbuhan Moment reaksi arah Y, sudutnya mendekati samaantara struktur dengan tipe *bracing* Z dan *bracing* K yaitu sebesar 79,11°. hal ini dapat diartikan bahwa struktur dengan tipe bracing K dan Z memiliki sensitifitas yang sama terhadap beban gelombang.



Gambar 4.10. Grafik moment reaksi sumbu Z

Moment reaksi sumbu Z merupakan moment puntir yang terjadi pada struktur kaki jack up. Pada *stick model* nilai moment puntirnya sama dengan nol, sedangkan nilai moment puntir pada detailed model tidak sama dengan nol. Hal ini bisa dilihat pada gambar 4.8. Hal ini dimungkinkan karena *detailed model* merupakan model 3 dimensi dari struktur kaki *jack up*, dimana gaya-gaya yang bekerja akan mengakibatkan moment baik pada sumbu X, Y maupun Z meskipun gaya-gaya tersebut hanya dalam satu arah saja. Tetapi *stick model* merupakan model 2 dimensi berupa struktur kaki *jack up*

MILIK PERPUSTAKAAN ITS

berupa 1 batang saja, sehingga moment yang terjadi hanya satu arah saja sesuai dengan gaya yang bekerja.

Dari gambar 4.8 terlihat jelas bahwa kemiringan kurva pada detailed model tipe *bracing* Z lebih besar daripada tipe *bracing* K. Hal ini menunjukkan bahwa Moment puntir Z pada detailed model struktur tipe Z, memiliki sensitifitas yang lebih besar dari tipe *bracing* K terhadap beban gelombang.

Dari ketiga moment X, Y maupun Z, ternyata selisihnya begitu besar antara *stick model* dan *detailed model*.

4.1.2. Respons dari deatiled analysis dan global analysis

Setelah kekakuan dan gaya-gaya yang mengenai *stick model* mendekati dengan detailed model, maka *stick model* tersebut bisa digunakan untuk analisa global struktur, dimana dia dianalisa dengan model 3 kaki (lihat gambar 3.3) , sehingga bisa diketahui respons global dari struktur *jack up* yang ditinjau, baik stabilitas maupun displacement horisontal geladak.

Sedangkan untuk menganalisa tegangan yang terjadi pada struktur, disini menggunakan *detailed model* yang terdiri dari satu kaki (lihat gambar 3.4 dan 3.5).

4.1.2.1. Analisa *detailed model* 1 kaki

Dari *detailed model* satu kaki kita akan mendapatkan *output* seperti yang terlihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil perhitungan dari *detailed model* jack up satu kaki

NO	URAIAN	DETAILE K	DETAILE Z	SATUAN
1	Force (Fx)	-2298.6	-19411.21	KN
2	Bending Moment (My)	-26446.2	-173399.2	KN.MM
3	Bending Moment (Mz)	-2026.8	1229816	KN.MM
4	Shear Force (Fy)	-1.23	290.79	KN
5	Shear Force (Fz)	-7.05	-56.73	KN
6	Torsion (Mx)	1538.9	16081.2	KN.MM
7	Aksial Stress	-76.07	-80.72	N/MM2
8	Bending Stress Y	13.23	5.14	N/MM2
9	Bending Stress Z	-1.01	36.46	N/MM2
10	Combine Stress	-89.34	-117.54	N/MM2
11	Shear Stress	0.86	2.7	N/MM2
12	Rasio interaksi	0.801	0.823	

Data diatas diambil dari member yang paling kritis dimana dia memiliki rasio interaksi tertinggi. Untuk struktur tipe K, rasio interaksi terbesar terletak pada member 86 - 217 bracing diagonal yang terletak pada daerah *jacking system*. Sedangkan untuk tipe Z, rasio interaksi terbesar terletak pada member 93 - 98 chord yang juga terletak pada daerah *jacking sistem*.

Dari table 4.2 diatas terlihat bahwa gaya-gaya yang terhitung pada member terbesar adalah pada *detailed model* tipe Z, sehingga hal ini mengakibatkan *stress* yang terjadi pada member tersebut lebih besar. Akibat stress yang terjadi lebih besar maka rasio interaksi juga akan menjadi lebih besar.

Sehingga jika dilihat dari rasio interaksi yang terjadi antara struktur tipe K dan Z dengan ukuran Kl/r dan D/t yang

sama maka struktur dengan tipe bracing K lebih baik dari struktur dengan tipe bracing Z.

4.1.2.2. Analisa global 3 kaki

Didalam *global analysis*, struktur *jack up* dimodelkan stick 3 kaki. Dengan menggunakan data masukkan pada table 4.3, rumus-rumus yang ada (lihat pada Bab II) dan hasil analisa STRUCAD*3D, maka didapatkan hasil perhitungan pada table 4.4:

Tabel 4.3. Data masukkan untuk analisa global struktur jack up 3 kaki

No.	URAIAN	GLOBAL K	GLOBAL Z	SATUAN
1	Massa effektif (Me)	13863.14	21530.28	KN
2	Modullus Young (E)	2.10E+08	2.10E+08	KN/m2
3	Momen Inersia kaki	48.418333	48.418333	m4
4	Panjang Kaki (L)	120.692	120.692	m
5	Periode gelombang (To)	10.4	10.4	det
6	Berat fungsional (G)	89778	89778	KN
7	jarak antara titik berat ke sb putar (b)	14.7066	14.7066	m
8	jumlah kaki (n)	3	3	

Tabel 4.4. Hasil perhitungan analisa global struktur jack up 3 kaki

No.	URAIAN	GLOBAL K	GLOBAL Z	SATUAN
1	Beban aksial terkecil (Pi)	31659	32617	KN
2	Over Turning Moment (OTM)	740230.8	848939.1	KN.M
3	Beban aksial kaki (P)	43789.12	51456.16	KN
4	beban kritis euler (Pe)	1720566.5	1720566.5	KN
5	kekakuan sil. Krn bend. K	17350.617	17350.617	KN/m
6	Kekakuan efektif kaki (Ke)	16831.721	16909.037	KN/m
7	Periode natural (Tn)	5.6863162	7.1026469	det
8	DAF	1.4202209	1.8523986	
9	eksentrisitas tumpuan (eo)	0.362076	0.362076	
10	Mso	1320329.1	1320329.1	KN.m
11	Moment Pengembali (Ms)	1262278.5	1260541.6	
12	safety faktor	1.7052499	1.4848434	>>1.3
13	Perpindahan geladak horisontal	46.09	37.01	cm
14	Gaya reaksi arah X	-5076.511	-5788.165	KN
15	Gaya reaksi arah Y	0	0	KN
16	Gaya reaksi arah Z	43789.12	51456.16	KN
17	Momen reaksi sumbu X	0	0	KN.MM
18	Momen reaksi sumbu Y	-248865895	-2.83E+08	KN.MM
19	Momen reaksi sumbu Z	0	0	KN.MM

Gaya reaksi arah X (horizontal) terbesar pada model tipe Z. Hal ini akan berpengaruh pada tegangan geser yang terjadi

pada tanah (pondasi). Sedangkan gaya reaksi vertical terbesar juga terjadi pada model tipe Z.

Moment bending maksimal terjadi pada model tipe Z, dimana dia terjadi pada sambungan antara kaki dengan geladak. Momen bending ini akan mempengaruhi tegangan yang terjadi pada detailed model di daerah *jacking system*.

Pada kondisi lingkungan, ukuran Kl/r dan D/t yang sama ternyata perpindahan horizontal geladak struktur dengan *bracing* K lebih besar dibandingkan dengan struktur dengan bracing Z. Hal ini disebabkan kekakuan dari struktur tipe Z lebih besar dibandingkan tipe K.

Safety factor yang telah dihitung berhubungan dengan stabilitas Jack Up, dimana semakin besar *safety factor* maka stabilitas struktur terhadap momen guling semakin besar pula. Factor keamanan terjelek terdapat pada struktur dengan bracing tipe Z, ini dikarenakan momen pengembali dari struktur tipe lebih kecil dari struktur tipe K.

Begitu juga dengan *Dynamic Amplification factor*, dimana hal ini sangat berpengaruh terhadap perilaku dinamis suatu struktur. Semakin besar nilai DAF maka respons dinamis dari struktur juga akan semakin besar.

Dari table 4.4 DAF terbesar pada struktur dengan bracing Z, dapat disimpulkan bahwa respons dinamis struktur *jack up* yang terbaik pada struktur bracing tipe K. DAF ini dipengaruhi oleh besarnya periode natural struktur dimana

struktur dengan bracing tipe K memiliki periode natural yang lebih kecil dari struktur dengan tipe bracing Z.

4.2. PEMBAHASAN

Dari analisa yang telah dilakukan bahwa didalam pembuatan *stick model* yang ekuivalen dengan *detailed model* diperlukan properti ekuivalen, antara lain momen inersia ekuivalen (I_{eq}), luas penampang ekuivalen (A_{eq}), diameter ekuivalen (D_{eq}), koefisien drag ekuivalen (CD_{eq}), koefisien inersia ekuivalen (CM_{eq}), dan massa tiap *bay*. Untuk mendapatkan properti ekuivalen ini, tentunya dibutuhkan waktu yang tidak sebentar. Misalnya saja untuk mendapatkan kekakuan yang sama antara *stick model* dengan *detailed model*, harus dilakukan analisa secara berulang-ulang sehingga didapatkan *displacement* yang sama.

Dari analisa diatas juga didapatkan bahwa varibel analisa untuk *stick model* berupa gaya reaksi arah horisontal dan vertikal, displacement arah horisontal serta hasil analisa global struktur yang berupa perpindahan horisontal geladak, *Dynamic Aplification Factor*, serta stabilitas *jack up* akibat beban lingkungan pada saat fase operasi. Sedangkan variabel analisa yang berupa tegangan tidak ditinjau, karena member pada *stick model* berupa member fiktif, dimana pada kenyataannya model kaki *jack up* tipe *truss* terdiri dari *chords* dan *bracing system*. Untuk itu variabel analisa yang

berupa tegangan hanya bisa dilihat pada *output detailed model*.

Didalam pembuatan detailed model, properti fisik dari kaki jack up yang terdiri dari *chord* dan *bracing system* dimodelkan secara langsung sesuai dengan ukuran yang ada. Pemodelan detail ini hanya dilakukan untuk satu kaki saja, sedangkan untuk tiga kaki software STRUCAD*3D belum mampu menganalisanya, karena detailed model terdiri dari banyak elemen.

Seiring dengan perkembangan *software* analisa struktur khususnya *software* analisa struktur bangunan lepas pantai yang semakin canggih, banyaknya element pada struktur kaki *jack up* sudah tidak menjadi suatu masalah. Sehingga struktur *jack up* bisa dimodelkan detail 3 kaki.

Pada detailed model kita bisa melihat variabel analisa yang berupa tegangan, rasio interaksi, gaya reaksi arah X, Y, Z, *displacement* arah X, Y, Z, serta moment reaksi.

Dari proses pembuatan model dan variabel analisa respons struktur yang bisa dilihat antara *stick model* dan *detailed model*, maka dapat disimpulkan bahwa cara pemodelan yang paling efektif adalah menggunakan *detailed model*.

Untuk perbedaan respon struktur kaki *jack-up* tipe truss 4 *chord* K dan Z *bracing system* akibat pembebanan luar disini digunakan parameter kekuatan untuk *detailed model* sedangkan untuk *stick model* menggunakan parameter analisa global struktur yang berupa stabilitas jack up akibat adanya

beban lingkungan, dimana parameter kekuatan yang dimaksud adalah tegangan yang direalisasikan kedalam rasio interaksi, sedangkan parameter stabilitas jack up bisa dilihat dari faktor keamanan akibat moment overturning dari beban lingkungan. Kedua parameter ini harus dipertimbangkan, khususnya analisa pada fase operasional (Murdjito,1997).

Untuk bracing K memiliki rasio interaksi sebesar 0,801 sedangkan bracing Z memiliki rasio interaksi 0,823.

Untuk parameter stabilitas, jack up dengan bracing K memiliki faktor keamanan sebesar 1,705 sedangkan bracing Z memiliki faktor keamanan 1,484. Ini menunjukkan bahwa struktur *jack up* dengan *bracing* K memiliki stabilitas yang lebih bagus daripada tipe *bracing* Z pada saat kondisi operasional.

Dari sini bisa dilihat bahwa struktur kaki jack antara *bracing* K dan Z dengan Kl/r dan D/t yang sama, untuk perancangan yang lebih lanjut maka struktur jack up dengan bracing K lebih baik daripada struktur jack up dengan bracing Z.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Hasil analisa dan pembahasan perilaku struktur *jack up* tipe *truss* 4 *chord* K dan Z *bracing system* antara *stick model* dan *detailed model*, dapat memberikan kesimpulan sebagai berikut:

1. *Stick model* untuk kaki *jack up* tipe *truss* 4 *chords* dengan K *bracing system* yang *ekuivalen* dengan *detailed model* adalah *stick model* dengan:
   a. Momen inersia ekuivalen = 0.067851 m^4
   b. Luas penampang ekuivalen = 0.044384 m^2
   c. Diameter ekuivalen = 2.186562 m
   d. D/t = 0.654953
   e. Koefisien drag ekuivalen = 6.309
   f. koefisien inersia ekuivalen = 2.0
   g. Massa tiap *bay* = 89,709 Ton
2. *Stick model* untuk kaki jack up tipe truss 4 *chords* dengan Z *bracing system* yang ekuivalen dengan *detailed model* adalah *stick model* dengan:
   a. Momen inersia ekuivalen = 0.0934835 m^4
   b. Luas penampang ekuivalen = 0.05248 m^2
   c. Diameter ekuivalen = 3.080574 m
   d. D/t = 1.87554

e. Koefisien drag ekuivalen = 5.075

f. Koefisien inersia ekuivalen = 2.0

g. Massa tiap *bay* = 57,763 Ton

3. Variabel analisa yang berupa perilaku struktur kaki *jack up*:

   a. Dari *stick model* berupa:

      1. *Displacement* yang searah dengan arah beban lingkungan dalam hal ini adalah searah sumbu X.
      2. Gaya reaksi yang searah dengan beban vertikal dan beban lingkungan dalam hal ini gaya reaksi translasi arah X dan Z.
      3. Respons struktur dari analisa global, dalam hal ini adalah Gaya reaksi kaki, momen bending maksimal, kekakuan effektif kaki (Ke), periode natural (Tn), perpindahan horizontal geladak dan DAF.

   b. Dari *detailed model* berupa:

      1. Gaya reaksi X, Y, dan Z,
      2. Moment reaksi X, Y, dan Z,
      3. *Displacement* arah X, Y dan Z,
      4. Tegangan-tegangan yang terjadi pada member sehingga didapatkan rasio interaksi.

4. Bentuk konfigurasi *bracing* yang memiliki kekuatan dan stabilitas yang paling baik terhadap beban gelombang pada fase operasional adalah tipe *bracing* K.

5. Pemodelan yang paling efektif antara *stick model* dan *detailed model* adalah dengan menggunakan *detailed model*.

5.2. SARAN

Seiring dengan berkembangnya *software-software* analisa struktur, khususnya struktur bangunan lepas pantai, untuk analisa perancangan awal struktur kaki jack up tidak perlu lagi menggunakan *stick model*, tetapi bisa dimodelkan secara *detailed* 3 kaki.

Analisa yang dilakukan dalam tugas akhir ini menggunakan analisa quasi statis, sedangkan analisa dinamis tidak dilakukan. Untuk studi lebih lanjut, respons struktur dengan menggunakan analisa quasi statis bisa dibandingkan dengan analisa dinamis.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

American Bureau of Shipping, 1980, " ***Rules for Building and Classing Mobile Offshore Drilling Units*** ", New York 10006, USA.

American Petroleum Institute, 1993, " ***Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms - Load and Resistance Factor Design*** ", First Edition, July 1993.

A.P.I., Production Departement, 1994, American Petroleum Institute Recommended Practice 2A, "***Planning, Design, and Constructing Fixed Offshore Platform***".

Bradshaw, I.J, 1987, " ***Jack-Up Structural Behavior and Analysis Methods-Mobile Offshore Structures*** ", City University, London, UK.

Barltrop NDP dan Adams AJ, 1991, "***Dynamics of Fixed Marine Structure***", Butterworth-Heinemann Ltd, Jordan Hill, Oxford.

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

Chakrabarty, S.K., 1994, "***Offshore Structure Modelling***", World Scientific Publising Co. Pte. Ltd, London.

Dawson T.H., 1983," ***Offshore Strucutral Engineering***", Prentice-Hall, Inc. Engelwood Cliffs, New Jersey, USA.

Daryl. L. Logan, 1992, "***Afirst Course in the Finite Element Method***", Rose-Hulman Institute of Technology, Boston.

Det Norske Veritas, 1983, " ***Dynamics of Jack-Up Platforms - Joint Industry Project*** ", DnV Research Division, Oslo, Norway.

Grenda, K.G., 1986, "***Wave Dynamic of Jack-up Platform Rigs***", Exxon Production Research Division Co., OTC 5304 Vol 4.

Liu, P., 1989, " ***Dynamics of Elevated Jack-Up Structures*** ", Delft University Press, Netherlands

Murdjito, 1996, " ***Diktat Pengantar Bangunan Lepas Pantai*** ", Kursus Segitiga Biru ITS-Unhas-Unpatti, FTK ITS, Surabaya

Murdjito, 1997, " ***Inovasi dalam Perancangan Jack-Up Platform untuk Perairan Dalam*** ", lembaga Penelitian ITS, Surabaya

Popov, E.P., 1993, "***Mekanika Teknik***", Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.

Pradnyana, Gde and Mazni, D.I; (2000), " ***Dynamic Response of Tension Leg Platforms Due to Earthquake Loading*** ", Journal of MARTECH 2000, ITS, Surabaya.

Rosyid, D.M., 1996, "***Perancangan Struktur Anjungan Lepas Pantai-Filosofi, Prosedur, Model Analisis*** ", Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya.

Soedjono, J.J., 1999, "***Perancangan Sistem Bangunan Laut***", Fakultas Teknologi Kelautan, ITS, Surabaya.

LAMPIRAN

Conversion Calculation from Detailed Model to Stick Model

Model 1 : K - Brace

Main Diameter (D) :

D Chord	762	mm
D Hor. Brace	324	mm
D Dia. Brace	324	mm
D Spanbreaker	215.5	mm

Member's Length (l) :

l Chord	5486	mm / bay
l Hor. Brace	10688	mm / bay
l Dia. Brace	7658.625	mm / bay
l Spanbreaker	15086.83	mm / bay

Material Property :

Material Name	High Strength Low Alloy ASTM A572 Grade 65	
Young's Modulus (E) =	2.01E+10	Pa
Shear's Modulus (G) =	7.44E+11	Pa
Poisson's Ratio (ν) =	0.32	
Mass Density (ρ) =	7835	kg/m^3
Reference Temp. =	21	C
Expansion Coeff. (a) =	1.19E-05	per C
Tension Stress =	1.45E+10	Pa
Comp. Stress	1.62E+10	Pa
Shear Stress	11.0548	Pa
Yield Stress	65	Ksi

Wall thickness (t) :

t Chord	119.0625	mm
t Hor. Brace	28.575	mm
t Dia. Brace	33.06122	mm
t Spanbreaker	8.6	mm

Slenderness Ratio Parameter (ABS-MODU 1980) :

kl/r Chord	20.56993
kl/r Hor. Brace	47.12522
kl/r Dia. Brace	67.53637
	200.0243
Eff. Length Factor (k)	1
Unsupp.Col.Length (l)	(based from data)
Radius of Gyration (r)	0.35 * D

Equivalent Parameters of stick model:

Total Proj. Area (AT)	3.753127	m^2
Equivalent Diameter (Dq)	2.186562	m
Chord Inertia Moment (Ic) =	0.008344	m^4
Equivalent Area (Aq)	0.044384	m^2
Equivalent Wallthickness (tq) =	0.03385	m
D/t	64.59563	
Equivalent moment inertia	0.067851	m^4

Coeff. Drag of chords

arah 90 derajat	3.367454
arag 45 derajat	2.083727

Projected Area (Ap) :

A Chord	0.497716	m^2
A Hor. Brace	0.160546	m^2
A Dia. Brace	0.114946	m^2
A Spanbreaker	0.100255	m^2

Cross-Sectional Area (A) :

A Chord	0.423562	m^2
A Hor. Brace	0.029071	m^2
A Dia. Brace	0.033635	m^2
A Spanbreaker	0.005819	m^2

D/t Ratio :

D/t Chord	6.4
D/t Hor. Brace =	11.33858
D/t Dia. Brace =	9.8
D/t Dia. Spanbreak =	25.05814

Conversion Calculation from Detailed Model to Stick Model

Model 1 : Z - Brace

Main Diameter (D) :

D Chord	762	mm
D Hor. Brace	648	mm
D Dia. Brace	508.1112	mm
D Spanbreaker	215.5	mm

Member's Length (l) :

l Chord	5486	mm / bay
l Hor. Brace	10688	mm / bay
l Dia. Brace	12013.72	mm / bay
l Spanbreaker	15086.83	mm / bay

Material Property :

Material Name	High Strength Low Alloy ASTM A572 Grade 65	
Young's Modulus (E) =	2.01E+10	Pa
Shear's Modulus (G) =	7.44E+11	Pa
Poisson's Ratio (ν) =	0.32	
Mass Density (ρ) =	7835	kg/m^3
Reference Temp. =	21	C
Expansion Coeff. (a) =	1.19E-05	per C
Tension Stress =	1.45E+10	Pa
Comp. Stress	1.62E+10	Pa
Shear Stress	11.0548	Pa
Yield Stress	65	Ksi

Wall thickness (t) :

t Chord	119.0625	mm
t Hor. Brace	57.15001	mm
t Dia. Brace	51.84808	mm
t Spanbreaker	8.6	mm

Slenderness Ratio Parameter (ABS-MODU 1980) :

kl/r Chord	20.56993
kl/r Hor. Brace	47.12522
kl/r Dia. Brace	67.55396
Eff. Length Factor (k)	1
Unsupp.Col.Length (l)	(based from data)
Radius of Gyration (r)	0.35 * D

Equivalent Parameters of stick model:

Total Proj. Area (AT)	7.4496	m^2
Equivalent Diameter (Dq)	3.080574	m
Chord Inertia Moment (Ic) =	0.008344	m^4
Equivalent Area (Aq)	0.05248	m^2
Equivalent Wallthickness (tq) =	0.016425	m
D/t	187.554	
Equivalent moment inertia	0.093484	m^4

Coeff. Drag

arah 90 derajat	3.367454
arag 45 derajat	2.083727

Projected Area (Ap) :

A Chord	0.497716	m^2
A Hor. Brace	0.642185	m^2
A Dia. Brace	0.722499	m^2
A Spanbreaker	0.100255	m^2

Cross-Sectional Area (A) :

A Chord	0.423562	m^2
A Hor. Brace	0.116284	m^2
A Dia. Brace	0.082722	m^2
A Spanbreaker	0.005819	m^2

D/t Ratio :

D/t Chord	6.4
D/t Hor. Brace =	11.33858
D/t Dia. Brace =	9.8
D/t Dia. Spanbreak =	25.05814

1. DETAIDEL MODEL BRACING K:

a. INPUT DATA

Group Property Definition for Jack Up With K bracing System

Group Label	Section Type	Length (M)	Areas Weight (MM^2)	Areas Buoy. (MM^2)	Diameters Y (MM)	Diameters Z (MM)	Material Density (KN/M^3)	Joint Thick (M)	Flood	Drag And Mass Coefficients Cdy	Cdz	Cmy	Cmz	Cdt	Cmt
CHO	TUB	240385.	20456036.70	762.00	762.00	77.0			NO	2.08	2.08	2.00	2.00	.00	.00
HBR	TUB	26520.60	82447.97	324.00	324.00	77.0			NO	2.08	2.08	2.00	2.00	.00	.00
DBR	TUB	30217.33	82447.97	324.00	324.00	77.0			NO	2.08	2.08	2.00	2.00	.00	.00
SPA	TUB	5589.96	36474.08	215.50	215.50	77.0			NO	2.08	2.08	2.00	2.00	.00	.00

* * * VAGA Area Description * * *

Group Label	Type Of Loading	Projected Areas Or Volumes (M^2) Or (M^3) Ax	Ay	Az	Centroid Of Area Or Volume (M) X	Y	Z	Shape Coeff	Area Type	Applicable Joints 1	2	3	4	5	6	7
A1	Wind-Drag	175.6	.0	.0	-5.3	.0	46.9	.50	R	116	119	121	124			
A5	Wind-Drag	354.5	.0	.0	-5.3	.0	33.2	1.00	F	101	104	106	109			
A2	Wind-Drag	292.6	.0	.0	-5.3	.0	14.0	.50	R	91	94	81	84			

* * * Dead Load Generation For Load Case 1 * * *

Gravity Direction	-Z
Water Depth (M)	76.50
Mudline Elevation (M)	-76.50
Water Density (KN/M^3)	10.08
Flood Override	
Dead Weight In Air (KN) ...	14997.320
Buoyancy Load (KN)	1134.165
Net Gravity Load (KN)	13863.140

* * Wave Description For Load Case 3 * *

Water Depth (M)	76.50
Mudline Elevation (M)	-76.50
Wave Theory	Stokes 5th
Height (M)	8.00
Period (Sec)	10.40
Length (M)	171.28
Direction X TO Y (Deg).	.00
Celerity (M/Sec)	16.47
No. of Segments Max	10
Min	1
Wave Step Size (M)	2.38
No. of Steps	72

Crest Position Determined By Maximum Moment

Crest Elevation (M)	80.81
Trough Elevation (M)	72.81

* * * Current Description * * *

Current Direction ..... .00 Deg

Elevation Above Mudline (M)	Current Velocity (M/Sec)
.00	.000
7.65	1.727
15.30	1.907
22.95	2.021
30.60	2.105
38.25	2.174
45.90	2.230
53.55	2.280
61.20	2.325
68.85	2.364
76.50	2.400

* * Wind Load Generation For Load Case 4 * *

Wind Velocity (M/Sec) 35.000

Wind Pressure (N/M^2) ..... .000

Wind Direction (Deg) ..... .000

Surface Elevation (M) ..... .000

Height Coefficient ..... ABS

Included Area IDS : A1 A2 A5

b. OUTPUT DARI STRUCAD*3D

* * * Joint Deflection Report * * *

	Deflections (CM)			Rotations (Rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Max. Def.	9.4488767	-.1518021	-3.0898255	-.0003152	-.0018982	-.0011801
Joint No.	175	211	120	192	188	66
Load Case	5	5	5	5	5	5

* * * Group Summary Report * * *

Group ID	THREE MOST RESTRICTIVE MEMBERS									Total	Number Of Members In Group With UC>1.33	With UC>1.00	With UC>0.50	With UC<0.50
	First Member	UC	LC	Second Member	UC	LC	Third Member	UC	LC					
CHO	92- 97	.81	5	93- 98	.77	5	87- 92	.55	5	96	0	0	8	88
HBR	92- 217	.72	5	87- 216	.67	5	82- 215	.67	5	196	0	0	19	177
DBR	86- 217	.80	5	71- 214	.78	5	76- 215	.76	5	192	0	0	23	169
SPA	75- 72	.36	5	75- 71	.36	5	75- 73	.33	5	100	0	0	0	100
							Total Active Steel Members			584	0	0	50	534

Member paling kritis

Member JA- JB	GRP ID	Load Case	Dist From End (M)	Force Fx (KN)	*Bending Moment* My (KN-MM)	Mz	*Shear Force* Fy (KN)	Fz	Torsion Mx (KN-MM)	Axial Stress	Bending Stress Y	Z (N/MM^2)	Comb. Stress	Shear Stress	Max Comb. Unity Check
92- 97	CHO	5	.0	-17812.25	25218.0	-181829.9	297.93	-20.32	31381.5	-74.10	-.75	-5.39	-79.54	2.95	.607
		5	5.5	-17710.68	-86248.7	1452640.0	297.93	-20.32	31381.5	-73.68	2.56	43.07	-116.83	2.95	.800

2. DETAILED MODEL BRACING Z

a. INPUT DATA

* * * **Tubular Member Properties** * * *

GRP	M/S	Joint Thick (M)	WT (MM)	OD (MM)	E	G	Ax (MM^2)	Ix	Iy	Iz (MM^4)	Fy (N/MM^2)	Ky	Kz	Shear Area (MM^2)	Sec Len (M)
					(KN/MM^2)										
CHO	1	.00	119.060	762.000	205.9	78.5	240484.02.	5704E10	1.285228E10	1.285228E10	225.6	1.0	1.0	120242.00	.00
HBR	1	.00	57.150	648.000	205.9	78.5	106082.49.	34506E9	4672530000.	4672530000.	225.6	1.0	1.0	53041.20	.00
DBR	1	.00	51.848	508.110	205.9	78.5	74318.43.	91775E9	1958876000.	1958876000.	225.6	1.0	1.0	37159.18	.00
SPA	1	.00	8.600	215.500	205.9	78.5	5590.059	926570.	29963280.	29963280.	225.6	1.0	1.0	2794.98	.00

* * * VAGA Initial Group Property Definition * * *

Group Label	Section Type	Length (M)	Areas Weight	Buoy.	Diameters Y	Z (MM)	Material Density (KN/M^3)	Joint Thick (M)	Flood	Drag And Mass Coefficients Cdy	Cdz	Cmy	Cmz	Cdt	Cmt
CHO	TUB		240484.00	456036.70	762.00	762.00	77.0		NO	2.08	2.08	2.00	2.00	.00	.00
HBR	TUB		106082.40	329791.90	648.00	648.00	77.0		NO	2.08	2.08	2.00	2.00	.00	.00
DBR	TUB		74318.36	202770.80	508.11	508.11	77.0		NO	2.08	2.08	2.00	2.00	.00	.00
SPA	TUB		5589.96	36474.08	215.50	215.50	77.0		NO	2.08	2.08	2.00	2.00	.00	.00

* * * VAGA Area Description * * *

Group Label	Type Of Loading	Projected Areas/ Or Volumes (M^2) Ax	Ay	Az	Centroid Of Area Or Volume (M) X	Y	Z	Shape Coeff	Area Type	Applicable Joints 1	2	3	4	5	6	7
A1	Wind-Drag	175.6	.0	.0	-5.3	.0	46.9	.50	R	116	119	121	124			
A5	Wind-Drag	354.5	.0	.0	-5.3	.0	33.2	1.00	F	101	104	106	109			
A2	Wind-Drag	292.6	.0	.0	-5.3	.0	14.0	.50	R	91	94	81	84			

* * * Dead Load Generation For Load Case 1 * * *

Gravity Direction ..... -Z

Water Depth (M) 76.50

Mudline Elevation (M) ..... -76.50

Water Density (KN/M^3) 10.08

Flood Override .....

Dead Weight In Air (KN) ... 23281.020

Buoyancy Load (KN) 1750.740

Net Gravity Load (KN) 21530.280

* * Wave Description For Load Case 3 * *

Water Depth (M) 76.50
Mudline Elevation (M) ..... -76.50

Wave Theory ..... Stokes 5th
Height (M) 8.00
Period (Sec) 10.40
Length (M) 171.38
Direction X To Y (Deg). .00
Celerity (M/Sec) 16.47

No. of Segments Max 10
Min 1

Wave Step Size (M) 2.38
No. of Steps 72
Crest Position Determined By Maximum Moment

Crest Elevation (M) 80.81
Trough Elevation (M) 72.81

* * * Current Description * * *

Current Direction ..... .00 Deg

Elevation Above Mudline (M)	Current Velocity (M/Sec)

.00	.000
7.65	1.787
15.30	1.907
22.95	2.021
30.60	2.105
38.25	2.174
45.90	2.230
53.55	2.280
61.20	2.325
68.85	2.364
76.50	2.400

** L O A D S U M M A R Y R E P O R T **

Load Case = 3 Wave Direction = .00 Deg

X Shear Force (KN)	6535.69
Y Shear Force (KN)	23.78
Resultant Shear Force (KN)	6535.73
X Mudline Moment (KN-M)	-1440.27
Y Mudline Moment (KN-M)	350879.80
Resultant Mudline Moment (KN-M)	350882.80
Z Vertical Force (KN)	-601.69

Note: Critical Crest Position (M) : .00
Crest Position Determined By Maximum Moment
Wave Loads calculated with user specified Member Segments

** Wind Load Generation For Load Case 4 **

Wind Velocity (M/Sec)	35.000
Wind Pressure (N/M^2)	.000
Wind Direction (Deg)	.000
Surface Elevation (M)	.000
Height Coefficient	ABS

Included Area IDS : A1 A2 A5

Wind Load On Members Not Calculated

Generated Wind Forces And Moments
Moments About Mudline At Elevation (M) -76.50

Forces (KN)	X -	513.75
	Y -	.00
	Z -	.00
Moments (KN-M)	X -	.00
	Y -	55436.61
	Z -	.00

b. OUTPUT DATA

* * * Joint Deflection Report * * *

Joint Number	Load Cond	Deflections (CM) X	Y	Z	Rotations (Rad) X	Y	Z
Max. Def.		7.5319381	.1678158	-3.3040938	-.0001195	-.0012068	-.0003584
Joint No.		8	39	125	92	78	67
Load Case		5	5	5	5	5	5

THREE MOST RESTRICTIVE MEMBERS

Group ID	First Member	First UC	First LC	Second Member	Second UC	Second LC	Third Member	Third UC	Third LC	Number Of Members In Group Total	With UC>1.33	With UC>1.00	With UC>0.50	With UC<0.50
CHO	93- 98	.82	5	92- 97	.72	5	2- 6	.62	5	96	0	0	20	76
HBR	89- 88	.41	5	84- 83	.40	5	79- 78	.40	5	100	0	0	0	100
DBR	89- 93	.62	5	84- 88	.60	5	79- 83	.59	5	96	0	0	9	87
SPA	75- 74	.48	5	75- 71	.45	5	70- 69	.40	5	100	0	0	0	100
Total Active Steel Members										392	0	0	29	363

Member JA- JB	GRP ID	Load Case	Dist From End (M)	Force Fx (KN)	*Bending Moment* My /-- (KN-MM) --/	Mz	*Shear Force* Fy /-- (KN) --/	Fz	Torsion Mx (KN-MM)	Axial Stress	Bending Stress Y	Z	Comb. Stress (N/MM^2)	Shear Stress	Max Comb. Unity Check
93- 98	CHO	5	.0	-19512.83	137813.0	-365453.2	290.79	-56.73	16081.2	-81.14	-4.09	-10.83	-92.72	2.70	.694
		5	5.5	-19411.21	-173399.2	1229816.0	290.79	-56.73	16081.2	-80.72	5.14	36.46	-117.54	2.70	.823