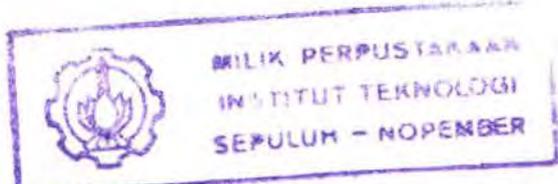


20.590/H/04



TUGAS AKHIR

(KL 1702)

STUDI PENGARUH KEBERADAAN RISER TERHADAP RESPON ANJUNGAN *TENSION LEG PLATFORM* DALAM ARAH *SURGE, HEAVE, DAN PITCH*



RSK
627.98
Pra
5
2004

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	
Terima Dari	
No. Agenda Prp.	

Oleh :

Dzulfikri Ahmad Arya Praja

NRP: 4399.100.056

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
S U R A B A Y A

2004

**“ STUDI PENGARUH KEBERADAAN RISER
TERHADAP RESPON ANJUNGAN
TENSION LEG PLATFORM
DALAM ARAH SURGE, HEAVE, DAN PITCH ”**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Untuk Menyelesaikan Studi Program Sarjana**

Pada

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

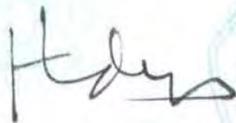
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Mengetahui/ Menyetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

am 





Ir.Rudi Walujo P, MT.

NIP. 132 176 893

Ir.Jusuf Sutomo,MSc.

NIP. 121 287 547

SURABAYA

2004

ABSTRAK

Keberadaan komponen riser dalam platform TLP berpengaruh dalam respon dinamis dari platform TLP tersebut, kondisi ini dibuktikan dengan adanya perbedaan respon dinamis dari platform pada kondisi riser beroperasi 24 riser dibandingkan dengan riser beroperasi 12 riser dan tanpa riser. Sebagai studi kasus digunakan platform TLP West-Seno milik UNOCAL yang beroperasi di perairan Selat Makasar dengan kedalaman ± 975 m. Dalam Tugas Akhir ini dilakukan pemodelan platform TLP 2-D (dua dimensi) dengan bantuan software MSC Nastran for Windows, kemudian dilakukan analisa pembebanan terhadap model platform sehingga didapatkan gaya tarik awal dari tether dan riser, sehingga diharapkan model platform tersebut merepresentasikan kondisi sebenarnya dari TLP pada saat beroperasi di perairan Makasar.

Model platform kemudian dikenai beban gelombang yang didapat perhitungan spektrum beban gelombang pada arah Surge, Heave, dan Pitch. Sehingga pada akhirnya dengan bantuan Software MSC Nastran for Windows didapatkan spectrum respon displacemen (untuk mengetahui perilaku dinamis platform TLP) pada kondisi beroperasi dengan 24 riser dan beroperasi 12 riser maupun kondisi tanpa riser.

Keberadaan riser berpengaruh terhadap besarnya respon displacemen platform TLP, hal ini dibuktikan dengan semakin kecilnya respon displacemen pada saat jumlah riser yang beroperasi ditambah, untuk kondisi storm sebesar 0,006 m pada arah surge beroperasi dengan 12 riser dan 0,0331 m pada saat beroperasi 24 riser dan 0,0968 pada kondisi tanpa riser. Selain itu variasi kondisi lingkungan yaitu storm dan operasional berpengaruh terhadap besarnya respon yang terjadi, tetapi frekuensi respon puncak terjadi pada frekuensi yang sama pada arah Surge, Heave, dan Pitch.

Where did we come from
Why are we here
Where did we go when we die
What lies beyond...what lay before
Is anything certain in life

They said...life is so short
The here and the now
And you're only given one shot
Could that be more...have I live before
Could this beyond that we've got

If I die tomorrow...
I'd be alright because I believe
That after we're gone
The spirit carries on...

I used to be frightened of dying
I used to think that was the end
That was before...I'm not scared anymore
I know that my soul will transcend...

I may never find all the answer
I may never understand why
I may never prove what I know to be true
But I know that I still have to try

Move on...be brave don't weep at my grave
Cause I am no longer here
But please never let... your memories of me disappear

Save in the light that surrounds me
Free of the fear and the pain
My questioning mind has help me to find
The meaning in my life again
Victoria is real...I'm finally feel
At peace with the girl in my dream
Now that I'm here...is perfectly clear
I found out what all of this mean...

By D_T

KATA PENGANTAR

Assalammu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia yang telah diberikan kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Rasa terima kasih sebesar – besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung. Tugas Akhir ini berjudul “ **Studi Pengaruh Keberadaan Riser Terhadap Respon Anjungan Tension Leg Platform Dalam Arah Surge, Heave, dan Pitch.**”

Tugas Akhir ini disusun dengan tujuan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan (S1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Dalam tugas akhir ini dilakukan sebuah studi yang melihat seberapa besar pengaruh dari keberadaan riser terhadap respon anjungan Tension Leg Platform dalam tiga arah gerak yaitu Surge, Heave, dan Pitch.

“Tidak ada sesuatu yang sempurna yang diciptakan oleh manusia”, Segala kekurangsempurnaan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini semata – mata dikarenakan keterbatasan penulis. Semoga penulisan ini berguna bagi para pembaca dan penulis pada khususnya.

Wassalammu'alaikum Wr.Wb.

Surabaya, Agustus 2004

Dzulfikri Ahmad Arya Praja

UCAPAN TERIMA KASIH

Hari – hari panjang yang telah dilalui penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dorongan dari pihak-pihak yang secara langsung maupun tidak langsung baik secara moral maupun fisik. Rasa terima kasih yang teramat besar penulis persembahkan kepada :

1. **Allah SWT**, atas segala karunia dan limpahan rahmat dalam menjalani hidup di dunia dan di akhirat.
2. **Nabi Besar Muhammad SAW**, atas tuntunan jalan ISLAM yang kau limpahkan kepada umatmu dalam mendapat kebahagiaan dunia dan akhirat.
3. Kedua Orang tua tercinta dari penulis; Ibu **Zaimatun Nayyiroh** dan Ayah **Munawar**, atas semua kasih – sayang dan bimbingan selama hidup anakmu... doa dan rahmat yang selalu dilimpahkan telah membimbing anakmu ini menuju sebuah jalan lapang kesuksesan...” langkah awal kesuksesan sudah kutapaki dan hanya kupersembahkan untuk Ayah dan Ibu tercinta !”
4. Adik – adikku tercinta; **Maulana Arif** ,”cepat lulus dan sekolah lagi! Kalo masih pengen ?”. **Najih Dahriyati**, “Jangan pernah menyerah untuk mendapat apa yang kamu cita – citakan!”
5. **Ir. Imam Rochani, M.Sc.**, selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan, FTK – ITS Surabaya.
6. **Dr. Ir. Handayanu, M.Sc.**, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kelautan, FTK – ITS Surabaya.
7. **Ir. Rudi Walujo Prastianto, MT** selaku Dosen Pembimbing I dalam penyelesaian tugas akhir ini.
8. **Ir. Jusuf Sutomo, M.Sc** selaku Dosen Pembimbing II dalam penyelesaian tugas akhir ini.
9. **Dr.Ir. Hartanta Tarigan**, selaku dosen wali atas bimbingannya selama penulis melakukan studi di Jurusan Teknik Kelautan, FTK – ITS Surabaya.

10. **Ir. Yoyok Setyo, MT**, selaku dosen wali pengganti, atas bimbingan yang diberikan di saat – saat terakhir masa studi.
11. **Keluarga besar Ir. Krisna Wahyudjati, MT** atas segala bimbingan yang telah om dan tante berikan, pelajaran yang teramat berharga dan mungkin tidak didapatkan di bangku kuliah.
12. Adik – adikku tersayang, **Melati, Wilna, Banu, Enchien**, “Mas minta maaf ya kalo sering gangguin kalian, kalian obat yang paling mujarab buat stress dan suntuknya mas...!”
13. **Anak – anak Malam...**(Iwan ‘Supernova’, Rohmat ‘sang legenda’, Satriyo ‘Ska’, Ferry ‘sok COOL’, Uton ‘tetua’, Breh ‘Gebleh’, Itop ‘Hommer’ , Gempur, Fahmi ‘kahima’, Sigit ‘Baby face’, Doffy ‘alex’, Vian ‘jampaga’, Rouf ‘Oyo’, Medi “lik’e”, Jeni ‘tiansher’, Ali ‘Gedhee!’, Aryo ‘Punk’ + Ari ‘Peot’) buat cangkruk , ketawa , hari – hari dan kisah yang telah kalian ukir di kelautan (brotherhood forever.....)
14. **Eva Octorina** “thanks udah mau di keluh – kesahin terus selama ini...sorry kalo jadi sering ganggu ☺”
15. **Dyah** “thanks buat advice dan bantuannya”, **Milka** “kapan nyanyi lagi?”
16. Pejuang TA : Ana, Ragil, Djainul, ‘**Cacak**’ **Udin** (kapan pulang bareng?), Kadafi, Hadi, Vivian (akhirnya beres ya vi?), Kusuma, Dedy, Dikor, Yogi, Antok, dll...
17. **Kelautan’99**:(Djainul,wiwit,Fardian,Fuad,Ipeh,Darma,Agus, ,Puguh,Hendra,Piter,Abi,Hary,Arga,Rukmanul,Bagus,Eryk,Ragil,Endro,Cristian,Ipung,Dody,Topan,Alin,Melly,Ana,Tyas,Santi,Ririn,Rois,Hadi,Qosrul,Zaenal,Rony,Memed,... terima kasih buat semuanya
18. Warga Kelautan : Dhani, Cukong, Maulid, lilik, Erfan, Black, Zaky, Abe, Friska, Dimas, Fahmi, Do’e, Astrid, Yono, adik-adik 2001+2002 yang lain ... terima kasih ...
19. **Semua pihak** yang telah membantu, dan tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih banyak!

DAFTAR ISI

Halaman Judul	
Lembar Pengesahan	
Abstrak	i
Kata Pengantar	ii
Ucapan Terima Kasih.....	iii
Daftar isi	v
Daftar Gambar.....	vii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah.....	I-1
1.2. Perumusan Masalah.....	I-5
1.3. Tujuan.....	I-6
1.4. Manfaat.....	I-6
1.5. Batasan Masalah.....	I-7
1.6. Sistematika Penulisan Tugas Akhir	I-7

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka	II-1
2.2. Landasan Teori	II-4
2.2.1. Struktur Tension Leg Platform (TLP).....	II-4
2.2.2. Persamaan Gerak Platform TLP.....	II-6
2.2.3. Teori Gelombang.....	II-9
2.2.3.1 Teori Gelombang Airy (Linier).....	II-9
2.2.3.2 Teori Morisson	II-12
2.2.3.3 Spektrum Elevasi Gelombang.....	II-14
2.2.4. Analisa Dinamis dari Theter (Tendon).....	II-16
2.2.5. Analisis Domain Waktu	II-17
2.2.6. Analisis Domain Frekuensi	II-18

2.2.7. Pemodelan dengan Metode Elemen Hingga	II-22
2.2.8. Karakteristik Gerakan TLP	II-27

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Data Penelitian	III-1
3.2. Metodologi Penelitian	III-1
3.3. Diagram Alir	III-4

BAB IV PEMODELAN DINAMIS TLP

DALAM METODE ELEMEN HINGGA

4.1. Gambaran Umum	IV-1
4.2. Data Awal Struktur.....	IV-1
4.2.1. Data Platform	IV-2
4.3. Pemodelan Struktur	IV-3
4.3.1. Pemodelan Struktur Atas.....	IV-9
4.3.2. Pemodelan Riser.....	IV-9
4.3.3. Pemodelan Theter.....	IV-9
4.3.4. Pemodelan Kekakuan Hidrostatik	IV-10

BAB V ANALISA DAN PEMBAHASAN MODEL

5.1. Gaya Tarik Awal Struktur TLP	V-4
5.2. Respon Terhadap Beban Horizontal	V-9
5.3. Analisa Spektrum Gelombang	V-10
5.3.1. Gaya Gelombang pada Platform TLP	V-10
5.3.2. Spektrum Gaya Gelombang	V-13
5.3.3. Analisa Pengaruh Riser Terhadap Respon TLP	V-16

BAB VI PENUTUP

6.1. Kesimpulan.....	VI-1
6.2. Saran.....	VI-2

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Benda Bebas TLP	II-7
Gambar 2.2 Orbit partikel kinematik teori gelombang Airy untuk perairan dangkal (Chakrabarti,1986)	II-9
Gambar 2.3 Orbit partikel kinematik teori gelombang Airy untuk perairan menengah (Chakrabarti,1986)	II-11
Gambar 2.4 Orbit partikel kinematik teori gelombang Airy untuk perairan dalam (Chakrabarti,1986)	II-12
Gambar 2.5 Analisa Dinamis Struktur	II-20
Gambar 2.6 Coupled Analysis	II-21
Gambar 2.7 Arah Gerakan TLP	II-29
Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian	III-4
Gambar 4.1 TLP tampak Atas (bidang X-Y)	IV-4
Gambar 4.2 TLP dalam bidang X-Z	IV-5
Gambar 4.3 TLP dalam bidang Y-Z	IV-6
Gambar 4.4 Pemodelan TLP dalam Metode Elemen Hingga	IV-7
Gambar 4.5 Model TLP Dalam MSC Nastran	IV-8
Gambar 5.1 Model shape kondisi riser maksimum	V-7
Gambar 5.2 Model shape kondisi 12 riser	V-7
Gambar 5.3 Grafik perbandingan Offset	V-10
Gambar 5.4 Grafik Gaya Gelombang arah Surge kondisi Storm	V-10
Gambar 5.5 Grafik Gaya Gelombang arah Heave kondisi Storm	V-11
Gambar 5.6 Grafik Gaya Gelombang arah Pitch kondisi Storm	V-11

Gambar 5.7 Grafik Gaya Gelombang arah Surge kondisi Operasi	V-11
Gambar 5.8 Grafik Gaya Gelombang arah Heave kondisi Operasi	V-12
Gambar 5.9 Grafik Gaya Gelombang arah Pitch kondisi Operasi	V-12
Gambar 5.10 Spektrum Elevasi Gelombang (JONSWAP) kondisi Operasional dan Storm	V-13
Gambar 5.11 Spektrum Beban Gelombang arah Surge kondisi Operasi	V-14
Gambar 5.12 Spektrum Beban Gelombang arah Heave kondisi Operasi	V-14
Gambar 5.13 Spektrum Beban Gelombang arah Pitch kondisi Operasi	V-14
Gambar 5.14 Spektrum Beban Gelombang arah Surge kondisi Storm	V-15
Gambar 5.15 Spektrum Beban Gelombang arah Heave kondisi Storm	V-15
Gambar 5.16 Spektrum Beban Gelombang arah Pitch kondisi Storm	V-15
Gambar 5.17 Respon Displacemen TLP arah Surge Storm kondisi maksimum Riser	V-17
Gambar 5.18 Respon Displacemen TLP arah Surge Storm kondisi 12 Riser	V-17
Gambar 5.19 Respon Displacemen TLP arah Surge Storm kondisi tanpa Riser	V-17



BAB I
PENDAHULUAN



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang masalah

Indonesia sebagai negara kelautan memiliki potensi kekayaan yang berlimpah. Usaha eksplorasi semakin banyak dilakukan di berbagai tempaty di wilayah perairan Indonesia dewasa ini. Dengan semakin menipisnya cadangan minyak dan gas bumi di darat dan perairan dangkal, maka mau tidak mau usaha eksplorasi mulai berkembang ke arah perairan dalam seperti perairan di kepulauan Natuna dan di perairan Makasar.

Seiring dengan perkembangan teknologi eksplorasi minyak dan gas di lepas pantai, maka teknologi bangunan lepas pantai yang mampu beroperasi diperairan dalam mengalami perkembangan yang cukup signifikan. Hal ini dapat dilihat dari semakin banyaknya konsep struktur yang dikembangkan dan dioperasikan. Konsep struktur bangunan lepas pantai dapat dibagi menjadi tiga kelompok utama, yaitu :

1. Anjungan Terpancang (*Fixed Offshore Platform*)

Yaitu suatu anjungan yang dalam operasinya bersifat menahan gaya – gaya lingkungan tanpa mengalami displacement/deformasi yang berarti (Chakrabarti, 1987). Anjungan terpancang adalah anjungan yang paling banyak digunakan sampai saat ini. Namun anjungan terpancang ini hanya layak untuk digunakan pada perairan dengan kedalaman 1000 – 1600 ft, karena dengan semakin bertambahnya kedalaman dimana anjungan





tersebut akan beroperasi maka bertambah tinggi pula biaya yang dikeluarkan untuk pembuatan anjungan tersebut. Selain itu semakin tinggi sebuah anjungan akan menyebabkan semakin rendahnya kekakuan yang dimiliki oleh anjungan.

2. Anjungan terapung (*Floating Platform*)

Yaitu suatu anjungan yang mempunyai karakter bergerak mengikuti gerakan gelombang. Anjungan terapung banyak digunakan di perairan dalam yang memiliki gelombang relative besar, dimana penggunaan fixed offshore platform sudah tidak memenuhi syarat lagi. Anjungan terapung memiliki banyak keuntungan dibanding anjungan terpancang, antara lain; mampu beroperasi diperairan dalam, lebih mudah pada saat proses load out dan instalasi serta membutuhkan biaya yang lebih kecil, bisa dipindah tempat apabila masa beroperasinya sudah habis. Namun demikian salah satu kelemahan yang dimiliki adalah rendahnya kapasitas pay load serta kualitas karakteristik seakeeping.

3. Anjungan struktur lentur (*Compliant Platform*)

Anjungan struktur lentur memanfaatkan gaya apung dari sebagian lambung yang terbenam untuk menahan payload yang bekerja pada struktur tersebut. Pada anjungan jenis ini diperlukan sistem penambatan

yang mampu menjaga anjungan agar tetap berada di lokasi dalam batas – batas yang ditentukan .



Riser dari suatu komponen anjungan lepas pantai untuk produksi hidrokarbon, berfungsi sebagai penyalur minyak atau gas dari reservoir ke geladak platform. Selain itu, keberadaan riser ini secara structural akan mempengaruhi karakteristik struktur TLP. Dengan adanya komponen struktur ini maka secara prinsip akan mempengaruhi kelakuan dinamis global TLP secara keseluruhan. Untuk itu, akan dianalisis sejauh mana pengaruh keberadaan riser terhadap respon global TLP melalui suatu model Kopel dalam domain frekuensi dengan pendekatan elemen hingga.

Analisa riser dari TLP merupakan bagian yang tidak terpisahkan dalam suatu proses design. Oleh karena itu, kasus yang akan dianalisa dipilih atas dasar desain rancang bangun yang ada. Kategori yang diambil berdasar pada keadaan lingkungan dan skenario operasi, contohnya :

1. Kondisi ekstrim pada saat badai dengan riser terhubung tetapi sumur dalam kondisi *shut-in* (terlindungi).
2. kondisi operasi maksimum dimana sumur tetap beroperasi.
3. kondisi operasi normal dimana jenis beban yang beroperasi, seperti halnya tingkatan dari beban, benar – benar dipertimbangkan, missal; fatigue analysis.
4. pengoperasian atau menjalankan kembali riser atau komponennya.
5. penyelesaian operasi dimana pipa downhole dan hangers (gantungannya) sedang dipasang dengan menggunakan string sampai ke drilling riser.



6. workover operasi dimana komponen subsea atau downhole sedang diperbaiki atau digantikan.
7. kasus – kasus kecelakaan khusus, seperti kegagalan dari silinder tension.
8. vortex shedding analysis.

Dua kategori yang pertama diatas adalah sebagai pertimbangan utama untuk mendapatkan beban design. Dengan menggunakan tegangan utama yang diijinkan untuk mengukur komponen. Beban yang digunakan pada kategori ketiga, digunakan untuk mendapatkan tekanan puncak (peak stress) untuk melakukan analisa fatigue pada tiap komponen. Seringkali *peak stress* tersebut didapatkan dari analisa *finite element* dengan menggunakan *fine grid* model.

Kondisi ekstrem biasanya didasarkan pada data badai yang terjadi selama 100 tahun untuk kemudian dilakukan analisa pada TLP dan risernya. Badai ini memiliki peluang kemungkinan terjadi sebesar 1 % pada setiap tahunnya dan 63% peluang kemungkinan terjadi setiap 100 tahun. Besarnya angin, arus dan gelombang dalam 100 tahun berubah berdasarkan lokasi. Analisa riser dan gerak TLP bergantung pada oceanographer untuk menentukan informasi lokasi yang spesifik.

Struktur TLP merupakan suatu sistem yang kompleks dimana sarat dengan komponen-komponen fungsional. Untuk menganalisis TLP dengan suatu model yang lengkap (model hidroelastis lengkap) yang mana diharapkan dapat memberikan semua informasi perancangan, merupakan suatu pekerjaan yang



hampir tidak mungkin dilakukan. Untuk keperluan analisis respon dinamis platform dari TLP, suatu pendekatan yang lebih praktis yang dapat diterima dalam proses perancangan adalah menentukan gerakan TLP akibat beban-beban hidrodinamis dengan menganggap platform-TLP sebagai sebuah benda kaku (*rigid body*) terapung yang ditambat dengan system tether dengan kekakuan dan massa tertentu.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- *Sejauh mana pengaruh adanya riser terhadap perilaku respon dinamis TLP baik untuk kondisi operasional maupun kondisi ekstrim yang dipertimbangkan dalam disain.*
- Bagaimana pemodelannya (representasi dari TLP) dalam Metode Elemen Hingga.

1.3. Tujuan

Adapun tujuan yang hendak dicapai adalah:

- Mendefinisikan kondisi lingkungan (*sea state*) dan menentukan spektrum gaya gelombang acak dengan analisis spektrum dalam tiga derajat kebebasan gerak (*surge, heave dan pitch*).
- Membuat model alternatif yang berupa model numerik (elemen hingga) TLP.



- Menghitung respon dinamis TLP dalam bentuk spektrum untuk kondisi 24 riser dan 12 riser untuk gerak *Surge*, *Heave* dan *Pitch* dan membandingkan hasil yang diperoleh dengan respon dinamis TLP tanpa riser.

1.4. Manfaat

Melalui Tugas Akhir ini nantinya diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa:

- Suatu model numerik (elemen hingga) dari struktur TLP yang dapat digunakan untuk menganalisis respon dinamis globalnya untuk kondisi riser maksimum maupun dalam kondisi beroperasi 12 riser.
- Suatu bukti bahwa secara teknis tidak didapati unsur ketidaklayakan-operasional dengan digunakannya jenis anjungan TLP ini sehingga diharapkan makin meningkatkan keyakinan dan animo pemakaian TLP bagi pihak yang berkecimpung dalam aktivitas eksplorasi dan eksploitasi sumber minyak dan/atau gas di perairan dalam di wilayah Indonesia.

1.5. Batasan Masalah

Untuk mempersempit permasalahan dan mempermudah perhitungan maka ditentukan batasan masalah sebagai berikut :

- Hull TLP dianggap sebagai Rigid Body
- Gerak TLP ditinjau secara Planar (2D) yaitu *Surge*, *Heave* dan *Pitch*
- TLP yang dijadikan studi kasus dalam penelitian ini akan dioperasikan dalam beberapa kondisi yaitu :



- 1) kondisi operasi dengan 24 Riser
- 2) kondisi operasi dengan 12 riser
- 3) kondisi ekstrim dengan 24 riser
- 4) kondisi ekstrim dengan 12 riser.

1.6. SISTEMATIKA PENULISAN TUGAS AKHIR

Halaman judul

Lembar pengesahan

Abstrak

Kata Pengantar

Daftar Isi

Daftar Gambar

Daftar Tabel

Daftar Grafik

Daftar Simbol

Daftar Lampiran

BAB I **Pendahuluan**

1.1. Latar Belakang Masalah

1.2. Perumusan Masalah

1.3. Tujuan

1.4. Manfaat

1.5. Batasan Masalah

1.6. Sistematika Penulisan Tugas Akhir



BAB II Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori

2.1. Tinjauan Pustaka

2.2. Landasan Teori

BAB III Metodologi Penelitian

BAB IV Pemodelan Dinamis TLP Dalam Metode Elemen Hingga

BAB V Analisa dan Pembahasan Model

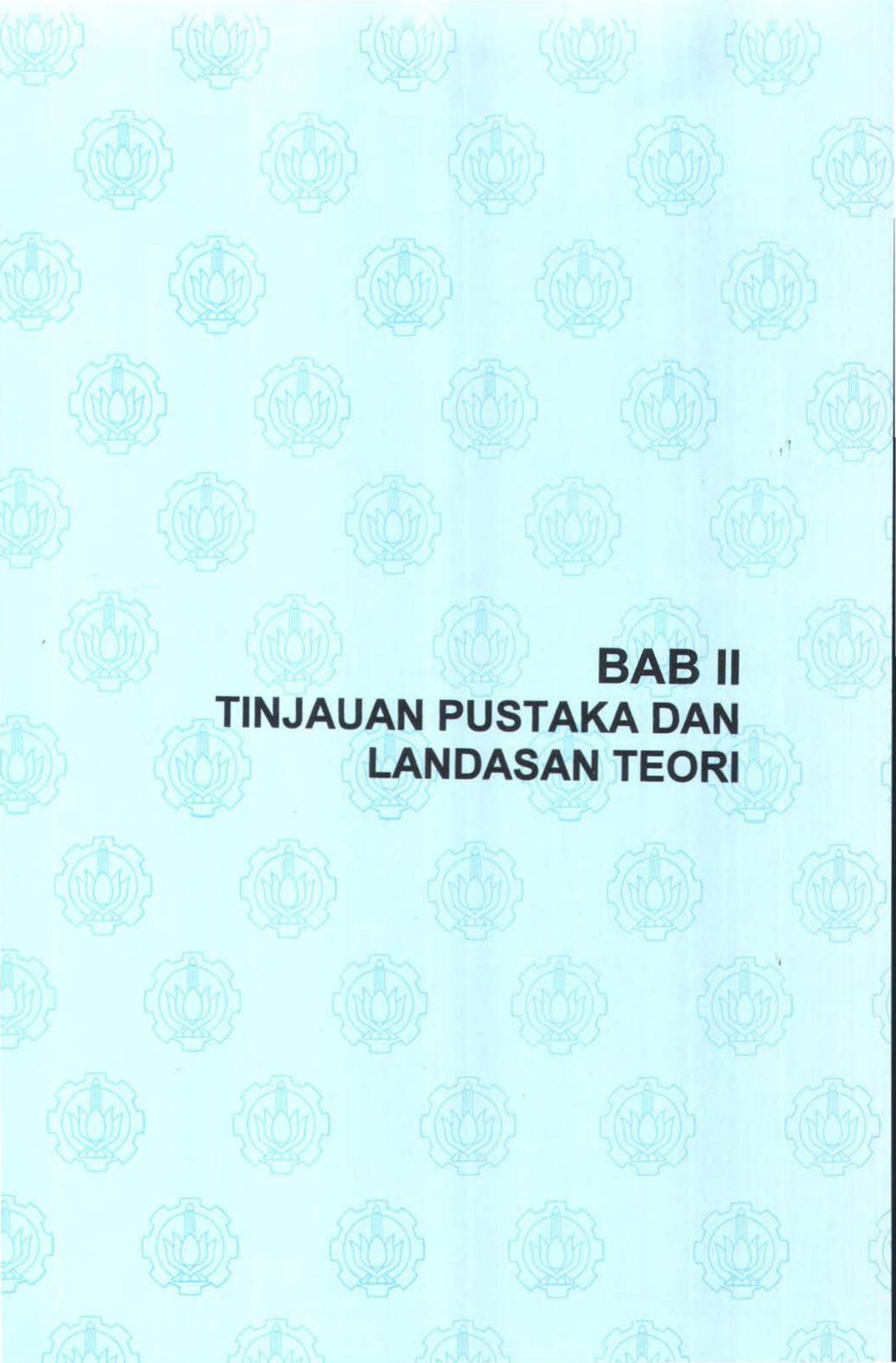
BAB VI Penutup

6.1 Kesimpulan

6.2 Saran

Daftar Pustaka

Lampiran



BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN
LANDASAN TEORI



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Teknologi bangunan lepas pantai berkembang demikian pesat sejak empat dekade lalu, diawali dengan beroperasinya sebuah anjungan untuk pertama kalinya mencapai kedalaman 30 m dan pada akhirnya tercatat bahwa anjungan COGNAG yang dibangun oleh Shell Oil Company di daerah palung missisipi mampu beroperasi pada kedalaman 330 m. Dengan semakin pesatnya perkembangan teknologi konstruksi bangunan lepas pantai, maka operasi tidak lagi terbatas pada laut dangkal dan menengah, tetapi telah melangkah pada eksplorasi di perairan dalam. Dengan demikian dibutuhkan sebuah tipe anjungan yang mampu memenuhi tuntutan tersebut diatas, salah satu alternatif yang digunakan adalah TLP (Tension Leg Platform).

Dari waktu ke waktu struktur TLP terus mengalami penyempurnaan, para ahli meyakini bahwa konsep perancangan Tension Leg Platform dapat dioperasikan untuk kedalaman laut hingga 660 m (2000 ft) dan bahkan telah dikembangkan untuk dapat beroperasi di laut utara.

Pemakaian jenis struktur terpancang (*fixed jacket platform*) di perairan dalam, pada prinsipnya sangat dibatasi oleh kendala *kelakuan dinamis* struktur dan



pertimbangan *efektivitas biaya* pembangunannya. Struktur jacket untuk perairan dangkal (*shallow water*) memiliki nilai rasio β (rasio antara periode natural struktur dan periode natural gaya gelombang eksitasinya) yang kecil dan faktor pembesaran dinamisnya (*Dynamic Amplification Factor*) mendekati satu, sehingga hal ini secara prinsip menunjukkan kelakuan statis. Jika struktur jacket digunakan di perairan yang makin dalam maka struktur menjadi makin fleksibel (lentur) sehingga periode natural gerakannya makin mendekati periode gelombang eksitasinya. Di lain pihak jika kekakuan strukturnya ditambah dengan cara memperbesar bagian dasar struktur yang terpancang di dasar laut, maka biaya pembangunannya akan meningkat drastis sehingga menjadi kendala dari segi efektivitas biayanya (Litton, 1989).

Kenaikan biaya-relatif instalasi untuk TLP dengan makin dalamnya perairan relatif kecil. Sementara itu untuk jenis struktur terpancang (*pile-supported platforms*) dan struktur menara bertali tambat (*guyed tower*) maka biaya instalasinya akan naik secara drastis dengan bertambahnya kedalaman (McClelland dan Reifel, 1986). Pendekatan yang biasanya digunakan untuk perancangan TLP antara lain :

- a. Kestabilan TLP pada saat operasional dan ekstrim.
- b. Meminimalkan variasi tegangan tendon yang berlebihan.
- c. Meminimalkan respon gerakan TLP.
- d. Mengoptimalkan geometri TLP untuk mengurangi pemakaian material.

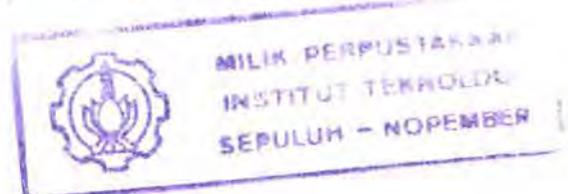


Kondisi gelombang laut yang bersifat acak dan adanya tingkat ketidaklinieran yang tinggi pada teori gelombang yang menerangkannya, menyebabkan efeknya

pada struktur lepas pantai menjadi sangat sulit dipahami. Representasi gelombang dengan model reguler tidak lagi memadai karena adanya ketidakpastian yang ada dalam perilaku gelombang acak tersebut (Mazni, 1999). Untuk mengakomodasi ketidakpastian tersebut perlu digunakan pendekatan probabilistik. Dengan demikian nantinya respon struktur (TLP) juga dinyatakan dalam spektrum respon.

Dalam pendekatan spektral ini, asumsi yang digunakan adalah, gelombang acak merupakan gabungan dari beberapa gelombang reguler sinusoidal dengan frekuensi yang berbeda-beda dan bergerak dalam arah yang sama. Asumsi ini baik secara teoritis maupun eksperimental telah terbukti menjadi model yang cukup baik dalam merepresentasikan kondisi laut yang sebenarnya dan khususnya sangat cocok untuk keperluan analisis respon dinamis struktur di lautan (Barltrop dan Adams, 1991).

Patel dan Lynch (1983) dalam studinya yang antara lain juga menggunakan pendekatan elemen hingga, mengatakan bahwa kemungkinan terjadinya interaksi dinamis antara tether dan platform pasti ada. Di perairan dalam, dengan inersia tether sekitar 6% dari platform dan jika periode alami dari tether yang cukup panjang mencapai 5 – 10 detik, maka responnya akan mendekati periode eksitasi gelombang.





Sebelumnya, Jeffery dan Patel (1982) telah melakukan studi dengan metode elemen hingga untuk dinamika tether (*taut cable*). Salah satu hasilnya

memperlihatkan bahwa dengan model elemen hingga yang lebih kompleks, maka perilaku nonideal dari tether seperti variasi gaya-tarik dan redaman nonlinier tether dapat terakomodasi.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Struktur Tension Leg Platform (TLP)

Tension Leg Platform (TLP) termasuk dalam jenis struktur lepas pantai yang dinamakan "*compliant structures*" yang sangat cocok dipakai pada perairan dalam. Tidak seperti jenis struktur terpancang, bertambahnya kedalaman perairan tidak berpengaruh drastis terhadap biaya yang diperlukan untuk pembangunannya.

Struktur pendukung TLP terdiri dari hull, tendon dan template. Hull merupakan struktur pengapung yang di atasnya terdapat deck tempat dimana fasilitas produksi dan tempat tinggal pekerja berada. Hull tersusun dari *pontoon* dan *kolom* yang bisa memberikan daya apung yang cukup untuk menjaga agar deck selalu berada diatas permukaan air bagaimanapun kondisi lautnya. Kolom ini diikat ke dasar laut dengan tendon dan dipancangkan dengan template. Daya apung hull inilah yang memberikan gaya tarik (*tension*) pada tendon. Untuk menghindari terjadinya resonansi pada struktur maka frekuensi dasar gerakan struktur dalam arah *surge, sway, dan yaw* nilainya harus dibawah nilai tentang frekuensi gelombangnya. Sedangkan frekuensi dasar gerakan *heave, pitch dan roll* besarnya



harus diatasnya. Angin, gelombang dan arus menyebabkan TLP dalam arah heave yang berakibat bertambahnya daya apung sehingga gaya tarik pada tendon menjadi lebih besar dari pada dalam posisi vertikalnya. Sementara itu efek orde yang lebih tinggi akibat sifat non-linier alami dari gelombang dan strukturnya akan mempengaruhi respon dinamisnya. (Bar-avi,1999)

Dalam masa operasinya, draft dari platform relative tinggi (sekitar dua kali) dari hull apungnya. System pembuatannya yang kaku menyebabkan gerakan platform menjadi terbatas dalam arah heave, pitch dan roll pada saat terkena gelombang. Kekakuan tendon yang tinggi juga menyebabkan periode natural dalam arah gerakan tersebut sangat kecil. Geometri dari hull dan penempatan tendon biasanya dibuat simetris agar periode roll dan pitchnya sama. Biasanya periode natural TLP dalam arah heave dan pitch untuk aplikasi perairan dalam (lebih dari 1000 ft) berharga antara 1 dan 5 detik. Sebaliknya, struktur TLP cukup lentur dalam arah surge karena gaya pengendali dari tendon dalam arah surge tersebut umumnya kecil. Periode natural TLP dalam arah surge (atau sway) adalah cukup besar yaitu dalam orde 100 detik atau lebih. (Chakrabarti,1989).

TLP merupakan suatu struktur (*ocean structure*) yang unik, bukan termasuk fixed structure dan juga bukan merupakan sebuah floating structure untuk platform yang digunakan dalam proses produksi minyak dewasa ini. Metode analisis dan criteria desain yang digunakan untuk merancang struktur yang sudah ada (baik fixed ataupun floating) juga digunakan dalam pendesainan TLP. Akan tetapi, bagaimanapun juga perancang harus mempertimbangkan batas – batas validitas



dari metode dan formulanya. Riset yang dilakukan dewasa ini memperluas cakupan batas data empiris yang diperlukan untuk menetapkan batas penting area untuk kerusakan buckling dan fatigue pada tlp. Jika data adalah yang hilang atau terputus, perancang harus melaksanakan suatu pengujian dan analisa khusus untuk menjamin keandalan dan keselamatan dari disain tersebut.

TLP terdiri dari konstruksi beton atau baja dan memerlukan metoda analisa struktur yang serupa dengan struktur lain. Prosedur dari desain struktur TLP biasanya meliputi yang langkah-langkah sebagai berikut:

- Menentukan beban global dengan melakukan suatu analisa terhadap system TLP.
- Menentukan beban hidrodinamis local dan beban lingkungan lain yang berhubungan dengan batas maksimal operasi.
- Melakukan analisa linear space frame untuk menentukan adanya saling keterkaitan antara beban – beban pada member utama.
- Melakukan pengecekan member struktur dengan batas tegangan yang diijinkan sesuai dengan tipe dari member.

2.2.2. Persamaan Gerak Platform TLP

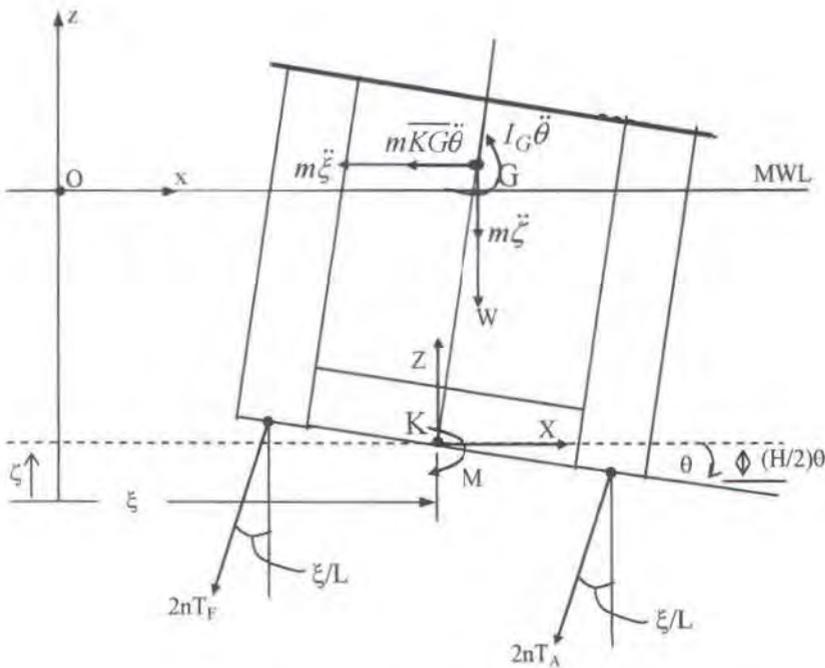
Dalam analisis gerak platform ini diasumsikan bahwa deformasi elastis platform adalah kecil dibandingkan dengan gerak platform sebagai benda-kaku (*rigid body*). Geometri platform beserta distribusi massanya diasumsikan simetri terhadap bidang geraknya sehingga semua gaya dan momen bidang yang terjadi tidak akan menyebabkan respon dalam arah-keluar-bidang (*out-of-plane response*), seperti *roll*, *sway* dan *yaw*. Platform dianggap tersusun dari rangkaian elemen-elemen tubular dengan penampang bujur sangkar dan persegi empat



sehingga kontribusi tiap-tiap elemen tersebut terhadap besaran-besaran massa tambah, redaman dan kekakuan hidrodinamisnya dihitung secara terpisah.

Akhirnya semuanya dijumlahkan untuk menyatakan kontribusi dari struktur platform secara keseluruhan.

Diagram benda bebas TLP dengan beban-beban luar yang sudah diganti dengan gaya-gaya dan momen yang terkait ditunjukkan dalam Gambar 3.1.



Gambar 2.1 diagram Benda Bebas TLP.

dimana :

- m : massa platform (struktur + payload)
- I_G : momen inersia platform (struktur + payload) terhadap CG
- W : berat platform
- n : jumlah tether tiap kolom
- T_F, T_A : gaya tarik tether (gaya tarik awal + variasi dinamis) berturut-turut untuk sisi depan dan belakang.



Acuan gerak *surge*, *heave* dan *pitch* platform mengacu pada titik K (titik *Keel*) yaitu titik perpotongan sumbu Z dengan garis horisontal pada level titik ikat tether

pada platform. Sehingga persamaan geraknya berturut-turut dapat dinyatakan dengan :

$$\text{Surge : } X - 2n(T_F + T_A) \frac{\xi}{L} - m\ddot{\xi} - \overline{mKG}\ddot{\theta} = 0 \quad (2.1)$$

$$\text{Heave : } Z - W - 2n(T_F + T_A) - m\ddot{\zeta} = 0 \quad (2.2)$$

Pitch :

$$M + W\overline{KG}\theta + nH(T_A - T_F) - (I_G + \overline{mKG}^2)\ddot{\theta} - \overline{mKG}\ddot{\zeta} = 0 \quad (2.3)$$

dimana gaya X , Z dan momen M yang timbul dari faktor hidrostatik dan hidrodinamis, tergantung pada displasemen ξ , ζ dan θ serta percepatan yang terkait $\ddot{\xi}$, $\ddot{\zeta}$ dan $\ddot{\theta}$ dari platform. Dalam hal ini gaya seret viskos diabaikan.

Komponen-komponen gaya heave Z terdiri atas :

$$Z = Z_o + Z_w + Z_m$$

dimana :

Z_o : pada kondisi setimbang (= gaya apung)

Z_w : gaya heave akibat gelombang

Z_m : gaya heave akibat gerak platform.

Bila gerakan dianggap kecil maka Z_m tersusun atas :

$$Z_m = (Z_\xi\xi + Z_\zeta\zeta + Z_\theta\theta) + (Z_{\xi\ddot{\xi}}\ddot{\xi} + Z_{\zeta\ddot{\zeta}}\ddot{\zeta} + Z_{\theta\ddot{\theta}}\ddot{\theta}) \quad (2.4)$$

dimana, sebagai contoh, :

Z_ζ : kekakuan hidrostatik vertikal akibat satu satuan displasemen heave.

$Z_{\theta\ddot{\theta}}$: massa tambah vertikal akibat satu satuan percepatan pitch.

Suku pertama dan kedua pada persamaan (2.4) berturut-turut menyatakan gaya kekakuan hidrostatik dan gaya inersia hidrodinamis. Sementara itu gaya surge X dan momen pitch M dapat diturunkan dengan cara yang sama.



2.2.3. Teori Gelombang

2.2.3.1. Teori Gelombang Airy (Linier)

Dalam bukunya, Dawson (1983) menuliskan bahwa teori gelombang linier merupakan teori gelombang yang relatif sederhana dengan mengasumsikan bentuk gelombang sinusoidal dimana tinggi gelombang H adalah kecil dibandingkan dengan panjang gelombang L dan kedalaman perairan d .

Formulasi-formulasi untuk perairan dangkal, dimana $d/L < 1/20$ adalah sebagai berikut (Airy, 1842, dalam Chakrabarti, 1986, dan Dawson, 1983):

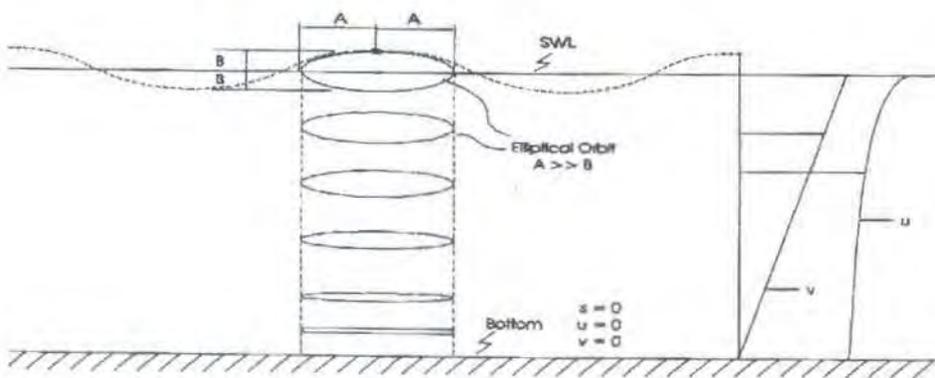
$$L = \sqrt{gd} \quad (2.5)$$

$$u = \frac{\omega H}{2kd} \cos(kx - \omega t) \quad (2.6)$$

$$v = \frac{\omega H}{2d} \cos(kx - \omega t) \quad (2.7)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.8)$$

$$k = \frac{2\pi}{L} \quad (2.9)$$



Gambar 2.2. Orbit partikel dan kinematik teori gelombang Airy untuk perairan dangkal (Chakrabarti, 1986)



dimana :

U = kecepatan horisontal air pada koordinat (x,y) dari suatu kedalaman d

V = kecepatan vertikal air pada koordinat (x,y) dari suatu kedalaman d

ω = frekwensi gelombang

k = angka gelombang

g = percepatan gravitasi

d = kedalaman perairan

H = tinggi gelombang

t = tinjauan waktu

T = periode gelombang

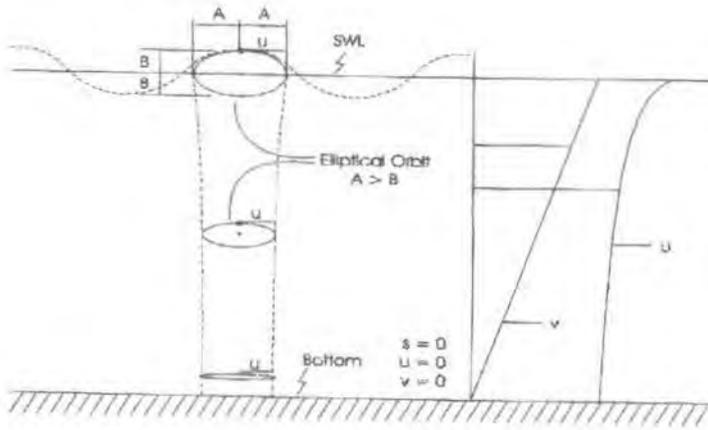
L = panjang gelombang

Formulasi-formulasi untuk perairan menengah, dimana $1/20 < d/L < 1/2$ adalah sebagai berikut :

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh kd \quad (2.10)$$

$$u = \frac{\omega H}{2} \frac{\cosh ky}{\sinh kd} \cos(kx - \omega t) \quad (2.11)$$

$$v = \frac{\omega H}{2} \frac{\sinh ky}{\sinh kd} \cos(kx - \omega t) \quad (2.12)$$



Gambar 2.2. Orbit partikel dan kinematik teori gelombang Airy untuk perairan menengah (Chakrabarti, 1986)

Formulasi-formulasi yang digunakan perairan dalam, dimana $d/L > 1/2$ adalah sebagai berikut :

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (2.13)$$

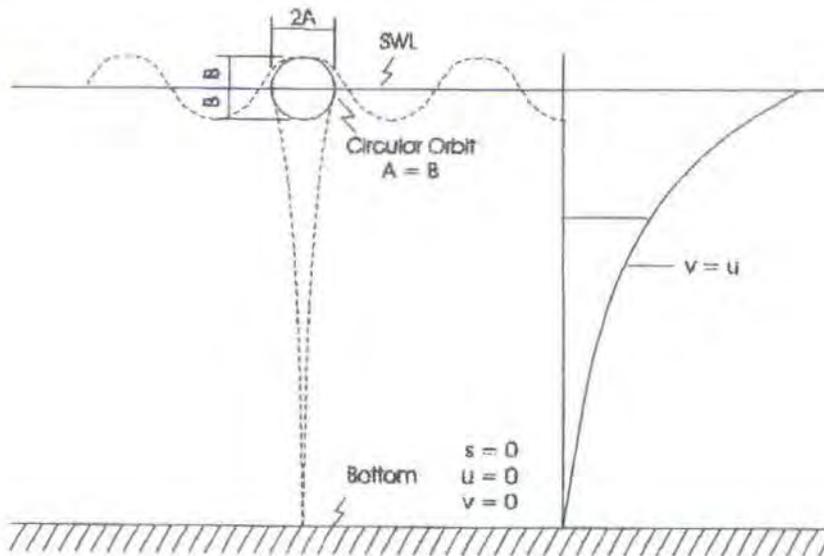
$$u = \frac{\omega H}{2} e^{k(y-d)} \cos(kx - \omega t) \quad (2.14)$$

$$v = \frac{\omega H}{2} e^{k(y-d)} \sin(kx - \omega t) \quad (2.15)$$

Sedangkan komponen-komponen percepatan untuk ketiga perairan diatas adalah :

$$a_x = \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.16)$$

$$a_y = \frac{\partial v}{\partial t} \quad (2.17)$$



Gambar 2.3. Orbit partikel dan kinematik teori gelombang Airy untuk perairan dalam (Chakrabarti, 1986)

dimana :

a_x = percepatan horisontal air pada koordinat (x,y) dari suatu kedalaman d

a_y = percepatan vertikal air pada koordinat (x,y) dari suatu kedalaman d

2.2.3.2 Teori Morison

Secara umum, gaya lingkungan yang bekerja pada struktur-struktur lepas pantai adalah berupa gaya gelombang, arus angin dan gaya akibat pasang surut air laut.

Formulasi beban gelombang secara garis besar dibagi dalam 2 cara perhitungan, yaitu dengan persamaan Morison dan teori difraksi. Perhitungan beban dengan persamaan Morison :

$$F = F_i + F_d \quad (2.18)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} F &= F_{inertia} + F_{drag} \\ &= \rho C_I A \dot{u} + \frac{1}{2} \rho C_D d u |u| \end{aligned} \quad (2.19)$$



dimana :

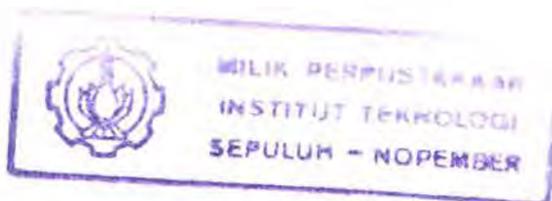
- F = gaya Morison per satuan panjang
- ρ = massa jenis air laut
- A = luas penampang struktur
- d = diameter luar struktur
- C_I = koefisien inersia
- C_D = koefisien seret
- u = kecepatan horizontal partikel gelombang
- \dot{u} = percepatan horizontal partikel gelombang.

Dengan memasukkan gerakan struktur dan arus laut, maka persamaan Morison diatas berubah menjadi :

$$F = -\rho C_A A \ddot{x} + \rho C_I A \dot{u} + \frac{1}{2} \rho C_D d (u + c - \dot{x})(u + c - \dot{x}) \quad (2.20)$$

dimana :

- \dot{x} = kecepatan gerak struktur
- \ddot{x} = percepatan struktur
- c = kecepatan arus laut
- C_A = koefisien massa-tambah ($C_A = C_M - 1$).



Suku $\rho C_A A$ pada pers.(2.16) merupakan massa-tambah (*added mass*) fluida (massa fluida disekitar dinding struktur yang ikut bergerak bersama struktur).

Platform TLP memiliki sarat (draft) yang cukup dalam sehingga tether berada pada area yang memiliki pengaruh gelombang cukup kecil, sehingga kecepatan dan percepatan partikel gelombangnya diabaikan.

Maka persamaan Morison pada tether TLP dapat dinyatakan sebagai :

$$F = -\rho C_A A \ddot{x} + \frac{1}{2} \rho C_D d (c - \dot{x})(c - \dot{x}) \quad (2.21)$$



2.2.3.3. Spektrum Elevasi Gelombang

Gelombang yang menjadi beban eksternal yang bekerja pada struktur TLP merupakan gelombang irreguler. Gelombang irreguler/acak mempunyai periode dan panjang gelombang yang berbeda-beda. Penggambaran energi gelombang acak pada umumnya menggunakan spectrum. Penggambaran gelombang irreguler secara statistik dimulai oleh Pierson dan St. Denis. Hasil penggambaran ini memberikan kuantifikasi sifat-sifat gelombang dan permukaan laut dan akhirnya dijadikan acuan untuk mengidentifikasi perilaku bangunan apung di laut. Penggambaran gelombang laut dapat dilakukan dengan 4 cara yaitu (Hadi, S., 1996) :

1. Gelombang maksimum (H_{maks} , T_{maks}), yang merupakan tinggi maksimum didalam grup gelombang.
2. Sepersepuluh gelombang tertinggi ($H_{1/10}$, $T_{1/10}$), yang merupakan rata-rata dari sepersepuluh gelombang-gelombang tinggi dari suatu grup gelombang.
3. Gelombang significant ($H_{1/3}$, $T_{1/3}$), yang merupakan rata-rata dari sepertiga gelombang tertinggi suatu grup gelombang.
4. Gelombang rata-rata (H , T), yang merupakan rata-rata dari suatu grup gelombang.

Dalam rekayasa kelautan yang paling sering digunakan adalah gelombang significant yang secara matematis dapat rumuskan :

$$H_{1/3} = \frac{3}{N}(H_1 + H_2 + \dots + H_{N/3}) \quad (2.22)$$

Dengan N = jumlah gelombang grup



Kalau kita perhatikan gelombang laut maka akan kita dapatkan bentuk gelombang yang selalu berbeda, tetapi tetap memiliki energi yang sama. Berdasarkan prinsip hukum kekekalan energi bahwa energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan maka dalam penggambaran gelombang digunakan bentuk spectra. Spektra energi gelombang memberikan informasi seberapa besar energi yang diterima oleh bangunan lepas pantai.

Spektrum energi gelombang mempunyai distribusi yang bermacam-macam tergantung pada tempat dilakukannya observasi. Pembuatan spectrum energi berdasarkan atas karakteristik gelombang, antara lain :

- a) Range frekuensi yang penting dalam kontribusi energi gelombang laut.
- b) Frekuensi dimana energi maksimum terjadi
- c) Kandungan energi pada band (pita) frekuensi yang berbeda-beda.
- d) Adanya *swell* di frekuensi tertentu

Pemilihan spectrum energi gelombang didasarkan atas situasi riil lingkungan dan bila tidak ada maka dapat digunakan model spectrum yang dikeluarkan oleh berbagai institusi atau perorangan dengan pertimbangan adanya kesamaan fisik lingkungan.

Spektrum energi ini merupakan fungsi dari frekuensi. Perumusan gaya gelombang dilakukan dengan menggunakan spektrum diantaranya JONSWAP, ITTC dan Pierson- Moskowitz. Perumusan spektrum gelombang menggunakan Spektrum Jonswap, Perumusan dan pengamatan spektrum gelombang JONSWAP



mengambil contoh daerah North Sea. Sehingga bila dilihat dari kesamaan antara North Sea dan Selat Makasar maka penggunaan spektrum JONSWAP cukup relevan untuk menggambarkan energi gelombang pada ketiga arah gerakan.

Perumusan teori spektrum Jonswap adalah sebagai berikut :

$$S(\omega) = \left[\frac{5H_s^2 \varpi^{-5}}{16\omega_p} \right] (1 - 0.287 \ln \gamma) \gamma^\beta \exp(-1.25 \varpi^{-4}) \quad (2.23)$$

dimana : ω = frekuensi (Hz)

$$\omega_p = 1/T_p$$

$$\varpi = \omega/\omega_p$$

$$\beta = \exp\left(-\left(\frac{\varpi-1}{2a}\right)^2\right)$$

$$a = 0.07 \text{ untuk } \varpi < 1$$

$$a = 0.09 \text{ untuk } \varpi > 1$$

2.2.4. Analisa Dinamis dari Tether (Tendon) .

Dalam perencanaan TLP masalah utama yang sering dihadapi adalah penentuan perilaku dinamis struktur pada saat mendapat pembebanan dari lingkungan sekitarnya, dalam bentuk gelombang laut, angin dan arus. Gelombang laut pada umumnya dinyatakan dalam bentuk spektrum gelombang.

Dalam analisa TLP tendon seringkali diidealisasikan sebagai pegas yang tak bermassa, hal ini dilakukan untuk mengurangi permasalahan pada gerakan benda kaku yang memiliki 6 derajat kebebasan. Mode gerakan pada TLP terdiri atas



mode gerakan horisontal (Surge, Sway dan Yaw) dan mode gerakan vertikal (Heave, Pitch dan Roll)

Tujuan dari analisa dinamis tendon adalah untuk menghitung parameter respon dinamis dari tendon tersebut. Parameter respon tersebut akan tergantung terhadap besarnya diameter dari tendon. Terdapat dua konsep tendon yang sudah dirumuskan, yaitu:

- Tendon berdiameter kecil dengan join ulir seperti yang terpasang pada TLP hutton ($d = 0,25 \text{ m}$)
- Tendon berdiameter besar yang dihubungkan oleh baut (bolted) $d = 1,0 \text{ m}$

Bending stress dan lateral displacement dalam banyak kasus diabaikan untuk tendon berdiameter kecil.

Hasil dari analisa dinamis akan muncul dalam bentuk time series, respon spectra (kasus gelombang irregular) atau respon amplitude (gelombang regular). Informasi ini lebih lanjut akan digunakan untuk mengestimasi harga respon ekstrem dan fatigue yang terjadi selama rentang lifetime dari platform. Dan harga yang didapat harus dapat dikontrol agar sesuai dengan peraturan dan regulasi yang ada.

2.2.5. Analisis Domain Waktu

Secara umum persamaan dinamis dari multi – degree of freedom (MDOF) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F^I(t) + F^D(t) + F^S(t) = Q \quad (2.24)$$



Dimana;

F^i : vector gaya insia

F^D : Vektor gaya pengembali

F^S : vector gaya kekakuan

Q : Vektor beban eksternal

Dengan penyelesaian persamaan oleh prosedur time integration. Salah satu pilihan solusi dalam hubungannya dengan respon time history $r(t)$. secara umum, dalam semua matriks system (mass, damping, stiffness) dapat menjadi fungsi respon atau fungsi waktu, seperti pada kasus load vector (non – linear analysis). Matriks system konstan memberikan sebuah linear analysis.

2.2.6. Analisis Domain Frekuensi

Persamaan dinamis pada sebuah system linear dapat dirumuskan sebagai berikut;

$$M(\omega) \ddot{u} + C(\omega) \dot{u} + K(\omega) u = X e^{i\omega t} \quad (2.25)$$

Dimana :

$M(\omega)$ = Mass matrix

$C(\omega)$ = Damping Matrix

$K(\omega)$ = Stifness matrix

X = Vektor beban sebagai masukan dalam amplitude beban pada semua derajat kebebasan.

u = vector displacement

penyelesaian dari persamaan diatas dapat ditentukan sebagai;

$$u(\omega) = H(\omega) X(\omega) \quad (2.26)$$

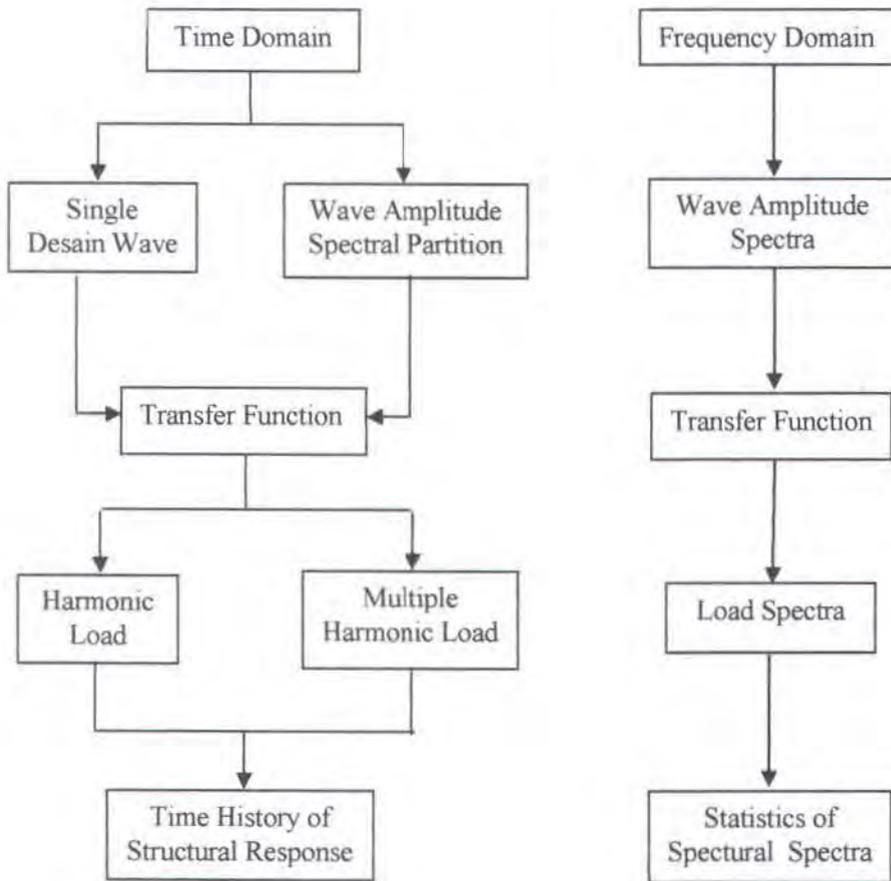


dimana :

$H(\omega) = [K - \omega^2 M + i\omega C]$ Adalah matriks *complex frekuensi respon*

Penggunaan frekuensi domain mempunyai keunggulan, diantaranya perhitungannya yang sedikit dan sederhana. Analisis frekuensi domain telah dilakukan secara intensive dalam penyelesaian *floating vessel dynamics* baik untuk analisis gerak maupun gaya. (Price dan Bishop, 1974). Sedangkan untuk TLP analisis ini juga pernah dilakukan. (Botelho,1984). Analisis frekuensi domain menyaratkan persamaannya dalam bentuk linier, sehingga untuk variabel persamaan yang berbentuk nonlinier seperti *drag load* dan *horizontal restoring force* perlu mengalami linierisasi. Proses linierisasi ini dapat dilakukan dengan menggunakan teknik *equivalent liniarization* atau pelinieran *operating point*.

Dalam penyelesaian respon dinamis sebuah gerakan, ada beberapa pendekatan untuk menyelesaikannya yaitu *time domain* dan *frequency domain*. pendekatan *time domain* menghasilkan sebuah *time history* respon gerakan sedangkan hasil dari *frequency domain* akan tampak sebagai data statistic. Secara sederhana kedua metode itu dapat digambarkan sebagai berikut :



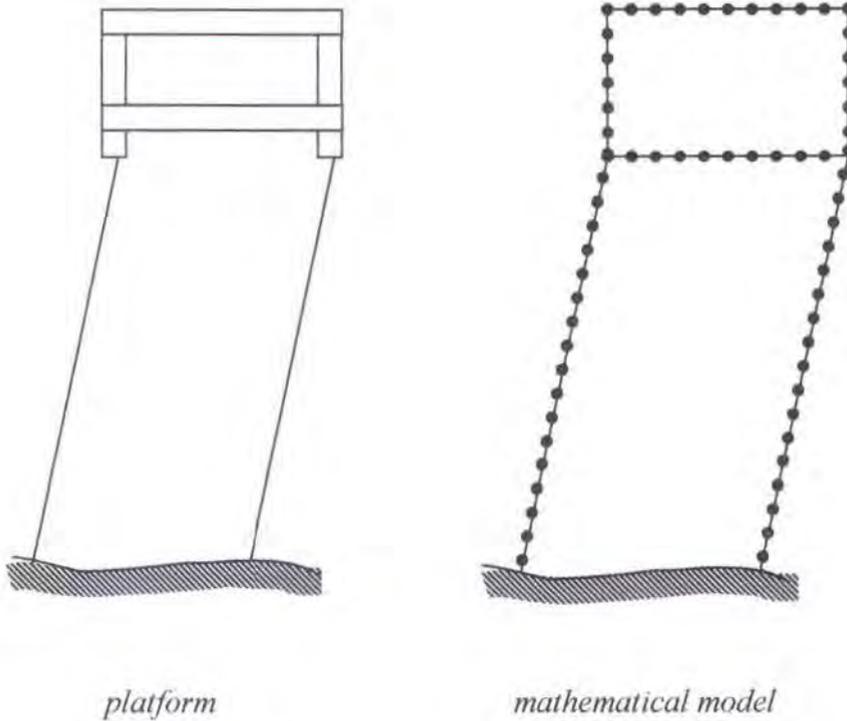
Gambar 2.4. Analisa dinamis struktur

Analisa dinamis gerakan *Tension Leg Platform* dapat dilakukan dengan dua metode pendekatan, yaitu coupled analysis dan uncoupled analysis.

Couple analysis menggunakan pendekatan melalui gerakan platform dan gaya tendon secara simultan dihitung dengan model matematik yang, termasuk perilaku dinamik tendon. Sehingga persamaan antara gaya pada platform dan tendon didapatkan. Tujuan utama dari couple analysis adalah untuk menyelidiki interaksi



nonlinier antara gerakan dinamis tendon dan respon *heave* platform, kemudian diselesaikan dengan *time domain analysis*. Dalam couple analysis juga termasuk efek fleksibilitas dari hull platform antara dua tendon.



gambar.2.5. coupled analysis

Uncoupled analysis , gerakan platform dihitung dengan mengasumsikan tether berupa *linier weighless springs*. Perhitungan gerakan kemudian digunakan

sebagai gaya perpindahan dalam penyelesaian analisa tether. Pendekatan ini mungkin akan menghasilkan harga yang berbeda antara gaya tether pada model gerakan platform dan dalam model analisa gaya tether. Sebagai alternative, gaya reaksi tether dari analisa platform dapat digunakan sebagai gaya aksial eksternal atau gaya vertical dalam kombinasi dengan perpindahan lateral dalam analisa gaya tether.



Hasil dari analisis quasi-statis merupakan hasil terbaik yang mungkin dihasilkan untuk gaya aksial dengan pendekatan *uncouple*. Untuk tether dimana efek dari bending diabaikan, maka tidak dibutuhkan analisa dinamis. Tujuan utama dari analisa dinamis tether pada umumnya untuk menghitung tegangan bending dan rotasi yang timbul pada perilaku tether.

Gaya tether pada upper end dipilih menjadi input daripada vertical displacemen. Alasan untuk ini terlihat ketika inspeksi tether pada posisi statis offset terhadap arus seperti pada gambar. Tether lurus memiliki stiffness aksial diberikan oleh EA/I , sementara tether busur meningkatkan fleksibilitas (menurunkan stiffness) karena bentuknya. Pengaruh ini merupakan non-linier dan akan meningkat sebanding dengan membesarnya busur. Untuk mendapatkan gaya aksial yang sesuai dalam analisa dinamis, gaya *top end* harus dikenalkan langsung.

2.2.7. Pemodelan dengan Metode Elemen Hingga

Pemodelan dilakukan untuk menyederhanakan persoalan dan memudahkan analisa gerakan. Model harus dibuat sedemikian rupa sehingga mewakili keadaan sebenarnya dari suatu sistem gerakan. Dalam pembuatan model ada 2 cara yang biasa dilakukan yaitu :

1. Lumped Parameter Model (*discrete model*)

Pemodelan sebuah sistem gerakan benda yang diwakili oleh sebuah massa bergumpal diujungnya. Pemodelan ini memang tidak mewakili kondisi



sebenarnya dari system gerakan, tetapi cukup ampuh untuk perkiraan awal dan gerakan benda secara umum.

2. Continous Model

Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik suatu system gerakan dibagi atas beberapa elemen. Diujung tiap-yiap elemen ini diberikan massa bergumpal yang merupakan pengganti dari massa tiap elemen. Pemodelan ini dinamakan *continous model*. Pemodelan jenis ini memberikan hasil yang cukup akurat mengenai keseluruhan gerakan benda.

Penggunaan metode elemen hingga berarti bahwa struktur tether dimodelkan/didiskretasi dengan menggunakan elemen balok atau batang. Jika kita ingin mempertimbangkan tegangan lentur (*bending*) maka harus kita gunakan elemen balok. Kalau kita hanya ingin mendapatkan gambaran yang baik tentang variasi tegangan tarik dan kinematika tendon maka bisa digunakan elemen batang. Dalam menentukan panjang elemennya, kita harus memepertimbangkan 2 faktor berikut :

- Frekuensi dari tendon dalam rentang beban gelombang harus direpresentasikan dan modeshape yang terkait harus menggambarkan bentuk sebenarnya secara tepat.
- Beban-beban diluar harus direpresentasikan secara tepat.

Pada prinsipnya beban-beban luar dapat dimodelkan sebagai beban terpusat atau beban konsisten (merata). Konsep beban konsisten menggambarkan beban merata pada elemen dengan memperhatikan fungsi interpolasi displasemen yang terjadi guna menyusun matrik kekakuan elemen. Sementara itu, formulasi beban terpusat





merupakan upaya penyederhanaan representasi dari beban merata tersebut. Secara umum, formulasi beban konsisten akan lebih baik karena misalnya, jika digunakan formulasi beban terpusat maka tegangan lentur akan dipengaruhi oleh panjang elemen yang kita pilih. Penggunaan baik beban maupun massa konsisten, jika dibandingkan dengan pemakaian formulasi-terpusat.

Penggunaan formulasi konsisten tersebut akan bisa mengurangi waktu komputasi sepanjang kita bisa memilih panjang elemen sepanjang mungkin semasa masih dalam batas toleransi dan hasilnya pun masih lebih akurat dibandingkan jika memakai formulasi-terpusat. Jika terkait dengan analisis suatu struktur yang sebagian terendam air (misalnya struktur TLP) maka kita harus dapat memodelkan daya apung (*buoyancy*) dengan tepat. Dalam hal ini dipakai 2 alternatif yaitu :

- Menghitung kesetimbangan antara “berat efektif” dan “gaya aksial efektif”
- Menghitung kesetimbangan antara resultan tekanan sebenarnya dan tegangan aksial sebenarnya.

Alternatif-alternatif tersebut dijelaskan dalam Sparks (1984). Biasanya, formulasi pertama lebih disukai. Formulasi ini bisa membuat analisis lebih efektif dimana gaya apung nantinya menjadi tidak bergantung pada orientasi elemen. Sebaliknya, untuk formulasi jenis kedua, menyebabkan ketergantungan diatas. Satu hal yang perlu diingat bahwa “gaya aksial efektif” selalu diperlukan untuk



menghitung suku kekakuan geometric dalam matrik kekakuan elemen.
(przemieniecki,1968).

Respon gerakan yang diamati pada struktur merupakan gerakan berderajat kebebasan banyak (Multi Degree Of Freedom). Persamaan gerakan tersebut dapat ditulis sebagai berikut :

$$[M](y)+[C](y)+[K](y)=[F(t)] \quad (2.27)$$

Apabila mempertimbangkan pengaruh gaya aksial maka persamaan diatas mengalami modifikasi, yaitu :

$$[M](y)+[C](y)+[K_c](y)=[F(t)] \quad (2.28)$$

dimana :

$$[K_c]=[K]-[K_G]$$

Dengan :

$$[M]=[C]=[K]=[K_c] = \text{dalam bentuk matriks}$$

Penggunaan matriks dalam penyelesaian respon didasarkan pada pembagian elemen yang ditinjau menjadi elemen yang lebih kecil (*discrete element*). Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan mengurangi error perhitungan yang dilakukan. Pemodelan struktur dengan menggunakan metode elemen hingga kemudian menyelesaikan persamaannya untuk mendapatkan hasil yang diinginkan digunakan dalam perhitungan respon struktur. Secara garis besar penyelesaian dengan metode elemen hingga dapat dituliskan sebagai berikut :



$$|F| = |K| |d| \quad (2.29)$$

dimana :

$$|F| = \text{matriks gaya}$$

$$|K| = \text{matriks kekakuan bahan}$$

$$|d| = \text{matriks perpindahan/displacement}$$

Arah gerakan yang dijadikan pengkajian merupakan gerakan satu dimensi *heave* (arah sumbu z) dan *surge* (arah sumbu x) serta gerakan rotasional *pitch* (perputaran terhadap sumbu x). (M. Murtedjo, 1985). Sehingga persamaan gerak berderajat banyak untuk y, y, y mengalami perubahan sesuai arah gerakan yang ditinjau. Hasil respon gerakan berupa eigenvalue (frekuensi) dan eigenfactor (displacement). Penyelesaian persamaan gerak berderajat banyak menggunakan persamaan diferensial. Penyelesaian ini diselesaikan dengan membebaskan persamaan (2.2.8) dengan transformasi koordinat, yaitu :

$$(y) = [\phi](z)$$

sehingga persamaannya menjadi :

$$Z_{n+2} + \zeta_n \omega_n Z_{n+1} + \omega_n^2 Z_n = F_n(t) \quad (2.30)$$

dimana merupakan sejumlah N persamaan differensial terlepas (uncoupled)

$$(n = 1, 2, 3, \dots, N)$$

Dalam analisis persamaan respon gerak TLP menggunakan penyelesaian frekuensi domain. Analisa frekuensi domain mengacu pada penyelesaian persamaan gerak menggunakan metode harmonik dari transformasi Laplace dan



Fourier. Hasil dari analisis frekuensi domain menjelaskan variabel-variabel gerak platform, gaya platform, gaya tether dsb sebagai fungsi dari frekuensi. Metode ini sesuai untuk sistem yang random karena dapat menjelaskan secara jelas dan langsung hubungan antara spektrum beban lingkungan dan spektrum respon.

2.2.8. Karakteristik Gerakan TLP

Sifat fisik yang berpengaruh terhadap respon sistem struktur elastis linear sebagai akibat beban atau gaya eksitasi luar adalah massa dari struktur, kekakuan struktur (stiffness) dan redaman (damping). Terhadap eksitasi gaya gelombang tersebut dapat dimodelkan respon dinamis dari struktur sebagai sistem dengan enam derajat kebebasan, dengan persamaan sebagai berikut :

$$m_{ij}\ddot{U}_j + b_{ij}\dot{U}_j + C_{ij}U_j = F_j(t) \quad (2.31)$$

dimana :

- m_{ij} : massa dan momen inersia massa tambah
- b_{ij} : koefisien gaya redaman
- C_{ij} : koefisien gaya pengembali
- $F_j(t)$: beban – beban eksitasi luar
- $\ddot{U}_j, \dot{U}_j, U_j$: displacemen, kecepatan dan percepatan struktur

Gaya luar keseluruhan adalah hasil penjumlahan seluruh komponen gaya yang bekerja pada bagian – bagian berbeda dari struktur. Komponen gaya ini memiliki sudut phase dan amplitudo yang berbeda satu dengan yang lainnya. Karena itu



pengurangan gaya eksitasi dan gerakan yang dihasilkan adalah mungkin dengan cara memilih ukuran dan konfigurasi bagian – bagian struktur agar komponen gaya tidak berada dalam satu phase antara satu dengan yang lainnya.

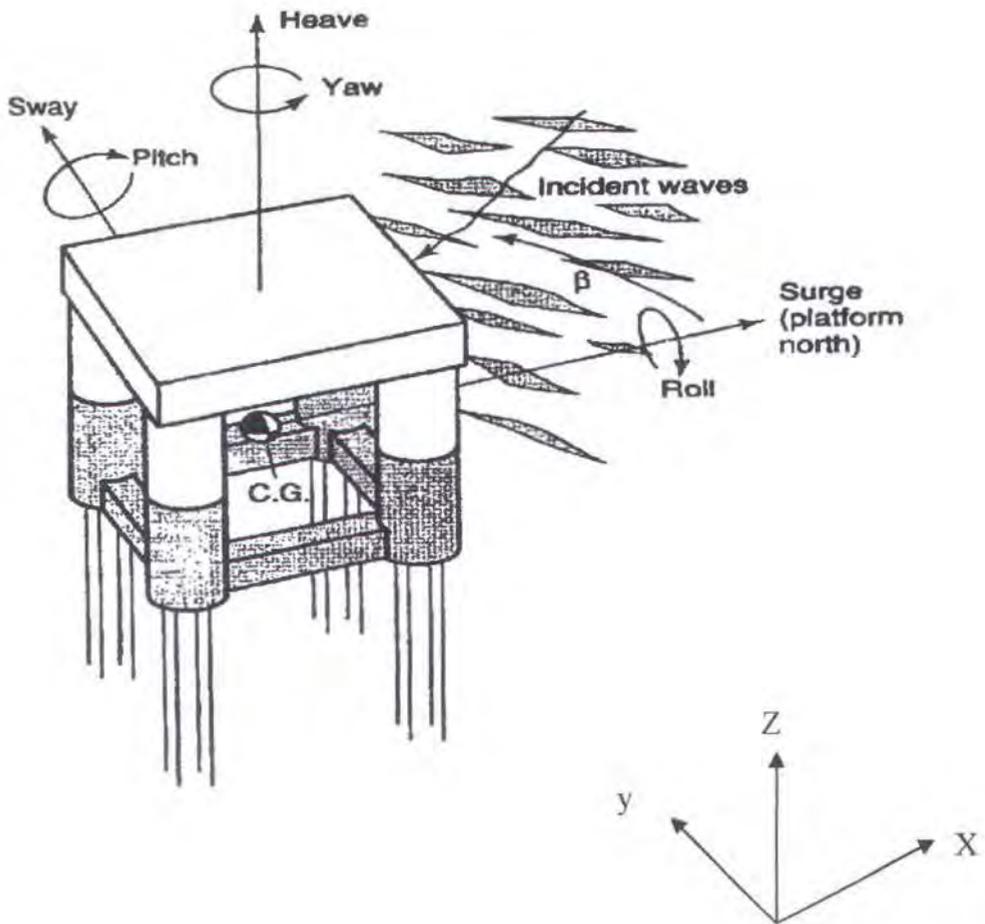
Sebagaimana struktur terapung lainnya, gerakan TLP dapat ditinjau menjadi 2 gerakan. Gerakan secara rotasional dan gerakan secara translasional. Berdasarkan sumbu koordinat yang dipakai tiap-tiap gerakan dibagi menjadi 3 arah sumbu yaitu x,y,dan z. Secara singkat gerakan TLP dapat dilihat dari :

a. Gerakan Rotasional

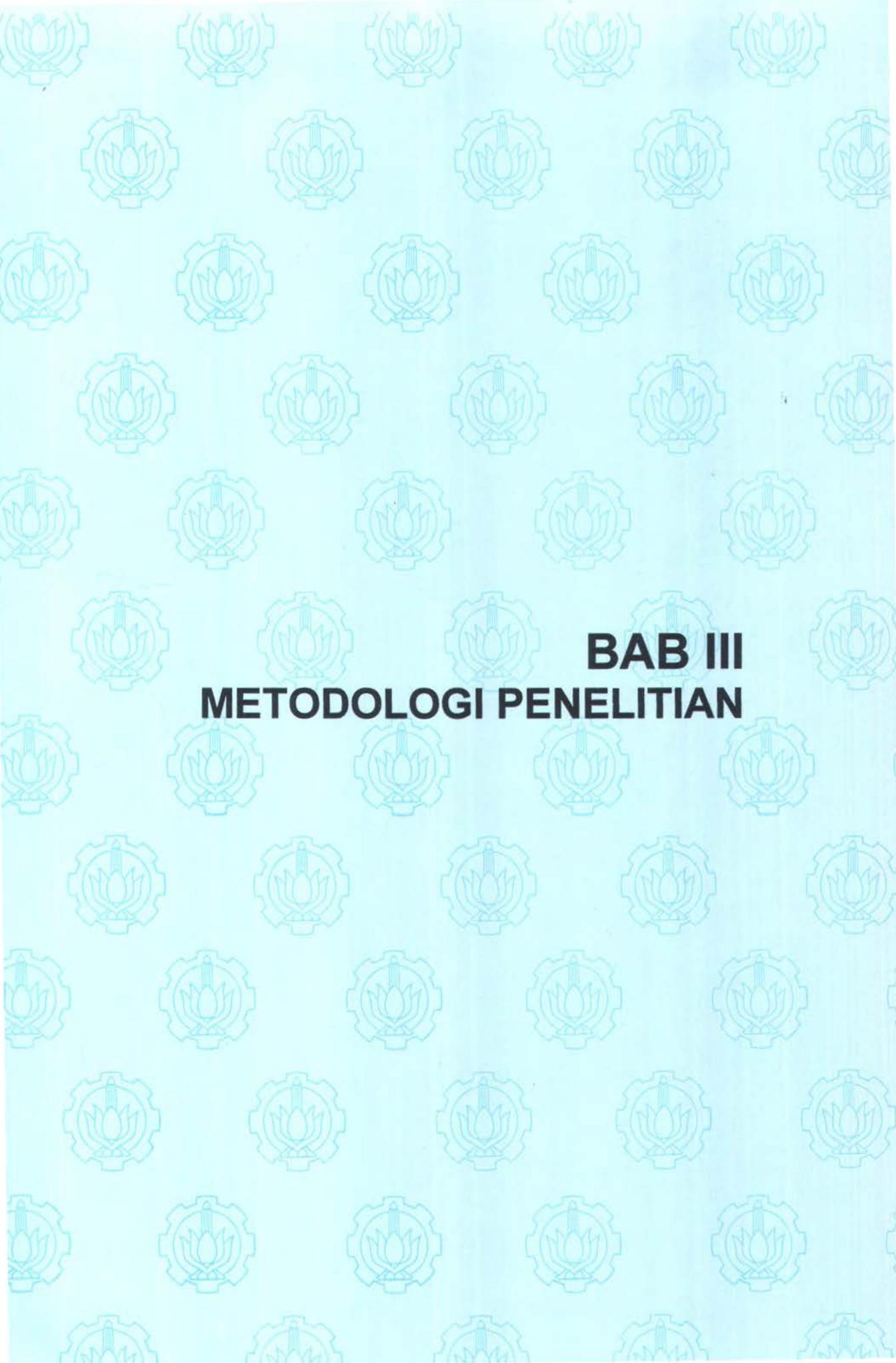
- Pitch, gerakan rotasional arah y
- Rol, gerakan rotasional arah x
- Yaw, gerakan rotasional arah z

b. Gerakan Transversal

- Sway, gerakan transversal arah y
- Surge,gerakan transversal arah x
- Heave, gerakan transversal arah z



Gambar 2.6. Arah Gerakan TLP



BAB III
METODOLOGI PENELITIAN



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang akan kami gunakan adalah metode studi pustaka dan analisa data, dengan menggunakan bantuan perangkat software untuk pembandingan hasil akhir.

3.1. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam Tugas Akhir ini, adalah data TLP “West Seno” milik UNOCAL yang beroperasi di selat Makasar.

3.2. Metodologi Penelitian

Metode yang akan digunakan untuk penelitian yang diusulkan ini adalah metode numerik dengan pendekatan Elemen Hingga. Metode tersebut dipakai dalam keseluruhan proses penelitian ini. Sedangkan penelitian ini selengkapnya akan dilakukan melalui tahapan berikut :

- **Penelusuran literatur yang terkait.**

Fokus dari penelusuran literatur ini adalah untuk mempelajari tentang pemodelan beban hidrodinamis eksitasi, karakteristik dinamis TLP serta pemodelan TLP untuk analisis respon dinamisnya.



- **Penurunan persamaan gerak TLP.**

Penurunan persamaan gerak dan menghitung matrik koefisien pada persamaan gerak TLP untuk arah *Surge*, *Heave* dan *Pitch*. Matrik tersebut meliputi matrik massa struktur, matrik massa-tambah platform, matrik kekakuan tether dan matrik kekakuan riser.

- **Pendefinisian beban lingkungan.**

Kondisi perairan didefinisikan melalui suatu spektrum elevasi (energi) gelombang dengan spektrum empiris JONSWAP. Selanjutnya dihitung spektrum gaya dan momen gelombang dalam tiga derajat kebebasan yaitu *Surge*, *Heave* dan *Pitch*.

- **Studi kasus.**

Untuk keperluan studi kasus digunakan struktur TLP milik Unocal yang akan dioperasikan di perairan selat Makasar dengan kedalaman ± 950 m. Akhirnya beban gelombang dan koefisien-koefisien matrik persamaan gerak yang sudah diturunkan sebelumnya diaplikasikan untuk TLP di atas.

- **Pembuatan model elemen hingga dari TLP.**

TLP dimodelkan secara dua dimensi dengan software elemen hingga, software yang digunakan untuk proses pengerjaan Tugas Akhir ini adalah *MSC Nastran for windows* dan dilakukan perhitungan untuk mencari responnya dalam domain frekuensi untuk ketiga arah yang ditinjau.

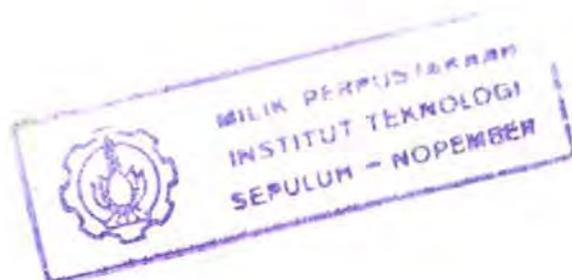


- **Perhitungan spektrum respon dinamis TLP.**

Spektrum respon gerak platform-TLP untuk arah *Surge*, *Heave* dan *Pitch* sebagai fungsi frekuensi dihitung dengan model elemen hingga yang sudah dibuat.

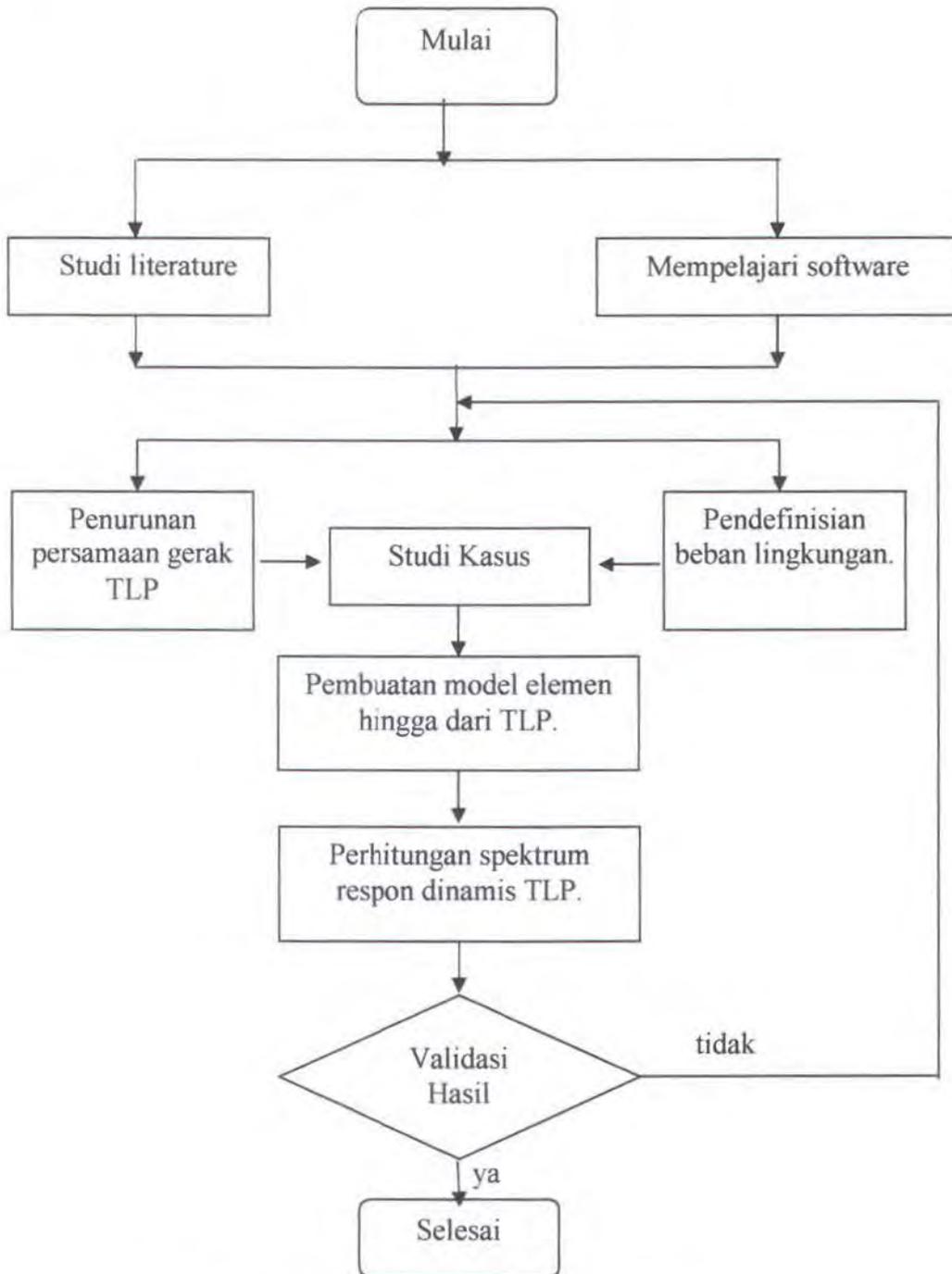
- **Validasi hasil perhitungan.**

Hasil analisis dibandingkan dengan hasil penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya.

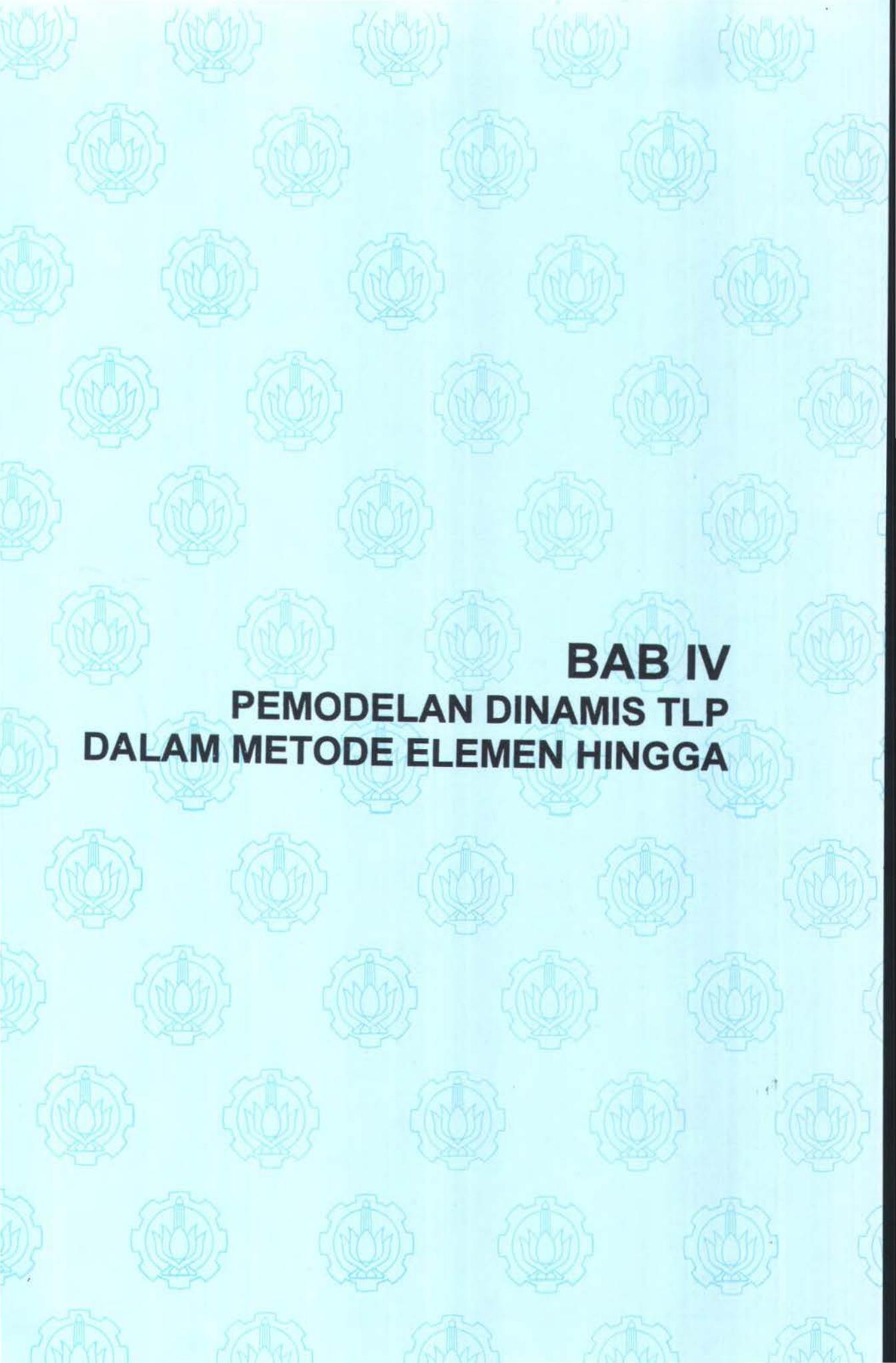




3.3. Diagram Alir



Gambar 3.1. Diagram Alir Metodologi Penelitian



BAB IV
PEMODELAN DINAMIS TLP
DALAM METODE ELEMEN HINGGA



BAB IV

PEMODELAN DINAMIS TLP DALAM METODE ELEMEN HINGGA

4.1. Gambaran Umum

Dalam pelaksanaan pengerjaan tugas akhir ini, data struktur yang kita peroleh akan di analisa dengan melalui beberapa tahapan, yaitu analisa data, pemodelan struktur, dan uji laboratorium, kemudian kita dapatkan hasil yang kita inginkan. Tetapi dalam sistematika pengerjaan tugas akhir ini, penulis hanya melakukan dua tahapan yaitu pemodelan struktur dan analisa data.

Pemodelan struktur *Tension Leg Platform* dilakukan dalam metode elemen hingga dengan bantuan perangkat lunak, dalam hal ini penulis menggunakan software struktur *MSC NASTRAN for windows*

Pemodelan dilakukan untuk melihat pengaruh dari keberadaan riser terhadap respon dinamis dari struktur TLP dalam arah surge, heave, dan pitch.

4.2. Data Awal Struktur

Data awal struktur yang digunakan adalah data struktur TLP West Seno, yang beroperasi di selat Makasar dengan kedalaman perairan ± 3120 ft atau ± 950 m.



4.2.1. Data Platform

Data Struktur Atas TLP :

Sarat	: 23,77 m
Dimensi Kolom	: 9 x 9 m ²
Panjang tiap kolom	: 33,528 m
Dimensi Ponton	: 7,5 x 9 m ²
Panjang tiap pontoon	: 32,148 m
V Displasmen	: 16.974,1 m ³
Berat total (Platform + payload)	: 30.607 kips = 136.201,5 KN
Kedalaman Perairan	: 975 m
Jumlah Kolom	: 4 buah dengan penampang bujur sangkar
Jumlah Ponton	: 4 buah dengan penampang persegi empat

Data Riser TLP :

Panjang	: 3.238 ft (986,94 m)
Diameter Luar	: 13,375 in (0,339 m)
Ketebalan Casing	: 0,48 in (0,012 m)
Modulus Young (E')	: 30.000 ksi
Pretension tiap riser	: 479,16 kips (2132,29 KN)
Pretension total riser	: 11.500 kips (51.175 KN)
Kombinasi riser	: 12 dan 24 riser
Jarak antar kelompok riser I (H _{R1})	= 30 ft (= 9,144 m)
Jarak antar kelompok riser II (H _{R2})	= 60 ft (= 18,288 m)
Jarak antar kelompok riser III (H _{R3})	= 90 ft (= 27,432 m)



Data Tether TLP :

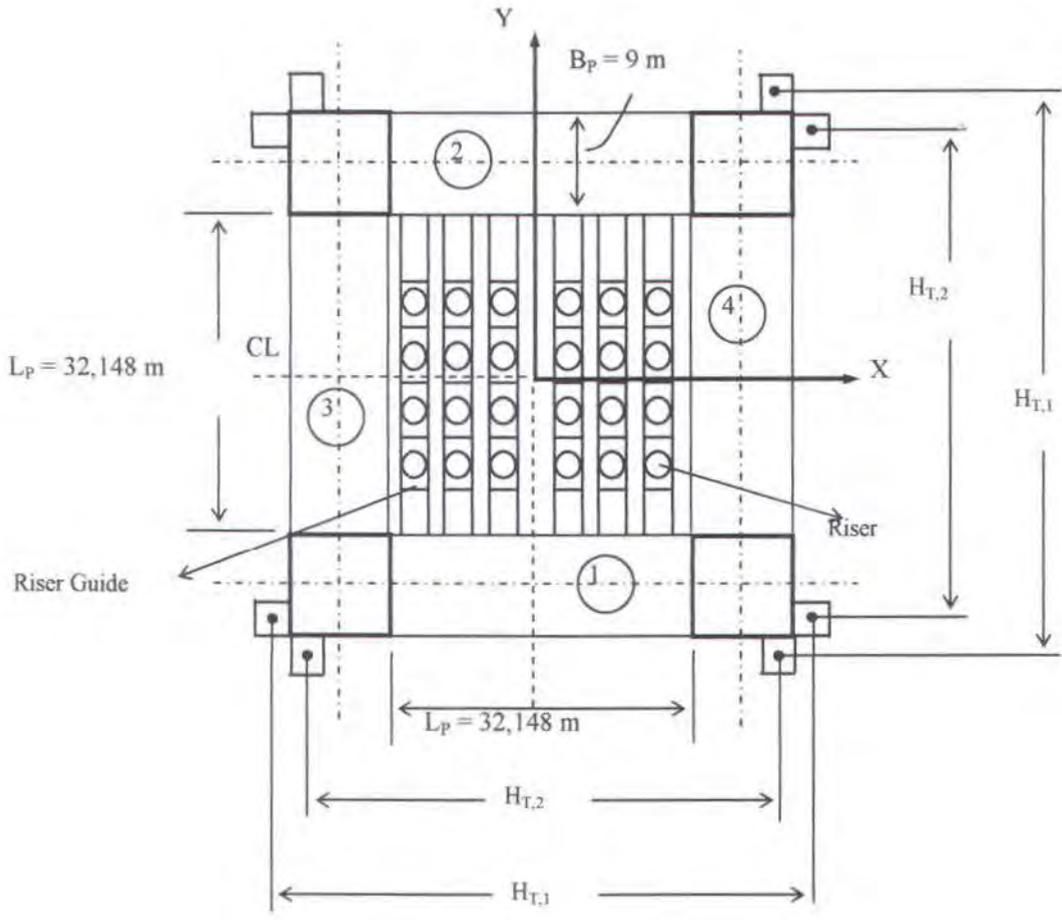
- Panjang : 3.120 ft (950.976 m)
- Diameter Luar : 26 in (0,66 m)
- Ketebalan dinding : 1,1 in (0,03 m)
- Modulus Young (E') : 30.000 ksi
- Pretention tiap tether : 970 kips (4316,5 KN)
- Pretension total seluruh tether : 7760 kips (34.532 KN)
- Jarak antar kelompok tether I (H_{T1}) = 175 ft (= 53,34 m)
- Jarak antar kelompok tether II (H_{T2}) = 155 ft (= 47,244 m)

4.3. Pemodelan Struktur

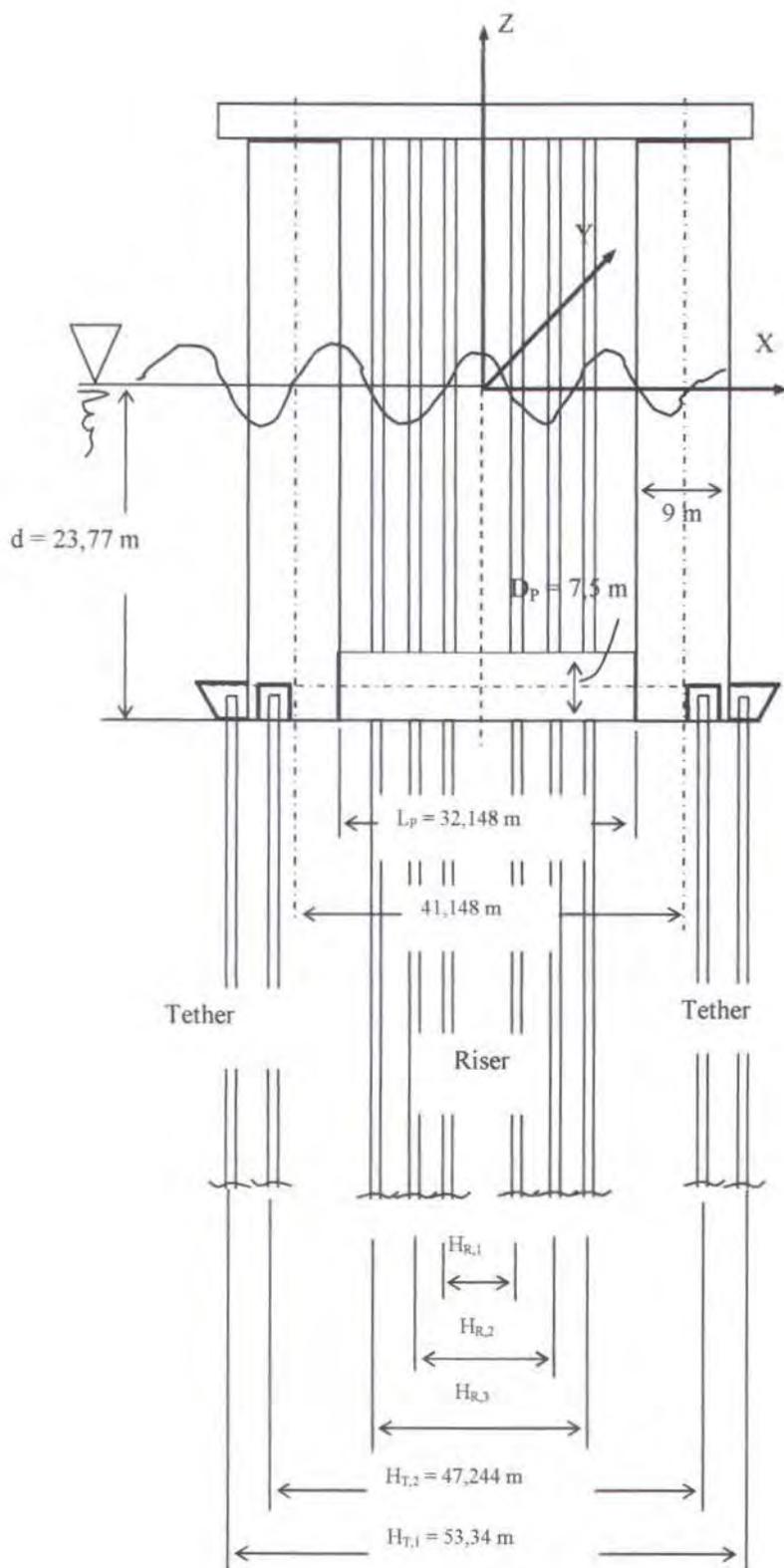
Pemodelan struktur ini dilakukan dengan menggunakan *software* MSC Nastran *for Windows*, sesuai dengan data yang didapat baik dalam bentuk gambar maupun dalam bentuk laporan. MSC Nastran *for Windows* ini merupakan salah satu *software* struktur yang berdasarkan *finite element method* (FEM).



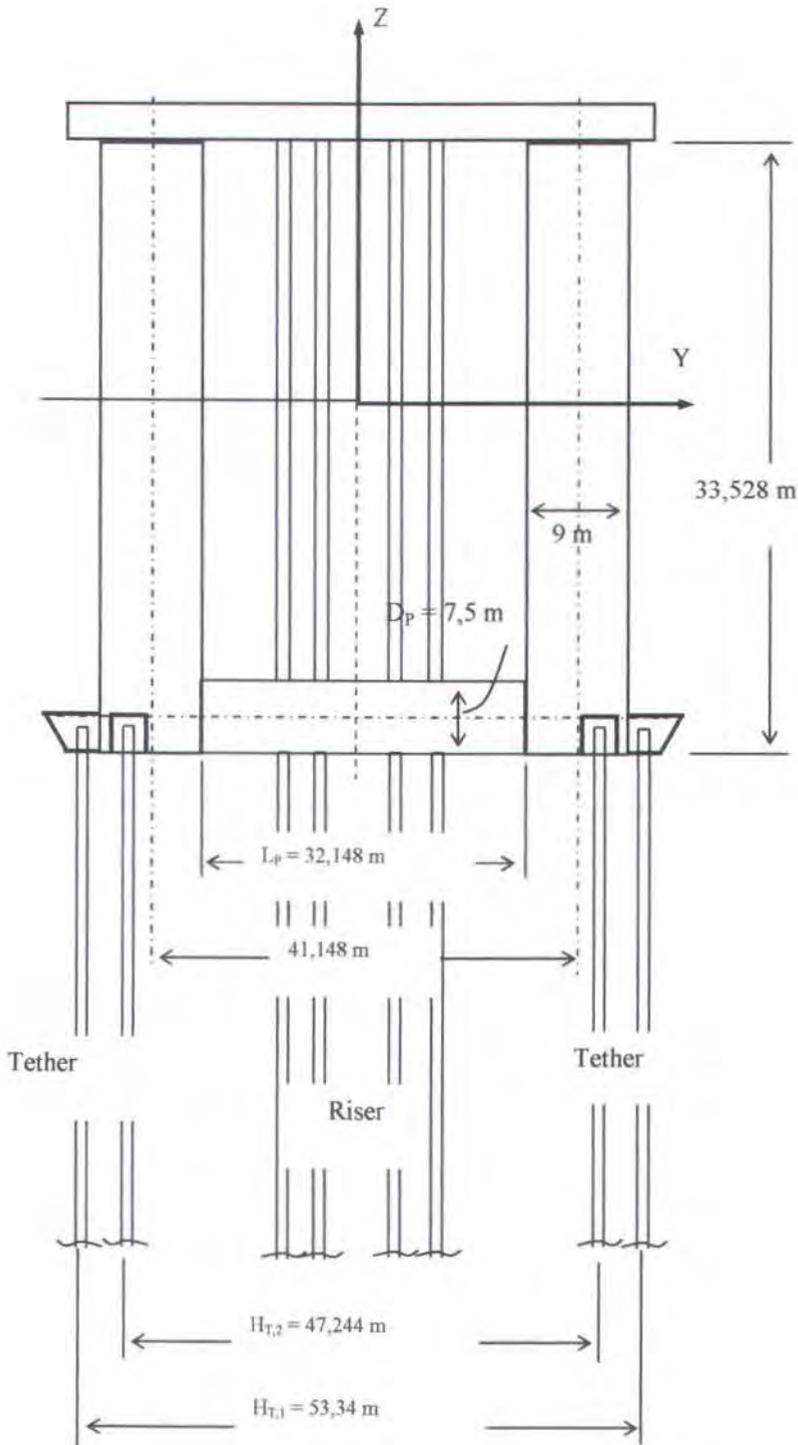
Model TLP Unocal West Seno A :



Gambar 4.1. TLP tampak atas (bidang X-Y)

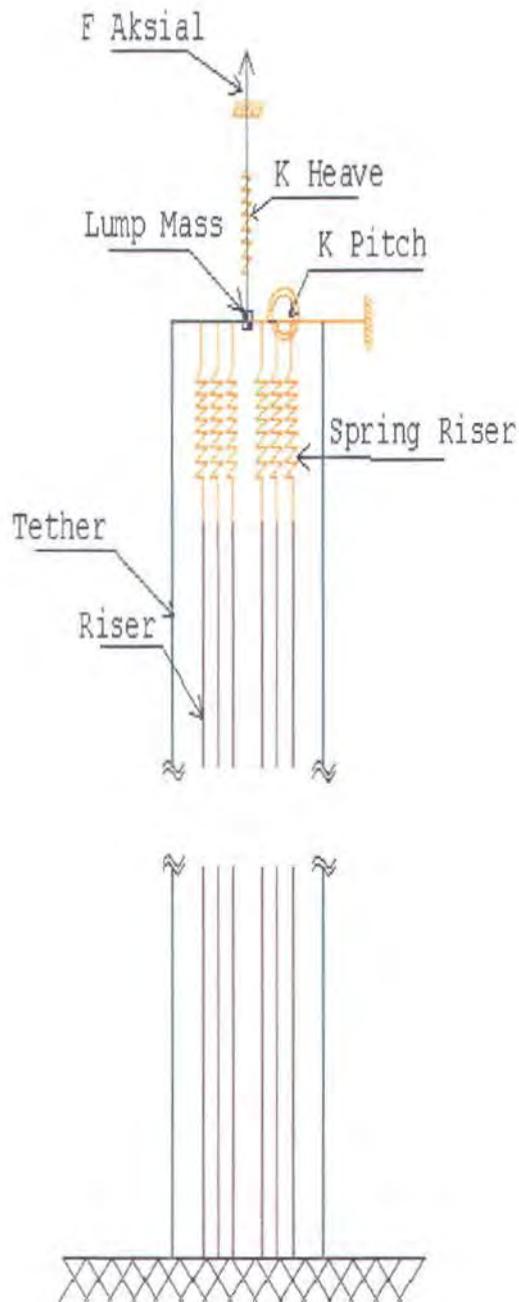


Gambar 4.2. TLP dalam Bidang bidang X-Z.



Gambar 4.3. TLP dalam bidang Y-Z.

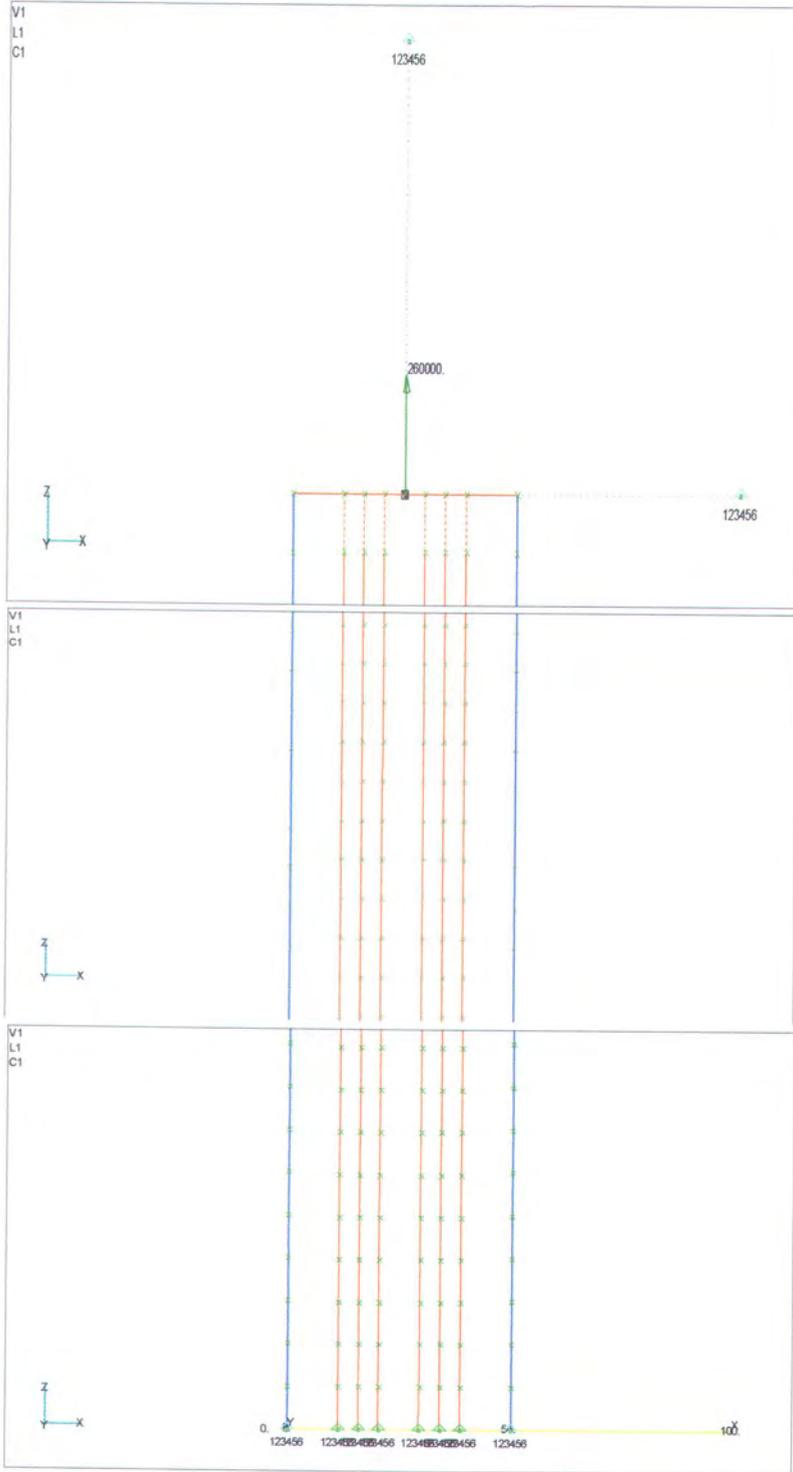
Pemodelan Dengan Metode Elemen Hingga :



Gambar 4.4. Pemodelan TLP Dalam Metode Elemen Hingga



Pemodelan Dalam Software (MSC Nastran for Windows)



Gambar 4.5. Model TLP Dalam MSC Nastran



4.3.1. Pemodelan Struktur Atas

Pemodelan struktur atas TLP juga dimodelkan dalam bentuk dua dimensi, struktur atas TLP dimodelkan dengan menggunakan bentuk *rigid body*. Pemodelan dengan bentuk *rigid body* digunakan karena struktur geladak hanya memberikan kontribusi beban massa dan beban massa tambah.

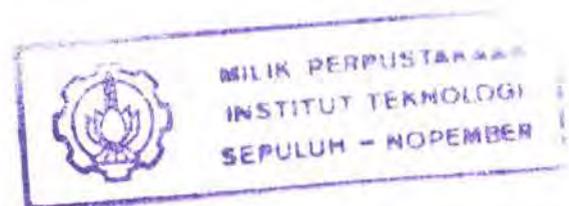
4.3.2. Pemodelan Riser

Jumlah riser akan dimodelkan dalam dua bentuk, yaitu 12 riser dan 24 riser. Dengan kombinasi letak riser dan 4 x 6 riser (gambar 4.3), dengan pemodelan dua dimensi maka kondisi 12 riser dan maksimum riser diwakili oleh 6 konfigurasi riser. Sehingga untuk mendapatkan kekakuan yang sama dengan 12 dan 24 riser maka tiap – tiap riser memiliki kekakuan yang mewakili 2 dan 4 riser, sebagai contoh untuk kondisi 12 riser beroperasi;

$$K = EA/L$$

$$2K = 2EA/L$$

$$A = 2 \times 0,006 \text{ m}^2 = 0,012 \text{ m}^2$$



Riser dimodelkan dalam elemen beam dengan *shape* tubular sepanjang 951 m, dengan memiliki kekakuan axial riser yang terhubung pada rigid body.

4.3.3. Pemodelan Tether

Pemodelan tether dalam dua dimensi dilakukan pemodelan yang hampir sama dengan kondisi riser, karena tether keseluruhan berjumlah 8 buah, dengan kombinasi 2 tether.



pada setiap kolom, sehingga jarak antar tether berbeda. Dalam pemodelan jarak yang diambil adalah jarak efektif dengan mengambil rata – rata dari jarak tether terjauh dan tether terdekat.

kekakuan masing-masing tether :

$$K = EA/L$$

Nilai E = Konstan, L = 951

$$4K = 4EA/L$$

$$A = 4 \times 0,06 \text{ m}^2$$

$$= 0.24 \text{ m}^2$$

Sehingga untuk tether yang baru agar menghasilkan nilai yang sama dengan 8 buah tether, masing-masing luas permukaan tethernya dinaikkan sebesar 4 kali yaitu 0.24 m^2 .

4.4.4. Pemodelan Kekakuan Hidrostatik

Perangkat lunak *MSC Nastran for Windows v4.5* tidak dapat menghitung nilai kekakuan hidrodinamis struktur, sehingga perlu dimasukkan kedalam pemodelan. Kekakuan hidrostatik secara manual ke dalam pemodelan, dalam model ini diwakili oleh elemen spring.

Kekakuan hidrostatik arah surge : tidak ada = 0

Kekakuan hidrostatik arah heave :

dimodelkan dengan spring axial yang berada diatas struktur melalui *lump mass* struktur dengan derajat kebebasannya jepit.



Kekakuan hidrostatik arah heave :

dimodelkan dengan spring axial yang tegak lurus struktur melalui *lump mass* struktur dengan derajat kebebasannya jepit.

Input data yang dimasukkan ke dalam program adalah sebagai berikut :

1. Material

E (modulus Young)	: $2,069 \cdot 10^8 \text{ KN/m}^2$
G (Modulus Shear)	: 11120000 KN/m^2
Densitas	: 8.18 Ton/m^3

2. Properti Riser :

Menggunakan elemen beam

Tipe	: Beam
Shape	: <i>Circular Tube</i>
Radius	: 0.338
<i>Thikness</i>	: 0.012

3. Properti Tether :

Menggunakan elemen beam

Tipe	: Beam
Shape	: <i>Circular Tube</i>
Radius	: 0.66
<i>Thikness</i>	: 0.061



4. Properti Lump Mass

Properti ini menggunakan Elemem Mass Matrix. Yaitu massa dalam bentuk matrik 6 x 6 sesuai dengan derajat kebebasan yaitu

Tipe : Mass Matrix

$$\begin{matrix} & T1 & T2 & T3 & R1 & R2 & R3 \\ \begin{bmatrix} 32787.99 & 0 & 0 & 0 & 434896.97 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 27051.41 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 434896.97 & 0 & 0 & 0 & 19326086.25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Ketereangan :

T1 = Surge

R1 = Sway

T2 = Heave

R2 = Pitch

T3 = Pitch

R3 = Roll

5. Properti kekakuan heave

Menggunakan elemen spring arah axial yang merupakan nilai kekakuan hidrodinamis struktur arah heave.

Tipe : spring

Value : Axial

Stiffness : 3257.9



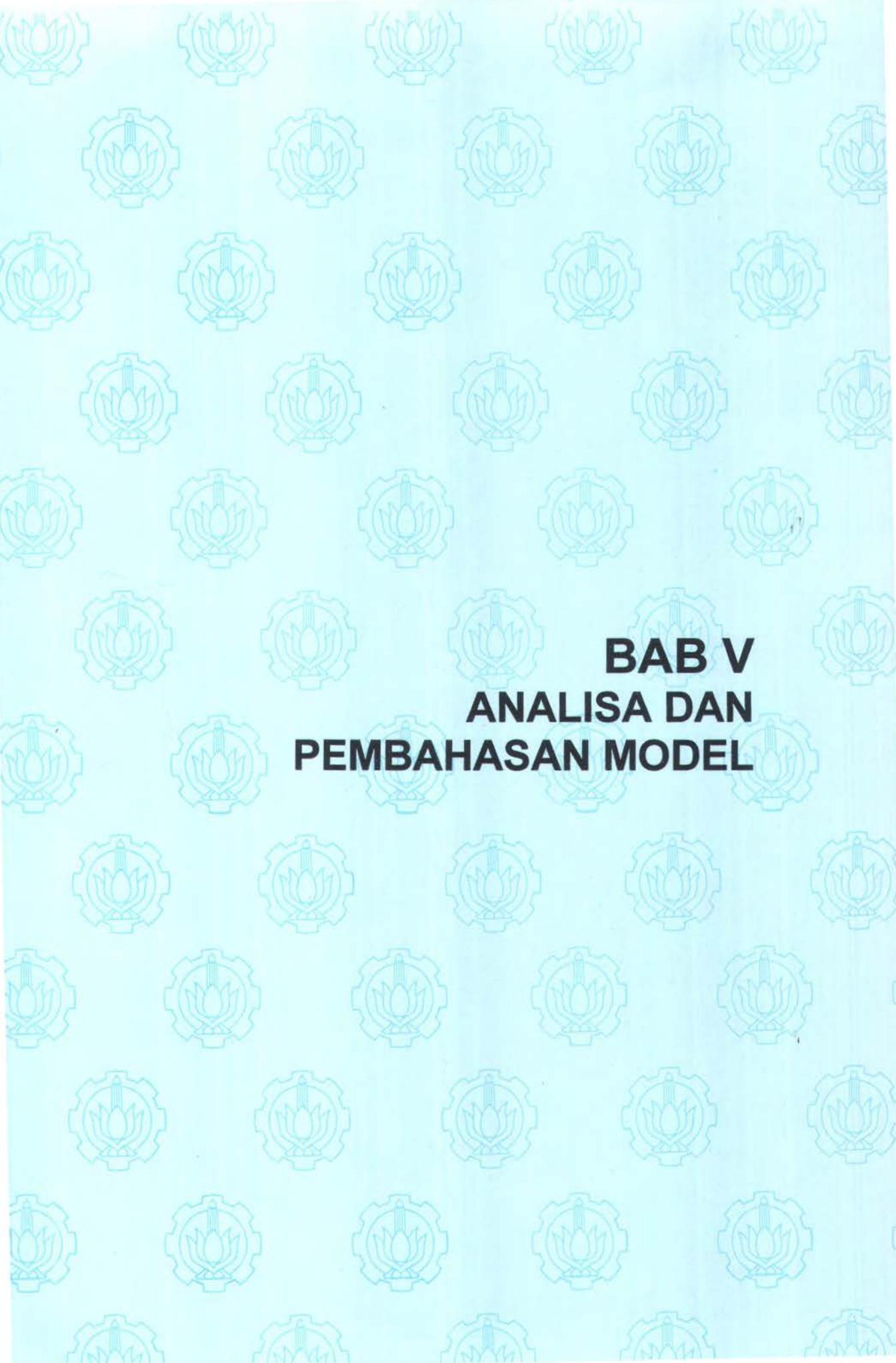
6. Properti kekakuan pitch

Menggunakan elemen spring arah torsional yang merupakan nilai kekakuan hidrodinamis struktur arah pitch.

Tipe : spring

Value : Torsional

Stiffness : 2625961.63



BAB V
ANALISA DAN
PEMBAHASAN MODEL



BAB V

ANALISA DAN PEMBAHASAN MODEL

Perhitungan manual dari massa tambah platform dan matrik kekakuan TLP untuk kondisi beroperasi 24 riser dan 12 riser secara lengkap disertakan pada lampiran IV, adapun hasil perhitungannya adalah sebagai berikut:

Matrik Massa Platform :

- Matrik Massa Platform kondisi beroperasi 24 riser:

$$[M_S]_{RM} = \begin{bmatrix} 8.667,29 & 0 & 183.053,16 \\ 0 & 8.667,29 & 0 \\ 183.053,16 & 0 & 10.179.857,78 \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

- Matrik Massa Platform Kondisi 12 Riser :

$$[M_S]_{R12} = \begin{bmatrix} 10.927,91 & 0 & 2330.797,46 \\ 0 & 10.927,91 & 0 \\ 230.797,46 & 0 & 12.834.988,75 \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

- Matrik Massa Total Platform :

$$[M_{Tot}] = [M_S] + [M_A]$$

- Matrik Massa Total Platform kondisi beroperasi 24 riser:

$$[M_{Tot}]_{RM} = \begin{bmatrix} 27.571,37 & 0 & 324.721,95 \\ 0 & 21.834,79 & 0 \\ 324.721,95 & 0 & 13.199.090,41 \end{bmatrix} \quad (5.3)$$



- Matrik Massa Total Platform Kondisi 12 Riser :

$$\left[M_{Tot} \right]_{R12} = \begin{bmatrix} 29.831,99 & 0 & 372.466,252 \\ 0 & 29.831,99 & 0 \\ 372.466,252 & 0 & 15.854.221,377 \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

Perhitungan matrik massa dan matrik kekakuan TLP didapat dengan menggunakan *pendekatan koefisien* hasil eksperimen yang dilakukan oleh McIver(1978). Berdasar hasil perhitungan didapatkan nilai kekakuan TLP sebagai berikut:

Tabel 5.2. Nilai kekakuan platform TLP

Arah Gerak	Kekakuan Platform TLP			
	Penelitian Lain (Unocal Seno TLP)		Perhitungan Manual	
	Riser Maks.	12 Riser	Riser Maks.	12 Riser
Surge (KN/M)	62.63	45.99	88.18	62.25
Heave (KN/M)	163,151.65	131,587.09	203,233.45	154,420.57
Pitch (KN/M ²)	61,171,836.00	66,720,629.00	73,535,718.05	73,067,341.07

Setelah dilakukan perbandingan antara hasil perhitungan dengan penelitian lain, untuk nilai kekakuan platform muncul kecenderungan bahwa nilai hasil perhitungan manual lebih besar daripada penelitian lain yang sudah ada.

Perhitungan manual dari nilai kekakuan platform TLP secara lengkap disertakan pada *lampiran IV*, adapun hasil perhitungannya adalah sebagai berikut:



Matrik Kekakuan Platform TLP :

- **Matrik Kekakuan Hidrostatik Platform :**

$$[K_h] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3.257,9 & 0 \\ 0 & 0 & 2.627.608,824 \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

- **Matrik Kekakuan Tether :**

$$[K_t] = \begin{bmatrix} 36,33 & 0 & 0 \\ 0 & 104.403,786 & 0 \\ 0 & 0 & 63.382.655,53 \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

- **Matrik Kekakuan Riser :**

- **Kondisi beroperasi 24 riser:**

$$[K_{r \max}] = \begin{bmatrix} 51,852 & 0 & 0 \\ 0 & 95.571,768 & 0 \\ 0 & 0 & 7.527.100,89 \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

- **Kondisi 12 Riser**

$$[K_{r12}] = \begin{bmatrix} 25,92 & 0 & 0 \\ 0 & 47.758,884 & 0 \\ 0 & 0 & 7.058.723,914 \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

- **Matrik Kekakuan Total Platform :**

$$[K_{Tot}]_{RM} = [K_h] + [K_t] + [K_r]$$



- Kondisi beroperasi 24 riser:

$$\left[K_{Tot} \right]_{RM} = \begin{bmatrix} 88,182 & 0 & 0 \\ 0 & 203.233,454 & 0 \\ 0 & 0 & 73.535.718,05 \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

- Kondisi 12 Riser :

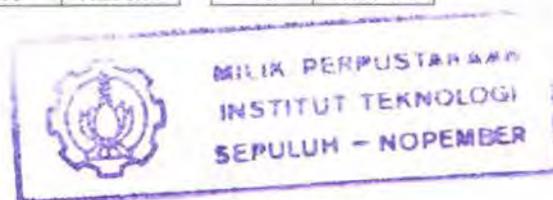
$$\left[K_{Tot} \right]_{R12} = \begin{bmatrix} 62.25 & 0 & 0 \\ 0 & 154.420,57 & 0 \\ 0 & 0 & 73.067.341,07 \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

5.1. Gaya Tarik Awal Struktur TLP

Pada tahapan awal, yaitu sebelum menerima gaya luar. Besarnya gaya tarik awal diperoleh dari hasil running output software *MSC Nastran*, besar gaya tarik awal berubah berdasar kedalaman, semakin kedalam besar gaya tarik awal menjadi semakin kecil. Kondisi ini berlaku untuk gaya tarik awal tether maupun gaya tarik awal riser.

- Tabel 5.3. Gaya Tarik Awal Pada Tether (beroperasi 24 riser)

No Elemen	Gaya Tarik Awal (KN)						
1	17215.35	11	17213.30	21	17211.44	31	17209.58
2	17215.16	12	17213.12	22	17211.26	32	17209.39
3	17214.97	13	17212.93	23	17211.07	33	17209.21
4	17214.79	14	17212.74	24	17210.88	34	17209.02
5	17214.60	15	17212.56	25	17210.70	35	17208.84
6	17214.42	16	17212.37	26	17210.51	36	17208.65
7	17214.23	17	17212.19	27	17210.32	37	17208.46
8	17214.04	18	17212.00	28	17210.14	38	17208.28
9	17213.86	19	17211.81	29	17209.95	39	17208.09
10	17213.49	20	17211.63	30	17209.77	40	17207.91





- Tabel 5.3. Gaya Tarik Awal Pada Tether (beroperasi 24 riser)

No Elemen	Gaya Tarik Awal (KN)						
41	17207.72	51	17205.86	61	17204.00	81	17200.08
42	17207.54	52	17205.68	62	17203.82	82	17200.10
43	17207.35	53	17205.49	63	17203.63	83	17199.91
44	17207.16	54	17205.30	64	17203.44	84	17199.72
45	17206.98	55	17205.12	65	17203.26	85	17199.54
46	17206.79	56	17204.93	66	17203.07	86	17199.35
47	17206.61	57	17204.75	67	17202.88	87	17199.17
48	17206.42	58	17204.56	68	17202.70	88	17198.98
49	17206.23	59	17204.37	69	17202.51	89	17198.79
50	17206.05	60	17204.19	70	17202.33	90	17198.61

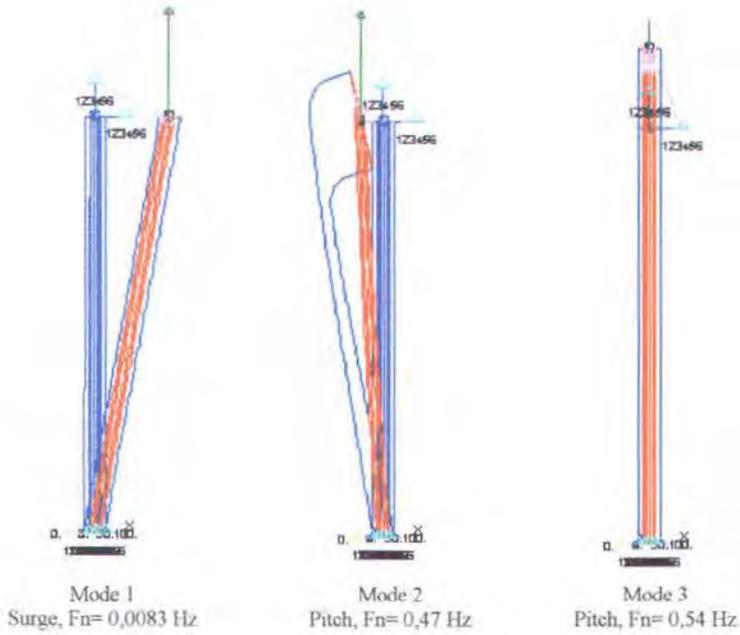
No Elemen	Gaya Tarik Awal (KN)
91	17198.42
92	17198.24
93	17198.05
94	17197.86
95	17197.68
96	17197.49
97	17197.49
98	17197.31
99	17197.12



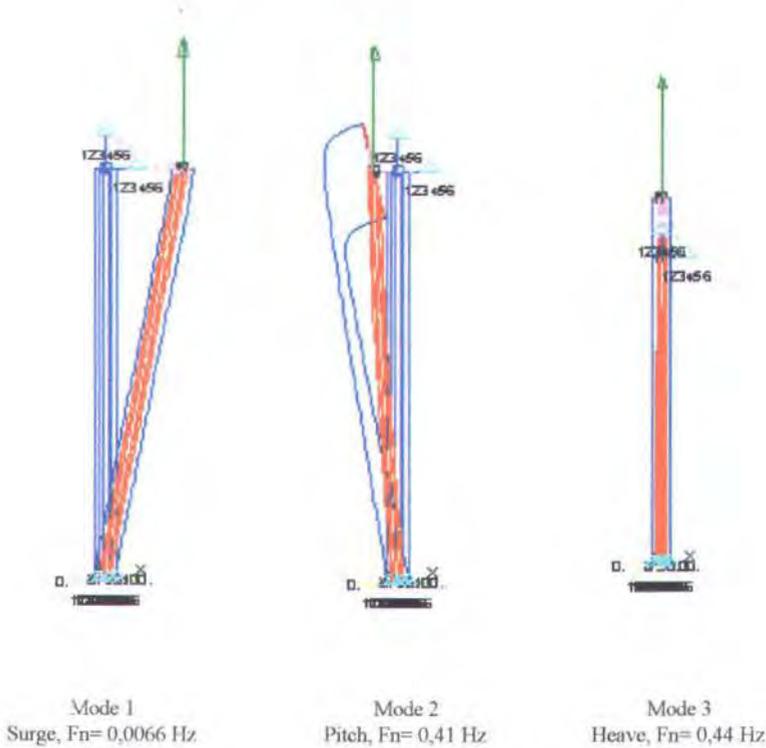
- Tabel 5.4. Gaya Tarik Awal Pada Riser (beroperasi 24 riser)

No Elemen	Gaya Tarik Awal (KN)						
1	8216.8250	26	8214.0430	51	8211.2610	76	8208.4738
2	8216.7140	27	8213.9320	52	8211.1490	77	8208.3623
3	8216.6030	28	8213.8200	53	8211.0380	78	8208.2508
4	8216.4910	29	8213.7090	54	8210.9270	79	8208.1393
5	8216.3800	30	8213.7090	55	8210.8150	80	8208.0278
6	8216.2690	31	8213.4860	56	8210.7040	81	8207.9163
7	8216.1570	32	8213.3750	57	8210.5923	82	8207.8048
8	8216.0460	33	8213.2640	58	8210.4808	83	8207.6933
9	8215.9360	34	8213.1520	59	8210.3693	84	8207.5818
10	8215.8240	35	8213.0410	60	8210.2578	85	8207.4703
11	8215.7130	36	8212.9300	61	8210.1463	86	8207.3588
12	8215.6020	37	8212.8180	62	8210.0348	87	8207.2473
13	8215.4900	38	8212.7070	63	8209.9233	88	8207.1358
14	8215.3790	39	8212.5960	64	8209.8118	89	8207.0243
15	8215.2680	40	8212.4840	65	8209.7003	90	8206.9128
16	8215.1560	41	8212.3730	66	8209.5888	91	8206.8013
17	8215.0450	42	8212.2620	67	8209.4773	92	8206.6898
18	8214.9340	43	8212.1500	68	8209.3658	93	8206.5783
19	8214.8220	44	8212.0390	69	8209.2543	94	8206.4668
20	8214.7110	45	8211.9280	70	8209.1428	95	8206.3553
21	8214.6000	46	8211.8160	71	8209.0313	96	8206.2438
22	8214.4880	47	8211.7050	72	8208.9198	97	8206.1323
23	8214.3770	48	8211.5940	73	8208.8083	98	8206.0208
24	8214.2660	49	8211.4820	74	8208.6968	99	8205.9180
25	8214.1540	50	8211.3710	75	8208.5853		

Kemudian dari MSC Nastran didapatkan mode shape untuk tiga arah gerakan dan frekuensi natural masing – masing gerakannya. Berikut dibawah ini adalah gambar mode shape untuk kondisi 24 riser dan 12 riser :



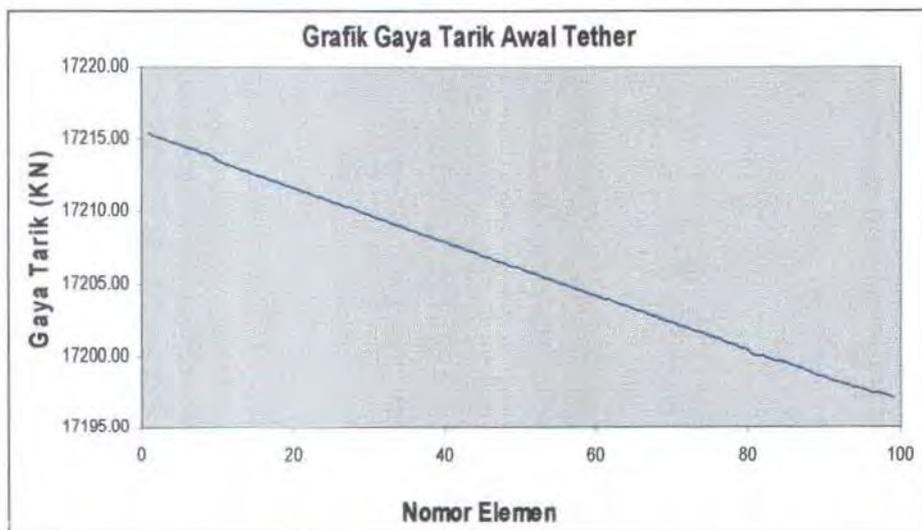
- Gambar 5.1 Mode shape kondisi kondisi beroperasi 24 riser



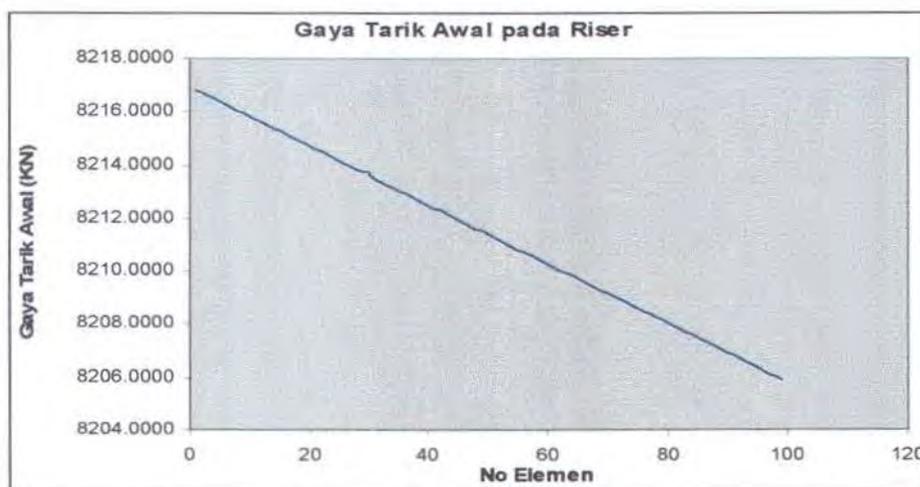
Gambar 5.2 Mode shape kondisi beroperasi 12 riser



Berikut dibawah ini adalah grafik fungsi linear gaya tarik awal dengan nomor elemen pada tether dan riser, penomoran elemen tether dan riser TLP dibuat berbanding lurus dengan kedalaman perairan.



Gambar 5.1. Grafik Hubungan Gaya Tarik Awal dengan Nomor Elemen Tether



Gambar 5.2. Grafik Hubungan Gaya Tarik Awal dengan Nomor Elemen Riser



Tabel 5.5. Perbandingan Gaya Tarik Awal Pada tether dan riser

	MSC Nastran		Pembanding (Unocal Seno TLP)	
	Gaya Tarik Awal (KN)		Gaya Tarik Awal (KN)	
	Riser Maks	12 Riser	Riser Maks	12 Riser
Tether	17207.72	17181.67	17277	17277
Riser	8216.83	4532.32	8950	4475

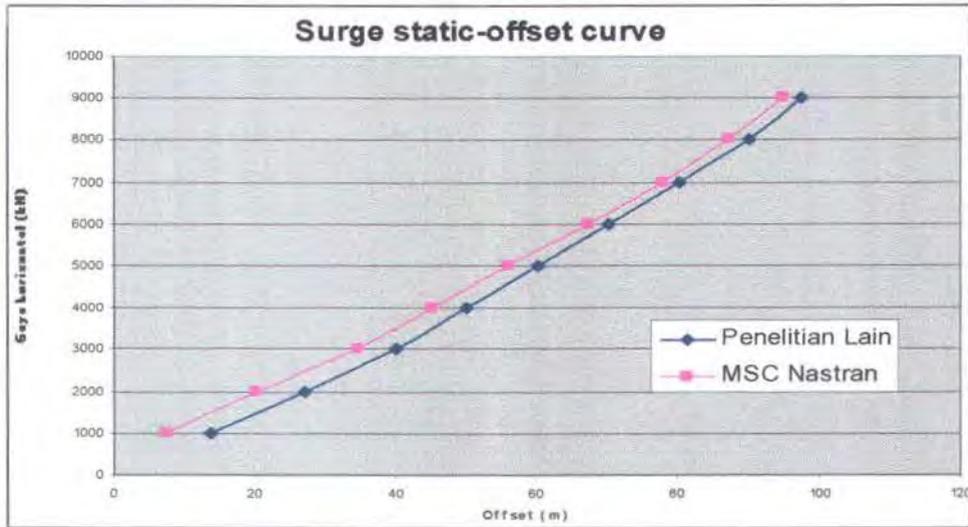
Setelah dilakukan perbandingan dengan penelitian lain, didapatkan selisih gaya tarik awal 0% - 1% kecuali pada gaya tarik awal riser kondisi beroperasi maksimal memiliki perbedaan 8,1%, maka dapat disimpulkan bahwa gaya tarik awal pada pemodelan TLP dengan MSC Nastran sudah memenuhi.

5.2. Respon Terhadap Beban Horizontal

Untuk melakukan verifikasi pemodelan dengan MSC Nastran, maka model TLP pada MSC Nastran dikenai beban statis horizontal yang memiliki variasi berbeda dalam rentang tertentu sesuai dengan data pembanding, kemudian dibandingkan sehingga menghasilkan tabel dan grafik seperti dibawah ini;

Tabel 5.6. Perbandingan Offset akibat gaya horizontal

F H	Offset (m)	
	Penelitian Lain Riser Maks	MSC Nastran Riser Maks
1000	13.76	7.3
2000	27.12	20.11
3000	40	34.6
4000	50.11	45.33
5000	60.19	56.1
6000	70.21	67.45
7000	80.26	77.89
8000	90	87.21
9000	97.4	94.9



Gambar 5.3. Grafik perbandingan Offset

5.3. Analisa Spektrum Gelombang

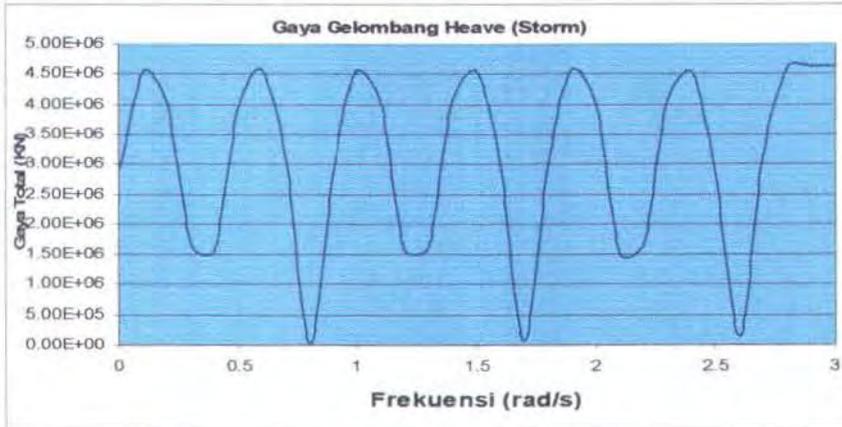
5.3.1. Gaya Gelombang pada Platform TLP

Gaya gelombang pada platform TLP dihitung dengan menggunakan teori Morison, dalam hal ini hanya suku inersianya saja yang digunakan. Gaya gelombang dicari untuk tiga derajat kebebasan dalam kondisi lingkungan pada saat operasional dan pada saat storm.

hasil untuk ketiga arah derajat kebebasan tersebut seperti pada gambar di bawah ini.



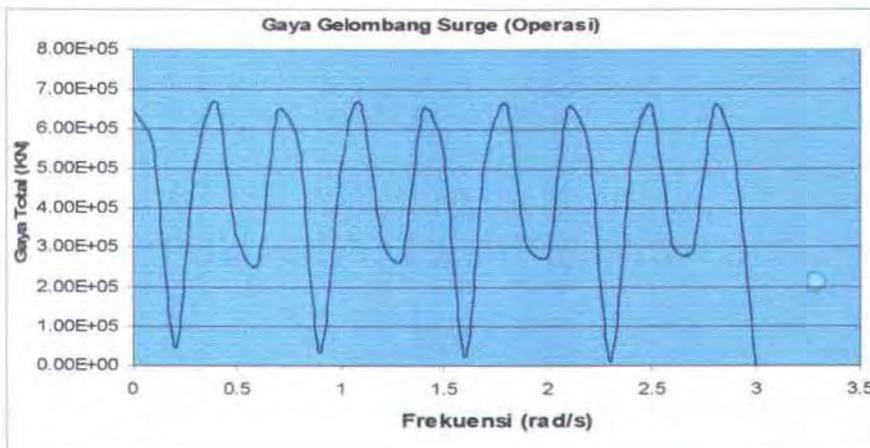
Gambar 5.4. Grafik Gaya Gelombang Arah Surge Kondisi Storm



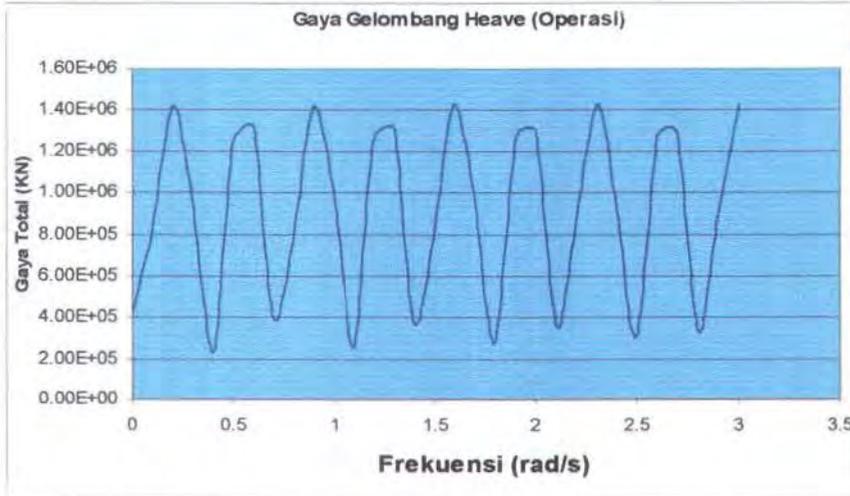
Gambar 5.4 . Grafik Gaya Gelombang Arah Heave Kondisi Storm



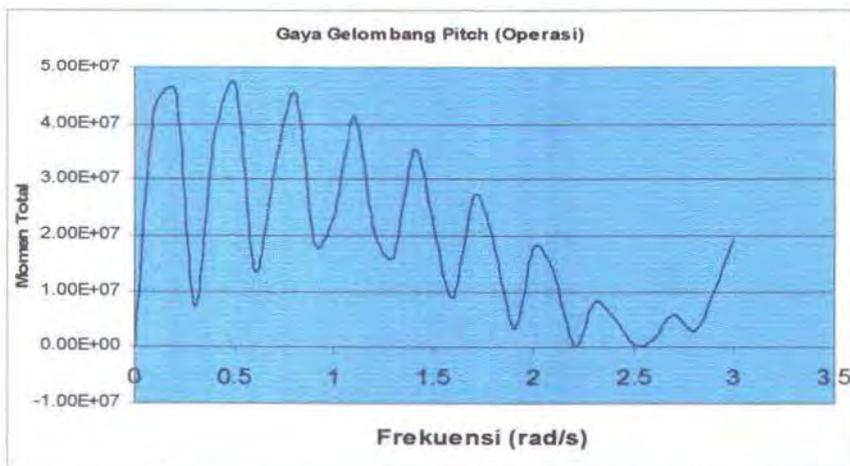
Gambar 5.5. Grafik Gaya Gelombang Arah Pitch Kondisi Storm



Gambar 5.6. Grafik Gaya Gelombang Arah Surge Kondisi Operasi

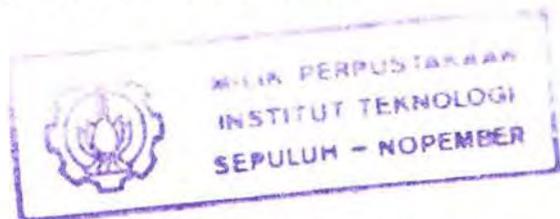


Gambar 5.7. Grafik Gaya Gelombang Arah Heave Kondisi Operasi



Gambar 5.8. Grafik Gaya Gelombang Arah Pitch Kondisi Operasi

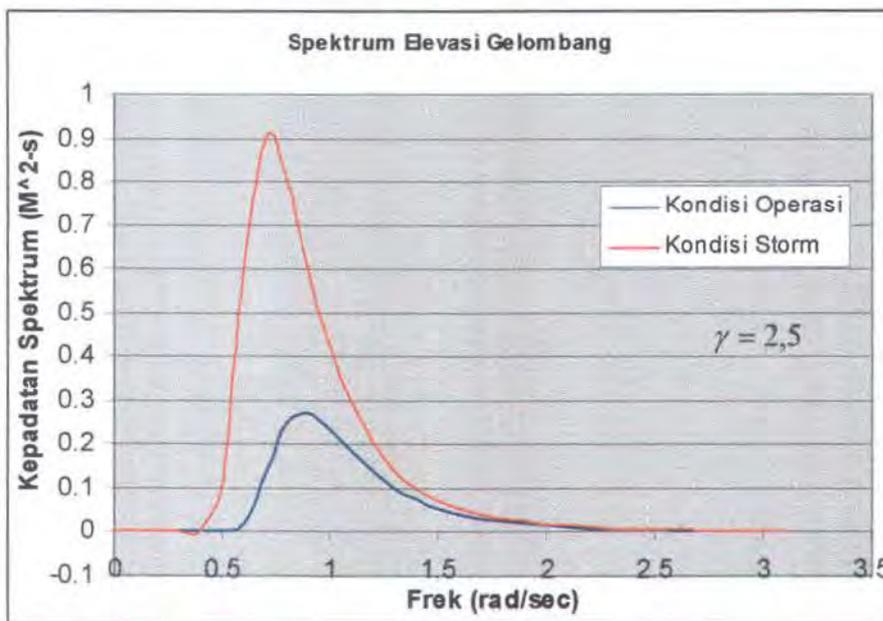
5.3.3. Spektrum Elevasi Gelombang



Spektrum elevasi gelombang dibuat dengan menggunakan teori spectrum empiris JONSWAP. Pembuatan spectrum elevasi gelombang dilakukan dengan spectrum empiris JONSWAP menyesuaikan dengan data pembanding dari UNOCAL maka $\gamma = 2,5$. Hasil yang didapatkan dari grafik spectrum elevasi gelombang untuk kondisi operasi ($H_s = 1,89m$ $T_s = 7,2$ sec) dan kondisi storm ($H_s = 3,13m$ $T_s = 8,8$



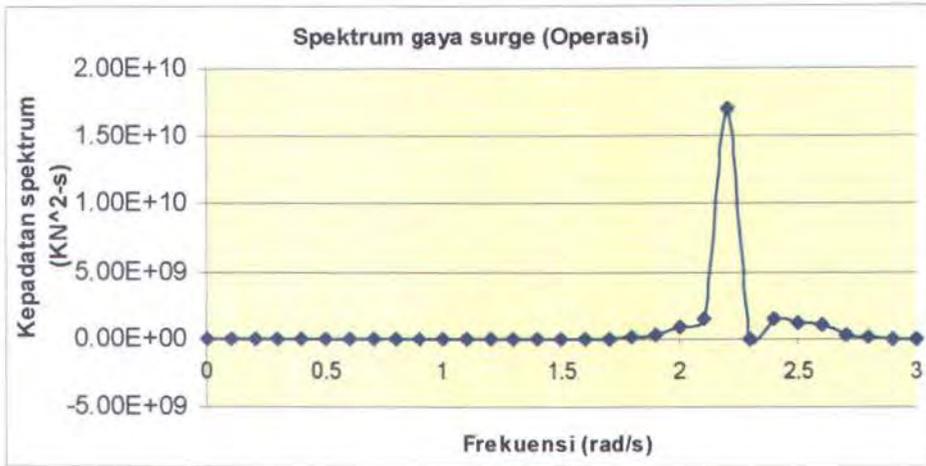
sec) menunjukkan bahwa energi gelombang terjadi pada rentang frekuensi 0,4 rad/sec sampai 2,25 rad/sec, sehingga pada rentang dibawah dan diatasnya diketahui tidak terdapat gelombang yang signifikan. Pada rentang inilah daerah frekuensi gelombang berada, sedang pada area dibawah frekuensi 0,4 rad/sec disebut daerah frekuensi rendah (LF) dan pada area diatas frekuensi 2,25 rad/sec disebut daerah frekuensi tinggi (HF)



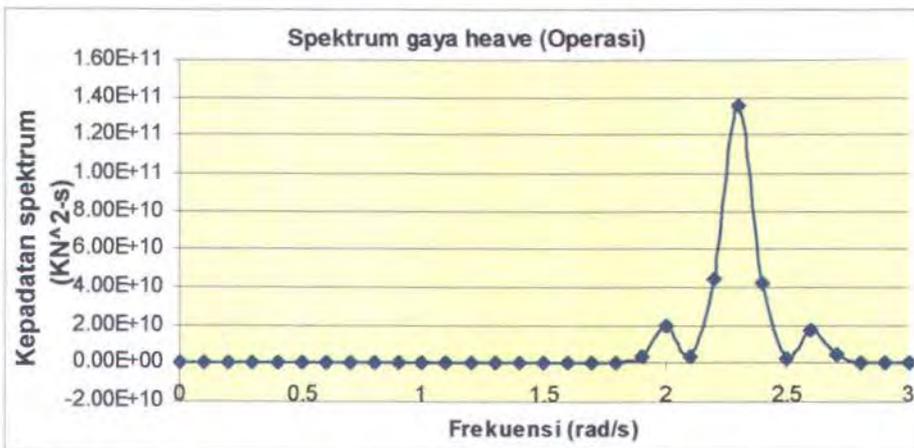
Gambar 5.9. Spektrum Elevasi Gelombang (JONSWAP) Kondisi Operasional dan Storm.

5.3.3. Spektrum Gaya Gelombang

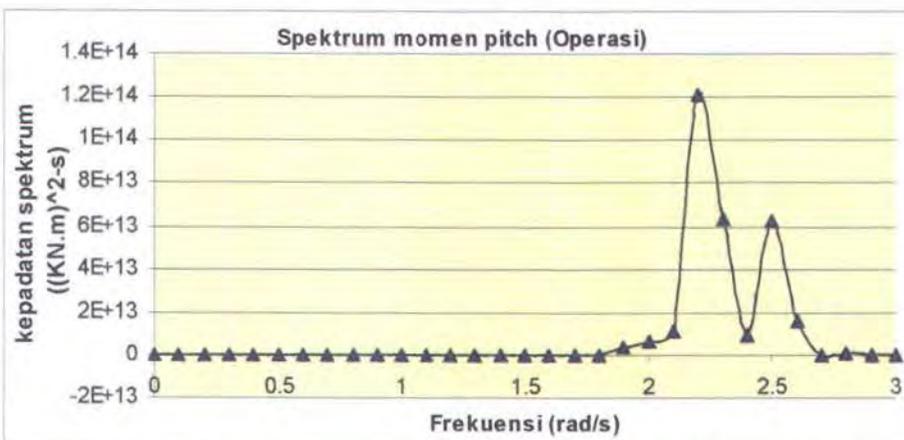
Spektrum gaya gelombang bisa didapatkan dari gaya gelombang per tinggi gelombang kemudian dikuadratkan dan dikali dengan spectrum elevasi gelombang lingkungan, sehingga menghasilkan bentuk spektrum seperti di bawah ini;



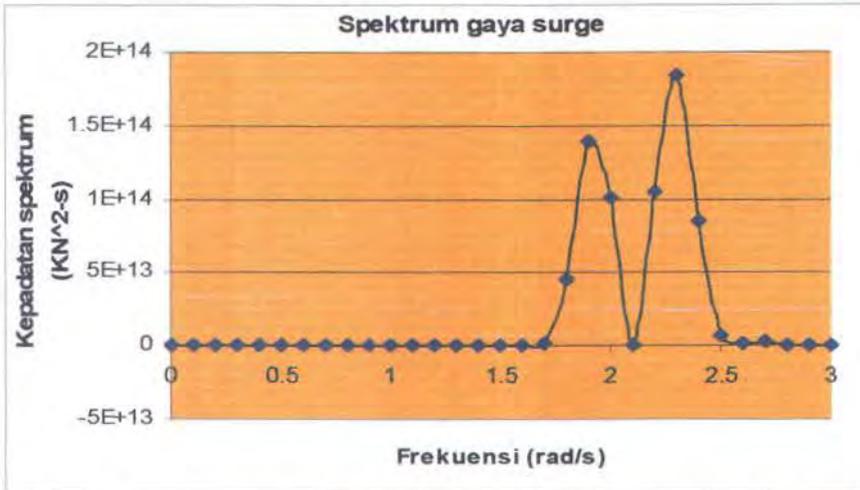
Gambar 5.10. Spektrum Beban Gelombang Arah Surge Kondisi Operasi



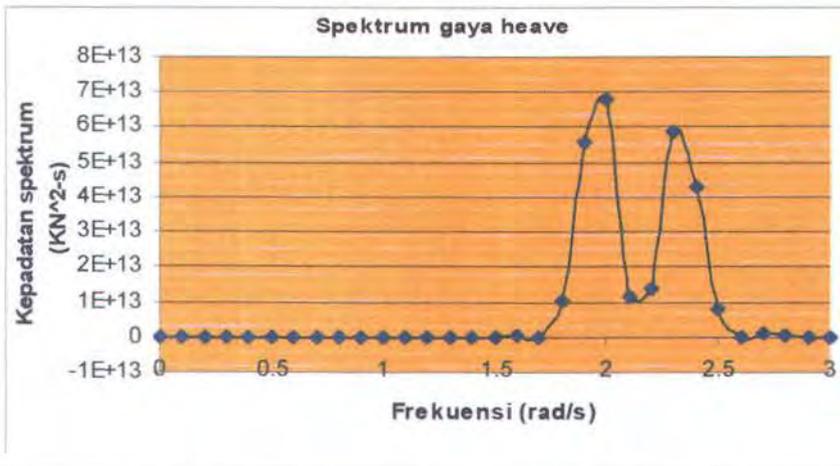
Gambar 5.11. Spektrum Beban Gelombang Arah Heave Kondisi Operasi



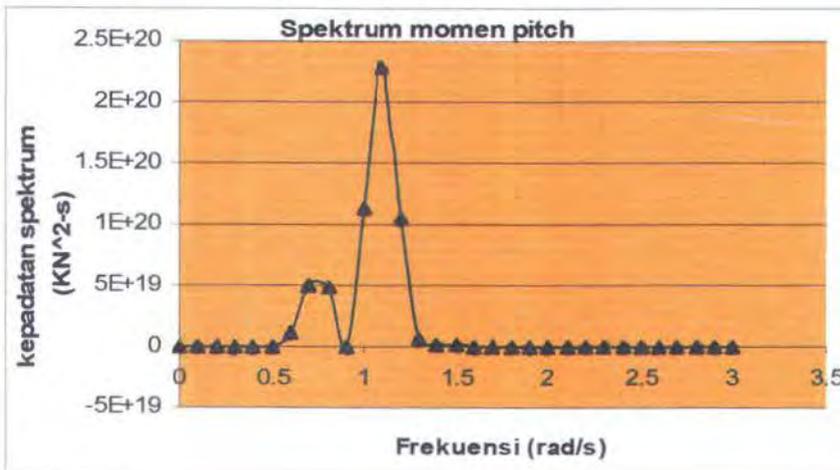
Gambar 5.12. Spektrum Beban Gelombang Arah Pitch Kondisi Operasi



Gambar 5.13. Spektrum Beban Gelombang Arah Surge Kondisi Storm



Gambar 5.14. Spektrum Beban Gelombang Arah Heave Kondisi Storm



Gambar 5.15. Spektrum Beban Gelombang Arah Pitch Kondisi Storm

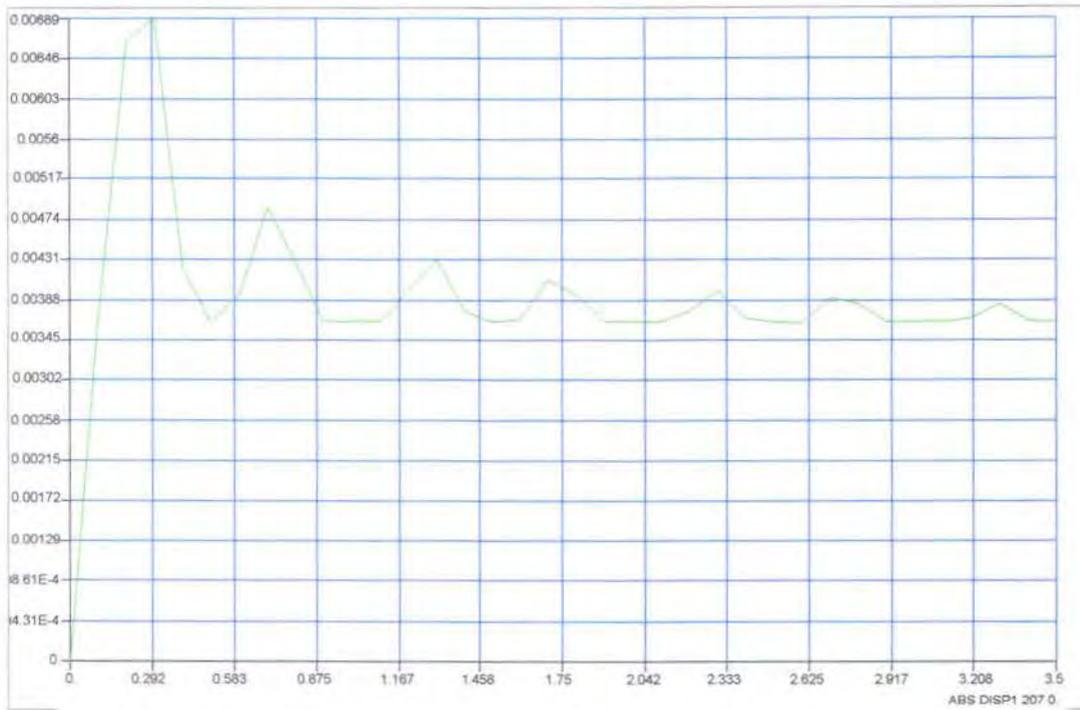


Dari seluruh grafik diatas maka bisa diambil kesimpulan bahwa pada dasarnya puncak spectrum gelombang terjadi pada daerah frekuensi gelombang (WF), pada kondisi storm (untuk semua arah gerak) terjadi perubahan puncak spectrum gelombang yang cukup besar dibandingkan dengan kondisi operasional, perubahan puncak spectrum yang paling besar terjadi pada arah surge.

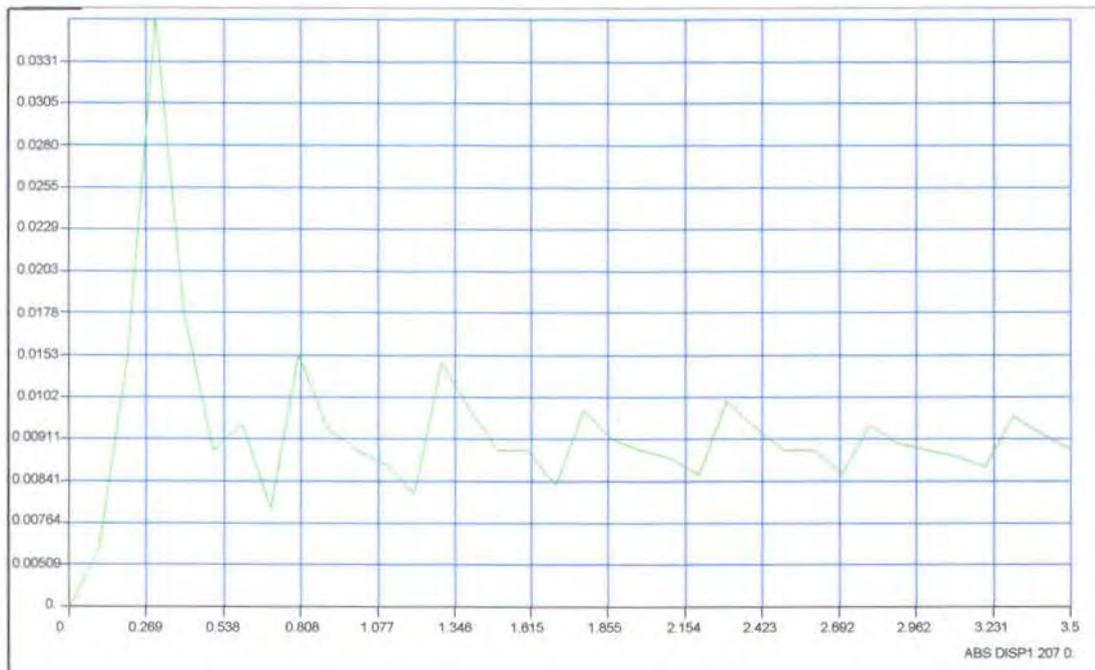
5.3.4. Analisa Pengaruh Riser Terhadap Respon TLP

Setelah mendapatkan spektrum beban gelombang, maka bisa dilakukan analisa dinamis terhadap model TLP dalam MSC Nastran untuk mengetahui pengaruh keberadaan riser terhadap respon anjungan TLP. Spektrum beban gelombang yang sudah didapat diinputkan kedalam model MSC Nastran, baik itu dalam kondisi beroperasi dengan 24 riser, 12 riser , maupun model tanpa riser. Sehingga akhirnya didapatkan respon displacemen dari TLP untuk ketiga arah gerak Surge, Heave, dan Pitch. Untuk kondisi tanpa riser didapat dengan melakukan analisa terhadap model TLP tanpa riser yang dibuat oleh *Amijaya (2004)*.

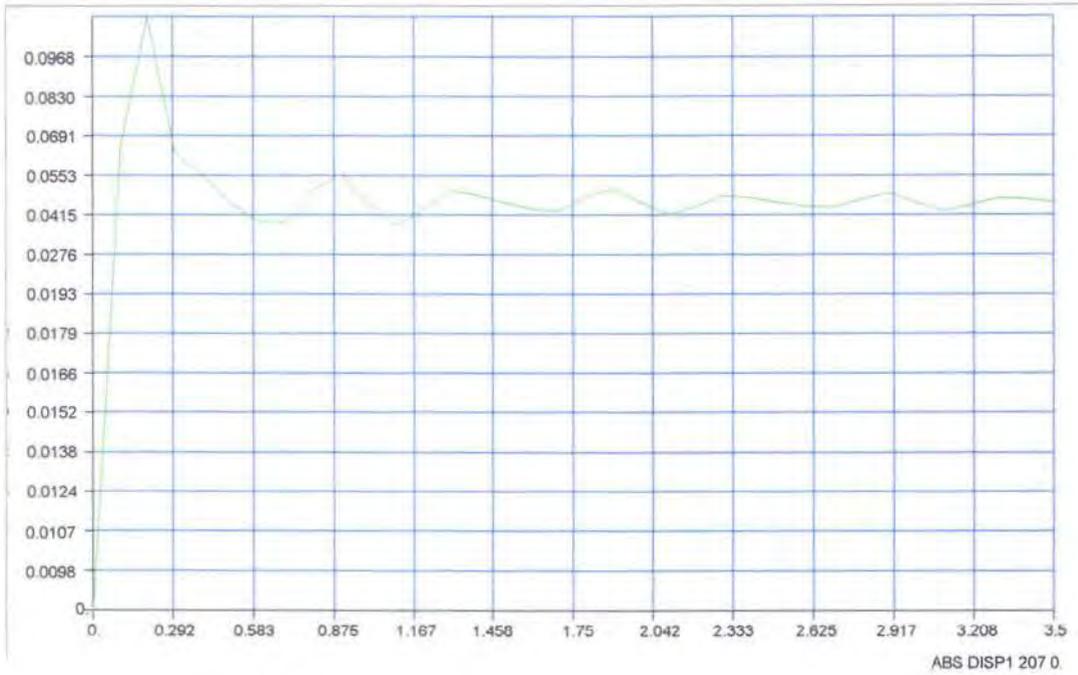
Sehingga didapatkan hasil output pada arah Surge kondisi storm untuk ketiga variasi model dari *software MSC Nastran* sebagai berikut (hasil selengkapnya pada lampiran VI).



Gambar 5.17. Respon displacemen TLP arah *Surge Storm* kondisi Maks.riser

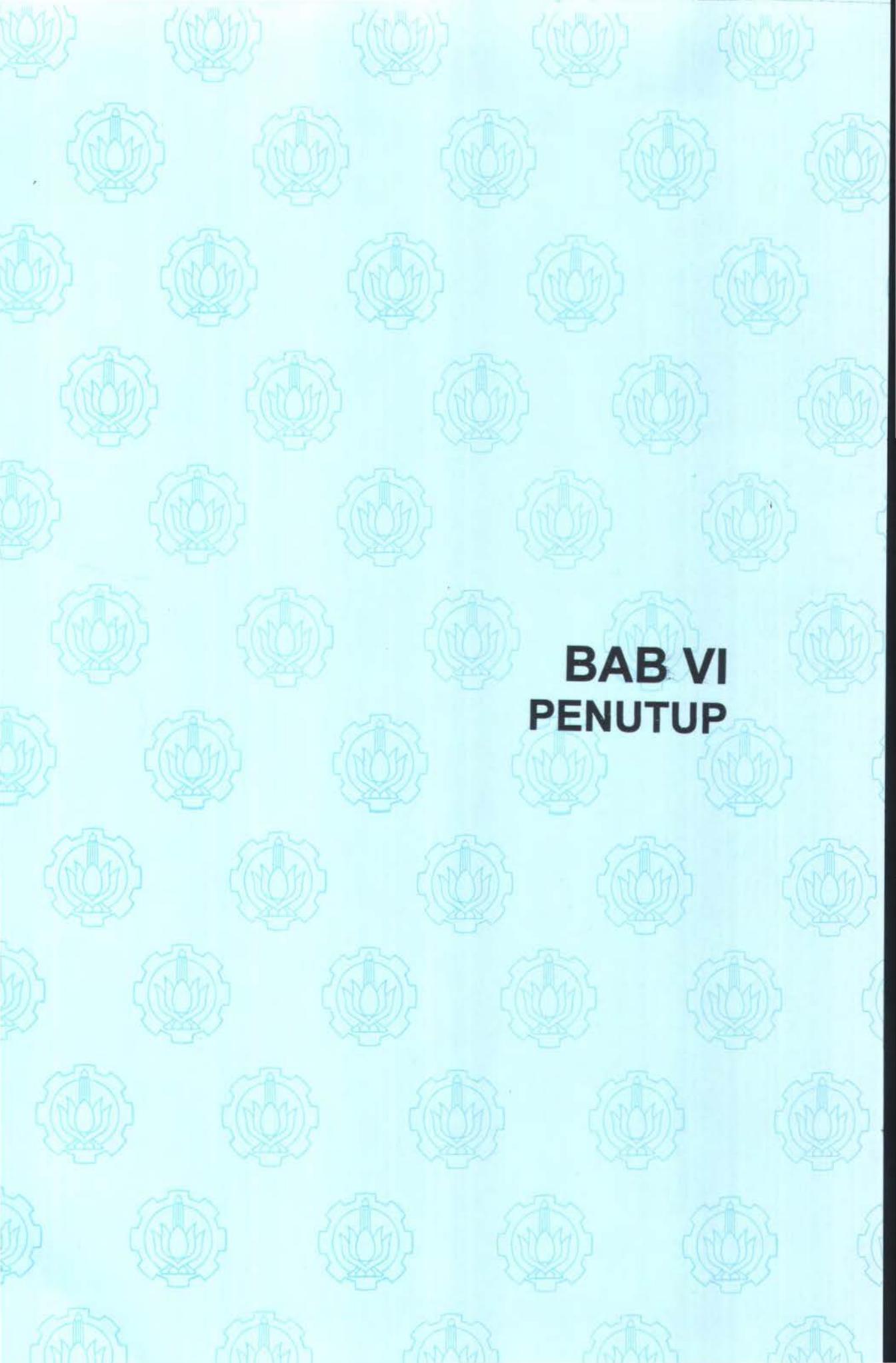


Gambar 5.18. Respon displacemen TLP arah *Surge Storm* kondisi 12 riser



Gambar 5.19. Respon displacemen TLP arah Surge *Storm* kondisi tanpa riser

Hasil Output dari MSC Nastran menunjukkan bahwa keberadaan riser berpengaruh terhadap frekuensi dari puncak terjadinya respon pada arah pitch. Untuk kondisi dengan riser akan mengalami pergeseran puncak terjadinya respon kearah kanan, hal ini menunjukkan bahwa keberadaan riser berpengaruh respon platform TLP. Untuk kondisi beroperasi dengan 24 riser, respon maksimum pada kondisi badai (storm) arah surge terjadi pada saat $f = 0,292$ Hz sebesar 0,00689 m, pada 12 riser respon maksimum terjadi pada $f = 0,27$ Hz sebesar 0.0331 m, sedangkan pada model tanpa riser respon maksimum terjadi pada $f = 0,26$ Hz sebesar 0.0968 m. Perbedaan antara kondisi badai (storm) dengan kondisi operasi hanya pada besar respon displacemennya saja.



BAB VI
PENUTUP



BAB VI

PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Pada akhir dari tahap pengerjaan Tugas akhir ini, sudah didapatkan seluruh tujuan dari pengerjaan tugas akhir ini dilakukan, baik itu pendefinisian beban lingkungan dengan menentukan spektrum gaya gelombang acak, melakukan pemodelan TLP dalam metode elemen hingga dengan bantuan MSC Nastran for windows, sampai pada akhirnya didapatkan respon dari TLP tersebut, pada akhirnya bisa ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pemodelan TLP dengan menggunakan bantuan software elemen hingga yaitu MSC Nastran sudah cukup baik, hal ini dibuktikan dengan hasil perbandingan dengan penelitian lain dan validasi hasil pemodelan yang menunjukkan hasil memuaskan, untuk analisa gaya tarik awal perbedaan antara hasil MSC Nastran dengan penelitian pembanding menunjukkan kisaran perbedaan antara 0% - 1% kecuali untuk gaya tarik awal riser pada kondisi beroperasi 24 riser yang menunjukkan angka 8 %.
2. Validasi hasil terhadap model TLP dengan melakukan pembebanan horizontal untuk kemudian dilakukan pembandingan offset dengan penelitian pembanding memberikan hasil bahwa model TLP dalam MSC Nastran for windows sudah memiliki kemiripan dengan kondisi asli dilapangan, sehingga bisa diambil kesimpulan bahwa model siap untuk



dianalisa dinamis dalam rangka mendapatkan pengaruh keberadaan riser terhadap respon dinamis TLP.

3. pada kondisi badai respon displacemen lebih besar dari kondisi operasional.
4. Pada analisa respon untuk mengetahui pengaruh keberadaan riser, melalui bantuan MSC Nastran bisa diambil kesimpulan bahwa respon displacemen semakin kecil dengan keberadaan riser, hal ini terjadi pada arah surge, heave dan pitch, sehingga didapatkan hasil analisa bahwa keberadaan riser berpengaruh terhadap besarnya respon displacemen TLP.
5. Besar respon displacement pada masing – masing kondisi dan variasi keadaan lingkungan adalah :

		Arah Gerak		
		Surge	Heave	Pitch
		(m)	(m)	(m)
24 Riser	Storm	0.006	0.00761	0.00297
	Operasi	5.23E-05	8.05E-05	1.652E-4
12 Riser	Storm	0.0331	0.022	0.011
	Operasi	4.88E-04	5.85E-04	9.38E-05
Tanpa Riser	Storm	0.0968	0.053	0.0414
	Operasi	1.53E-03	4.85E-03	5.22E-04

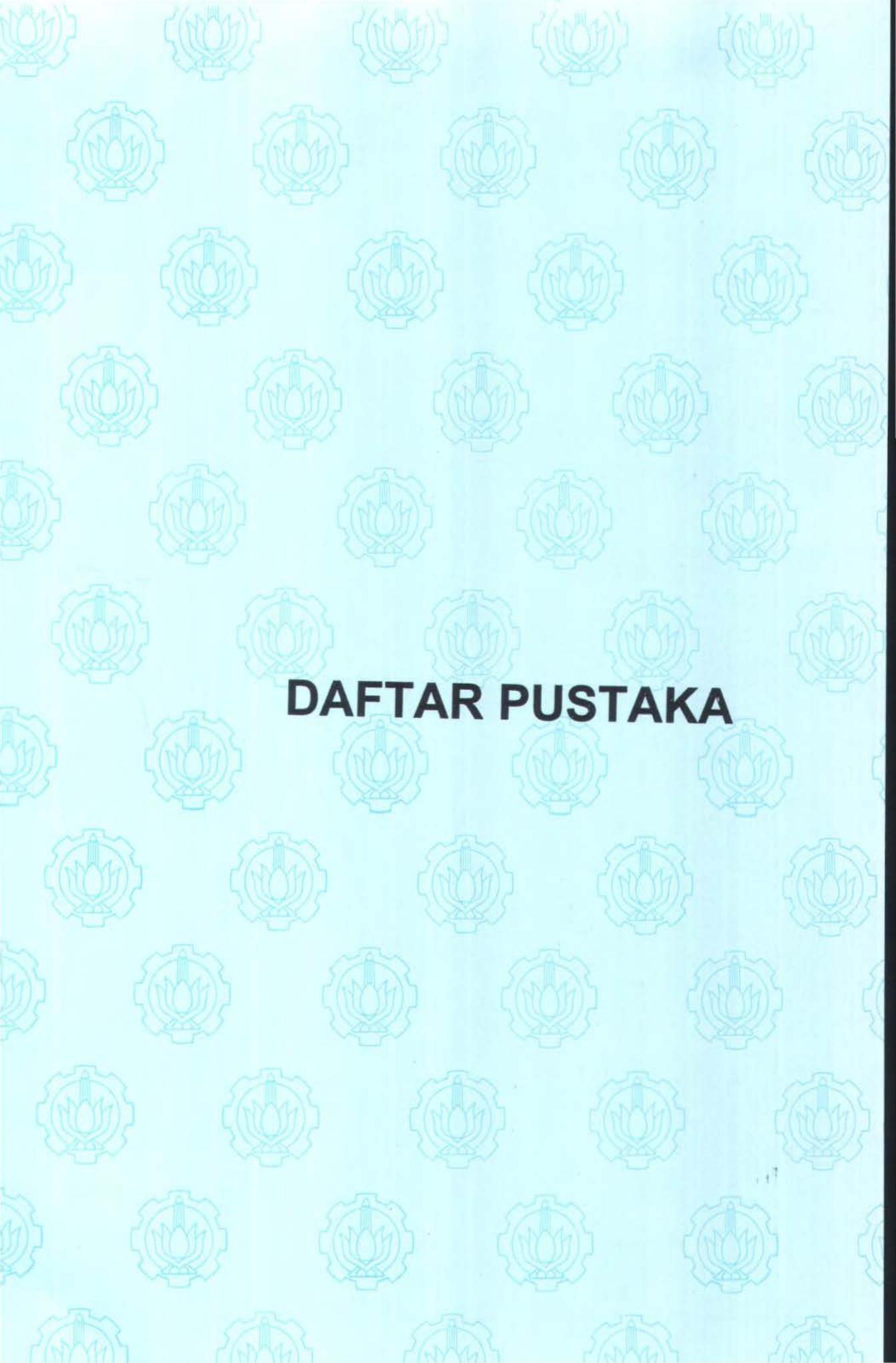
6.2 Saran

Dalam penyusunan Tugas akhir ini masih banyak kekurangan diberbagai sisi, sehingga untuk lebih mnyempurnakan hasil penulisan ini dikemudian hari, penulis memberikan saran sebagai berikut :

1. Pengembangan pemodelan dalam metode elemen hingga menuju ke pemodelan 3-D sehingga diharapkan bisa memperoleh hasil yang lebih akurat dalam aanalisa.
2. Perlu ditambahkan beban lingkungan yang lain yaitu angin dan arus.



3. Penyempurnaan model dalam menghitung kekakuan riser yaitu dengan menambahkan riser guide yang membedakan perilaku dari tether dengan riser.
4. Analisis respon dinamis perlu diperluas hingga meliputi semua arah gerak (*surge, sway, heave, yaw, pitch* dan *roll*).



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Craig, Roy R. 1981. **Structural Dynamics An Introduction to Computer Methods**. John Wiley & Sons. Canada.
- Chakrabarti, S. K., 1987, *Hydrodynamic of Offshore Structures*, Springer-Verlag, Heidelberg.
- Demirbilek, Z. 1989 **Tension Leg Platform (a state of the Art Review)**. ASCE.
- Elvira, 1996. **Studi Interaksi Dinamik Non Linier Tether-Hull**. Tesis Magister. Institut Teknologi Bandung. Bandung..
- Litton, R. W. 1989. **TLP and Other Deepwater Platforms**, dalam **Tension Leg Platform (a State of The Art Review)**. Demirbilek, Z. ASCE
- Materi Kuliah, 1999, **Hidrodinamika II**, Jurusan T. Kelautan-ITS, Surabaya.
- McClelland, B. dan reifel, M. D. 1986. **Planning and Design of Fixed Offshore Platforms**. Van Nostrand Reinhold Comp. Inc. Newyork. pp. 66-7.
- McIver, D. B., 1978, *Simplified Dynamic Analysis of Tethered Buoyant Platforms*, Vickers Offshore (VO) Report 403.
- Tarigan, H. dan Rudi W.P. 2000. **Metode Elemen Hingga**. Jurusan Teknik Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

LAMPIRAN I
KOEFISIEN MASSA TAMBAH
DAN KEKAKUAN ELEMEN



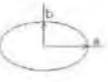
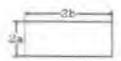
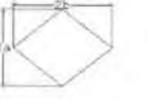
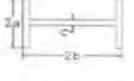
REKAM DEKAPITASI
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER



LAMPIRAN I

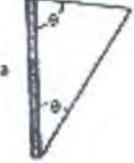
KOEFISIEN MASSA TAMBAH DAN KEKAKUAN ELEMEN

Tabel LI.1 Massa Tambah Berbagai Bentuk
(dikutip dari Materi Kuliah, 1999)

Tabel.1 Massa Tambah untuk berbagai macam bentuk penampang		Massa Tambah per Satuan Panjang ←→ Gerakan	
Bentuk Penampang			
	Lingkaran	$\rho \pi c^2$	
	Elipse	$\rho \pi b^2$	
	Elipse	$\rho \pi a^2$	
	Flat	$\rho \pi c^2$	
	Segi Empat (rectangle)	a/b	
		-	$1.00 \rho \pi a^2$
		10	$1.14 \rho \pi a^2$
		5	$1.21 \rho \pi a^2$
	(Diamond)	a/b	
		2	$0.85 \rho \pi a^2$
		1	$0.76 \rho \pi a^2$
		0.5	$0.67 \rho \pi a^2$
		0.2	$0.61 \rho \pi a^2$
	I - Beam	$a/b = 2.6$	
		$b/c = 3.6$	$2.11 \rho \pi a^2$
	Regular Polygon	$n = 3$	$0.654 \rho \pi a^2$
		4	$0.787 \rho \pi a^2$
		5	$0.823 \rho \pi a^2$
		6	$0.867 \rho \pi a^2$
		-	$1.000 \rho \pi a^2$
			(Wandel 1950)
			(Patton 1965)
			(Wandel 1950)



Tabel LI.2 Massa Tambah Berbagai Bentuk
dikutip dari Materi Kuliah, 1999 (lanjutan)

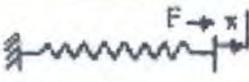
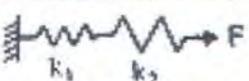
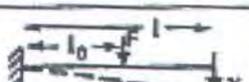
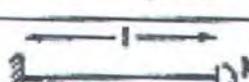
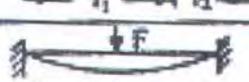
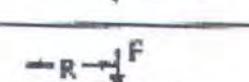
	CIRCULAR DISK	$\frac{8}{3} \rho c^3$		
	ELLIPTICAL DISK	$\frac{b/a}{\infty}$	1.000	$(\pi/6) \rho b a^2$
		3	0.900	"
		2	0.826	"
		1.5	0.758	"
		1.0	0.637	" (Munk 1934)
	RECTANGULAR PLATE	$\frac{b/a}{1.0}$	0.579	$(\rho/\pi) \pi a^2 b$
		1.25	0.542	"
		1.59	0.704	"
		2.0	0.757	"
		2.5	0.801	"
		4.0	0.872	"
		5.0	0.897	"
		8.0	0.934	"
		10.0	0.947	"
		∞	1.000	" (Meyerhoff 1970)
	TRIANGULAR PLATE	$\frac{\rho a^3 (\tan \theta)^{3/2}}{3\pi}$		(Nielsen 1950)

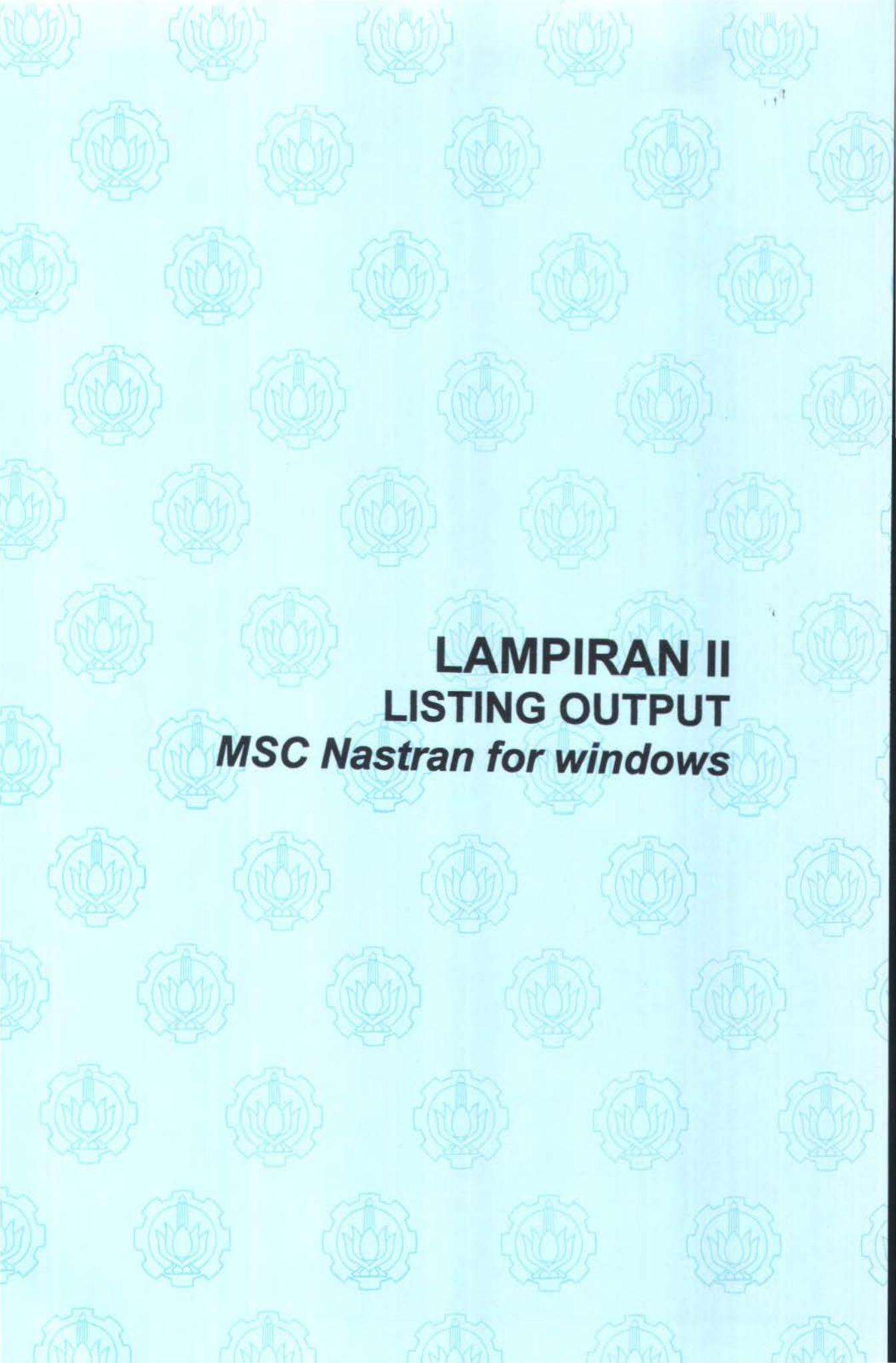
* All bodies shown above are assumed to be very thin.



Tabel LI.3 Kekakuan Struktural Berbagai Bentuk
dikutip dari Hallam, dkk, 1978

Linear spring constants

	Coil dia. D ; wire dia. d ; n turns	$K = \frac{F}{x} = \frac{Gd^4}{8nD^3}$
	Two springs in series	$K = \frac{1}{1/k_1 + 1/k_2}$
	Cantilever: axial load	$K = \frac{F}{x} = \frac{EA}{l}$ $A =$ cross sectional area
	Cantilever	$\frac{F}{x} = K = \frac{6EI}{l^3(3l-l_0)}$
	Cantilever	$\frac{F}{x} = K = \frac{6EI}{l_0^3(3l-l_0)}$
	Cantilever	$\frac{M}{x} = K = \frac{2EI}{l^3}$
	Beam on two supports; load off centre	$K = \frac{3EI}{l_1^3 l_2^3}$
	Clamped-clamped beam; centrally loaded	$K = \frac{192EI}{l^3}$
	Circular plate, thickness t ; centrally loaded; circumferential edge simply supported	$K = \frac{16\pi D}{R^2} \frac{1+\mu}{3+\mu}$ in which $D = \frac{Et^3}{12(1-\mu^2)}$ $\mu =$ Poissons ratio ≈ 0.3
	Circular plate; circumferential edge clamped	$K = \frac{16\pi D}{R^2}$



LAMPIRAN II
LISTING OUTPUT
MSC Nastran for windows

\$AUTH=1700@SERVER_NAME \$(C:/MSCN4W45/SOLVER/CONF/NAST70.RCF[1])
\$AUTH=ESP \$(C:/MSCN4W45/SOLVER/CONF/NAST70.RCF[2])
\$AUTH=C:\MSCN4W45\SOLVER\CONF\DEMOCODE.DAT \$(C:/MSCN4W45/SOLVER/CONF/NAST70.RCF[
NASTRAN REAL=46923776 \$(PROGRAM DEFAULT)
INIT MASTER(S)

APRIL 17, 2004 MSC.NASTRAN 8/25/99 PAGE 2

N A S T R A N E X E C U T I V E C O N T R O L D E C K E C H O

ID C:\MSCN4, MSC.N
SOL NLSTATIC
TIME 10000
CEND

APRIL 17, 2004 MSC.NASTRAN 8/25/99 PAGE 3

C A S E C O N T R O L D E C K E C H O

CARD
COUNT

1 METHOD = 10
2 ECHO = NONE
3 DISPLACEMENT = ALL
4 FORCE(CORNER) = ALL
5 SPC = 1
6 LOAD = 1
7 NLPARM = 1
8 BEGIN BULK
 INPUT BULK DATA CARD COUNT = 1678
 TOTAL COUNT= 1663

*** USER WARNING MESSAGE 2251A (IFS1P)
ONE OR MORE MAT1 ENTRIES HAVE UNREASONABLE OR INCONSISTENT VALUES OF E,G OR NU. ID OF FIRST ONE = 1

*** USER WARNING MESSAGE 2251B (IFS1P)
THE NUMBER OF MAT1 ENTRIES HAVING UNREASONABLE OR INCONSISTENT VALUES FOR E,G AND/OR NU IS 1
ID OF LAST ONE = 1

*** USER INFORMATION MESSAGE 4109 (OUTPX2) THE LABEL IS XXXXXXXX FOR FORTRAN UNIT 12
(MAXIMUM SIZE OF FORTRAN RECORDS WRITTEN = 7 WORDS.)
(NUMBER OF FORTRAN RECORDS WRITTEN = 8 RECORDS.)
(TOTAL DATA WRITTEN FOR TAPE LABEL = 17 WORDS.)

APRIL 17, 2004 MSC.NASTRAN 8/25/99 PAGE 4

OUTPUT FROM GRID POINT WEIGHT GENERATOR

REFERENCE POINT = 0

M O

*	2.758189E+04	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	2.655005E+07	0.000000E+00	*
*	0.000000E+00	1.049333E+01	0.000000E+00	-4.925485E+03	0.000000E+00	2.638653E+02	*
*	0.000000E+00	0.000000E+00	2.184529E+04	0.000000E+00	-5.493218E+05	0.000000E+00	*
*	0.000000E+00	-4.925485E+03	0.000000E+00	3.082935E+06	0.000000E+00	-1.238562E+05	*
*	2.655005E+07	0.000000E+00	-5.493218E+05	0.000000E+00	2.558332E+10	0.000000E+00	*
*	0.000000E+00	2.638653E+02	0.000000E+00	-1.238562E+05	0.000000E+00	9.668241E+03	*

S

*	1.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	*
*	0.000000E+00	1.000000E+00	0.000000E+00	*
*	0.000000E+00	0.000000E+00	1.000000E+00	*

DIRECTION
MASS AXIS SYSTEM (S)

	MASS	X-C.G.	Y-C.G.	Z-C.G.
X	2.758189E+04	0.000000E+00	0.000000E+00	9.625898E+02
Y	1.049333E+01	2.514600E+01	0.000000E+00	4.693920E+02
Z	2.184529E+04	2.514600E+01	0.000000E+00	0.000000E+00

I(S)

*	7.709518E+05	0.000000E+00	1.455192E-09	*
*	0.000000E+00	1.270298E+07	0.000000E+00	*
*	1.455192E-09	0.000000E+00	3.033085E+03	*

I(Q)

*	7.709518E+05			*
*		1.270298E+07		*
*			3.033085E+03	*

Q

*	1.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	*
*	0.000000E+00	1.000000E+00	0.000000E+00	*
*	0.000000E+00	0.000000E+00	1.000000E+00	*

APRIL 17, 2004 MSC.NASTRAN 8/25/99 PAGE 5

APRIL 17, 2004 MSC.NASTRAN 8/25/99 PAGE 6

RESULTANTS ABOUT ORIGIN OF SUPERELEMENT BASIC COORDINATE SYSTEM IN SUPERELEMENT BASIC SYSTEM COORDINATES.

	T1	T2	T3	LOAD	RESULTANT	R1	R2	R3
1	0.0000000E+00							

APRIL 17, 2004 MSC.NASTRAN 8/25/99 PAGE 7

RESULTANTS ABOUT ORIGIN OF SUPERELEMENT BASIC COORDINATE SYSTEM IN SUPERELEMENT BASIC SYSTEM COORDINATES.

1 T1 T2 T3 OLOAD RESULTANT R1 R2 R3
 0.0000000E+00 0.0000000E+00 8.4697656E+04 0.0000000E+00 -2.1298073E+06 0.0000000E+00
 APRIL 17, 2004 MSC.NASTRAN 8/25/99 PAGE 8

NON - LINEAR ITERATION MODULE OUTPUT

STIFFNESS UPDATE TIME 0.81 SECONDS SUBCASE 1
 ITERATION TIME 0.12 SECONDS LOAD FACTOR 0.2000000

ITERATION	EUI	CONVERGENCE FACTORS			DLMAG	FACTOR	LINE SEARCH DATA		NQNV	NLS	ENIC	NDV	MDV
		EPI	EWI	LAMBDA			E-FIRST	E-FINAL					
1	9.9000E+01	3.6523E-09	3.6523E-09	1.0000E-01	2.7336E-08	1.0000E+00	4.3679E-13	4.3679E-13	0	0		0	1

*** USER INFORMATION MESSAGE 6186,
 *** SOLUTION HAS CONVERGED ***

SUBID 1 LOOPID 1 LOAD STEP 0.200 LOAD FACTOR 0.20000000

*** NEW STIFFNESS MATRIX IS REQUIRED ***

APRIL 17, 2004 MSC.NASTRAN 8/25/99 PAGE 9

NON - LINEAR ITERATION MODULE OUTPUT

STIFFNESS UPDATE TIME 1.19 SECONDS SUBCASE 1
 ITERATION TIME 0.13 SECONDS LOAD FACTOR 0.4000000

ITERATION	EUI	CONVERGENCE FACTORS			DLMAG	FACTOR	LINE SEARCH DATA		NQNV	NLS	ENIC	NDV	MDV
		EPI	EWI	LAMBDA			E-FIRST	E-FINAL					
1	4.9500E+01	5.5939E-09	2.7969E-09	1.0000E-01	3.6545E-08	1.0000E+00	-9.8325E-14	-9.8325E-14	0	0		0	1

*** USER INFORMATION MESSAGE 6186,
 *** SOLUTION HAS CONVERGED ***

SUBID 1 LOOPID 2 LOAD STEP 0.400 LOAD FACTOR 0.40000000

*** NEW STIFFNESS MATRIX IS REQUIRED ***

APRIL 17, 2004 MSC.NASTRAN 8/25/99 PAGE 10

NON - LINEAR ITERATION MODULE OUTPUT

STIFFNESS UPDATE TIME 1.31 SECONDS SUBCASE 1
 ITERATION TIME 0.13 SECONDS LOAD FACTOR 0.6000000

ITERATION	EUI	CONVERGENCE FACTORS			DLMAG	LINE SEARCH DATA			NQN	NLS	ENIC	NDV	MDV
		EPI	EWI	LAMBDA		FACTOR	E-FIRST	E-FINAL					
1	3.3000E+01	6.9943E-09	2.3314E-09	1.0000E-01	4.7166E-08	1.0000E+00	-7.2745E-13	-7.2745E-13	0	0	0	1	

*** USER INFORMATION MESSAGE 6186,
 *** SOLUTION HAS CONVERGED ***

SUBID 1 LOOPID 3 LOAD STEP 0.600 LOAD FACTOR 0.60000000

*** NEW STIFFNESS MATRIX IS REQUIRED ***

APRIL 17, 2004 MSC.NASTRAN 8/25/99 PAGE 11

NON - LINEAR ITERATION MODULE OUTPUT

STIFFNESS UPDATE TIME 1.38 SECONDS SUBCASE 1
 ITERATION TIME 0.14 SECONDS LOAD FACTOR 0.8000000

ITERATION	EUI	CONVERGENCE FACTORS			DLMAG	LINE SEARCH DATA			NQN	NLS	ENIC	NDV	MDV
		EPI	EWI	LAMBDA		FACTOR	E-FIRST	E-FINAL					
1	2.4750E+01	5.6705E-09	1.4176E-09	1.0000E-01	3.8463E-08	1.0000E+00	-6.7347E-15	-6.7347E-15	0	0	0	1	

*** USER INFORMATION MESSAGE 6186,
 *** SOLUTION HAS CONVERGED ***

SUBID 1 LOOPID 4 LOAD STEP 0.800 LOAD FACTOR 0.80000000

*** NEW STIFFNESS MATRIX IS REQUIRED ***

APRIL 17, 2004 MSC.NASTRAN 8/25/99 PAGE 12

NON - LINEAR ITERATION MODULE OUTPUT

STIFFNESS UPDATE TIME 1.31 SECONDS SUBCASE 1
 ITERATION TIME 0.13 SECONDS LOAD FACTOR 1.0000000

ITERATION	EUI	CONVERGENCE FACTORS			DLMAG	LINE SEARCH DATA			NQN	NLS	ENIC	NDV	MDV
		EPI	EWI	LAMBDA		FACTOR	E-FIRST	E-FINAL					

1 1.9800E+01 6.0411E-09 1.2082E-09 1.0000E-01 3.9981E-08 1.0000E+00 1.6126E-13 1.6126E-13 0 0 0 1

*** USER INFORMATION MESSAGE 6186,
 *** SOLUTION HAS CONVERGED ***

SUBID 1 LOOPID 5 LOAD STEP 1.000 LOAD FACTOR 1.00000000

*** NEW STIFFNESS MATRIX IS REQUIRED ***

*** USER INFORMATION MESSAGE 9005 (NLSTATIC)
 *** THE SOLUTION FOR LOOPID= 5 IS SAVED FOR RESTART

*** USER INFORMATION MESSAGE 4114 (OUTPX2)

DATA BLOCK OUGV1 WRITTEN ON FORTRAN UNIT 12, TRL =
 101 0 6472 17 4 0 1

(MAXIMUM POSSIBLE FORTRAN RECORD SIZE = 4098 WORDS.)
 (MAXIMUM SIZE OF FORTRAN RECORDS WRITTEN = 4098 WORDS.)
 (NUMBER OF FORTRAN RECORDS WRITTEN = 22 RECORDS.)
 (TOTAL DATA WRITTEN FOR DATA BLOCK = 6652 WORDS.)

Analisa Gaya Tarik Awal Pada Tether

NONLINEAR
 LOAD STEP = 1.00000E+00

ELEMENT-ID	GRID	STAT DIST/ LENGTH	FORCES IN BEAM ELEMENTS				(CBEAM) AXIAL FORCE	TOTAL TORQUE	WARPING TORQUE
			- BENDING MOMENTS -		- WEB SHEARS -				
			PLANE 1	PLANE 2	PLANE 1	PLANE 2			
1	1	0.000	-1.658277E-10	0.0	-5.041000E-12	0.0	1.721535E+04	0.0	0.0
	2	1.000	-1.174039E-10	0.0	-5.041000E-12	0.0	1.721535E+04	0.0	0.0
2	2	0.000	-1.189824E-10	0.0	-3.618721E-12	0.0	1.721516E+04	0.0	0.0
	3	1.000	-8.422095E-11	0.0	-3.618721E-12	0.0	1.721516E+04	0.0	0.0
3	3	0.000	-8.534634E-11	0.0	-2.597360E-12	0.0	1.721497E+04	0.0	0.0
	4	1.000	-6.039610E-11	0.0	-2.597360E-12	0.0	1.721497E+04	0.0	0.0
4	4	0.000	-6.119703E-11	0.0	-1.863886E-12	0.0	1.721479E+04	0.0	0.0
	5	1.000	-4.329255E-11	0.0	-1.863886E-12	0.0	1.721479E+04	0.0	0.0
5	5	0.000	-4.386140E-11	0.0	-1.337163E-12	0.0	1.721460E+04	0.0	0.0
	6	1.000	-3.101661E-11	0.0	-1.337163E-12	0.0	1.721460E+04	0.0	0.0
6	6	0.000	-3.141968E-11	0.0	-9.589417E-13	0.0	1.721442E+04	0.0	0.0
	7	1.000	-2.220809E-11	0.0	-9.589417E-13	0.0	1.721442E+04	0.0	0.0
7	7	0.000	-2.249290E-11	0.0	-6.873897E-13	0.0	1.721423E+04	0.0	0.0
	8	1.000	-1.588984E-11	0.0	-6.873897E-13	0.0	1.721423E+04	0.0	0.0

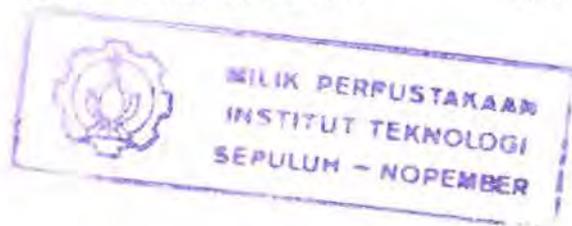
8	8	0.000	-1.609045E-11	0.0	-4.924612E-13	0.0	1.721404E+04	0.0	0.0
	9	1.000	-1.135987E-11	0.0	-4.924612E-13	0.0	1.721404E+04	0.0	0.0
9	9	0.000	-1.150060E-11	0.0	-3.525657E-13	0.0	1.721386E+04	0.0	0.0
	10	1.000	-8.113498E-12	0.0	-3.525657E-13	0.0	1.721386E+04	0.0	0.0
10	10	0.000	-8.211841E-12	0.0	-2.522083E-13	0.0	1.721367E+04	0.0	0.0
	11	1.000	-5.789128E-12	0.0	-2.522083E-13	0.0	1.721367E+04	0.0	0.0
11	11	0.000	-5.857405E-12	0.0	-1.802464E-13	0.0	1.721349E+04	0.0	0.0
	12	1.000	-4.125958E-12	0.0	-1.802464E-13	0.0	1.721349E+04	0.0	0.0
12	12	0.000	-4.173040E-12	0.0	-1.286694E-13	0.0	1.721330E+04	0.0	0.0
	13	1.000	-2.937041E-12	0.0	-1.286694E-13	0.0	1.721330E+04	0.0	0.0
13	13	0.000	-2.969205E-12	0.0	-9.172542E-14	0.0	1.721312E+04	0.0	0.0
	14	1.000	-2.088090E-12	0.0	-9.172542E-14	0.0	1.721312E+04	0.0	0.0
14	14	0.000	-2.109787E-12	0.0	-6.528183E-14	0.0	1.721293E+04	0.0	0.0
	15	1.000	-1.482689E-12	0.0	-6.528183E-14	0.0	1.721293E+04	0.0	0.0
15	15	0.000	-1.497062E-12	0.0	-4.636992E-14	0.0	1.721274E+04	0.0	0.0
	16	1.000	-1.051633E-12	0.0	-4.636992E-14	0.0	1.721274E+04	0.0	0.0
16	16	0.000	-1.060897E-12	0.0	-3.285742E-14	0.0	1.721256E+04	0.0	0.0
	17	1.000	-7.452684E-13	0.0	-3.285742E-14	0.0	1.721256E+04	0.0	0.0
17	17	0.000	-7.509764E-13	0.0	-2.321323E-14	0.0	1.721237E+04	0.0	0.0
	18	1.000	-5.279901E-13	0.0	-2.321323E-14	0.0	1.721237E+04	0.0	0.0
18	18	0.000	-5.312261E-13	0.0	-1.633831E-14	0.0	1.721219E+04	0.0	0.0
	19	1.000	-3.742803E-13	0.0	-1.633831E-14	0.0	1.721219E+04	0.0	0.0
19	19	0.000	-3.757965E-13	0.0	-1.144407E-14	0.0	1.721200E+04	0.0	0.0
	20	1.000	-2.658648E-13	0.0	-1.144407E-14	0.0	1.721200E+04	0.0	0.0
20	20	0.000	-2.661795E-13	0.0	-7.964984E-15	0.0	1.721181E+04	0.0	0.0
	21	1.000	-1.896679E-13	0.0	-7.964984E-15	0.0	1.721181E+04	0.0	0.0
21	21	0.000	-1.891352E-13	0.0	-5.495728E-15	0.0	1.721163E+04	0.0	0.0
	22	1.000	-1.363432E-13	0.0	-5.495728E-15	0.0	1.721163E+04	0.0	0.0
22	22	0.000	-1.352022E-13	0.0	-3.746021E-15	0.0	1.721144E+04	0.0	0.0
	23	1.000	-9.921790E-14	0.0	-3.746021E-15	0.0	1.721144E+04	0.0	0.0
23	23	0.000	-9.762788E-14	0.0	-2.508147E-15	0.0	1.721126E+04	0.0	0.0

24	24	1.000	-7.353462E-14	0.0	-2.508147E-15	0.0	1.721126E+04	0.0	0.0
	24	0.000	-7.159972E-14	0.0	-1.633629E-15	0.0	1.721107E+04	0.0	0.0
	25	1.000	-5.590708E-14	0.0	-1.633629E-15	0.0	1.721107E+04	0.0	0.0
25	25	0.000	-5.369342E-14	0.0	-1.016459E-15	0.0	1.721088E+04	0.0	0.0
	26	1.000	-4.392830E-14	0.0	-1.016459E-15	0.0	1.721088E+04	0.0	0.0
26	26	0.000	-4.147718E-14	0.0	-5.810194E-16	0.0	1.721070E+04	0.0	0.0
	27	1.000	-3.589591E-14	0.0	-5.810194E-16	0.0	1.721070E+04	0.0	0.0
27	27	0.000	-3.323027E-14	0.0	-2.735969E-16	0.0	1.721051E+04	0.0	0.0
	28	1.000	-3.060210E-14	0.0	-2.735969E-16	0.0	1.721051E+04	0.0	0.0
28	28	0.000	-2.773436E-14	0.0	-5.591918E-17	0.0	1.721032E+04	0.0	0.0
	29	1.000	-2.719720E-14	0.0	-5.591918E-17	0.0	1.721032E+04	0.0	0.0
29	29	0.000	-2.413234E-14	0.0	9.910610E-17	0.0	1.721014E+04	0.0	0.0
	30	1.000	-2.508435E-14	0.0	9.910610E-17	0.0	1.721014E+04	0.0	0.0
30	30	0.000	-2.182279E-14	0.0	2.106337E-16	0.0	1.720995E+04	0.0	0.0
	31	1.000	-2.384614E-14	0.0	2.106337E-16	0.0	1.720995E+04	0.0	0.0
31	31	0.000	-2.038564E-14	0.0	2.921650E-16	0.0	1.720977E+04	0.0	0.0
	32	1.000	-2.319218E-14	0.0	2.921650E-16	0.0	1.720977E+04	0.0	0.0
32	32	0.000	-1.952903E-14	0.0	3.531817E-16	0.0	1.720958E+04	0.0	0.0
	33	1.000	-2.292169E-14	0.0	3.531817E-16	0.0	1.720958E+04	0.0	0.0
33	33	0.000	-1.905152E-14	0.0	4.003143E-16	0.0	1.720939E+04	0.0	0.0
	34	1.000	-2.289694E-14	0.0	4.003143E-16	0.0	1.720939E+04	0.0	0.0
34	34	0.000	-1.881522E-14	0.0	4.381751E-16	0.0	1.720921E+04	0.0	0.0
	35	1.000	-2.302433E-14	0.0	4.381751E-16	0.0	1.720921E+04	0.0	0.0
35	35	0.000	-1.872664E-14	0.0	4.699529E-16	0.0	1.720902E+04	0.0	0.0
	36	1.000	-2.324101E-14	0.0	4.699529E-16	0.0	1.720902E+04	0.0	0.0
36	36	0.000	-1.872327E-14	0.0	4.978350E-16	0.0	1.720884E+04	0.0	0.0
	37	1.000	-2.350548E-14	0.0	4.978350E-16	0.0	1.720884E+04	0.0	0.0
37	37	0.000	-1.876397E-14	0.0	5.233078E-16	0.0	1.720865E+04	0.0	0.0
	38	1.000	-2.379087E-14	0.0	5.233078E-16	0.0	1.720865E+04	0.0	0.0
38	38	0.000	-1.882231E-14	0.0	5.473687E-16	0.0	1.720846E+04	0.0	0.0
	39	1.000	-2.408034E-14	0.0	5.473687E-16	0.0	1.720846E+04	0.0	0.0

39	39	0.000	-1.888185E-14	0.0	5.706770E-16	0.0	1.720828E+04	0.0	0.0
	40	1.000	-2.436378E-14	0.0	5.706770E-16	0.0	1.720828E+04	0.0	0.0
40	40	0.000	-1.893288E-14	0.0	5.936589E-16	0.0	1.720809E+04	0.0	0.0
	41	1.000	-2.463557E-14	0.0	5.936589E-16	0.0	1.720809E+04	0.0	0.0
41	41	0.000	-1.897013E-14	0.0	6.165819E-16	0.0	1.720791E+04	0.0	0.0
	42	1.000	-2.489302E-14	0.0	6.165819E-16	0.0	1.720791E+04	0.0	0.0
42	42	0.000	-1.899100E-14	0.0	6.395403E-16	0.0	1.720772E+04	0.0	0.0
	43	1.000	-2.513506E-14	0.0	6.395403E-16	0.0	1.720772E+04	0.0	0.0
43	43	0.000	-1.899561E-14	0.0	6.628237E-16	0.0	1.720754E+04	0.0	0.0
	44	1.000	-2.536269E-14	0.0	6.628237E-16	0.0	1.720754E+04	0.0	0.0
44	44	0.000	-1.898382E-14	0.0	6.862742E-16	0.0	1.720735E+04	0.0	0.0
	45	1.000	-2.557617E-14	0.0	6.862742E-16	0.0	1.720735E+04	0.0	0.0
45	45	0.000	-1.895702E-14	0.0	7.099733E-16	0.0	1.720716E+04	0.0	0.0
	46	1.000	-2.577702E-14	0.0	7.099733E-16	0.0	1.720716E+04	0.0	0.0
46	46	0.000	-1.891670E-14	0.0	7.339170E-16	0.0	1.720698E+04	0.0	0.0
	47	1.000	-2.596670E-14	0.0	7.339170E-16	0.0	1.720698E+04	0.0	0.0
47	47	0.000	-1.886444E-14	0.0	7.580914E-16	0.0	1.720679E+04	0.0	0.0
	48	1.000	-2.614666E-14	0.0	7.580914E-16	0.0	1.720679E+04	0.0	0.0
48	48	0.000	-1.880181E-14	0.0	7.824774E-16	0.0	1.720661E+04	0.0	0.0
	49	1.000	-2.631829E-14	0.0	7.824774E-16	0.0	1.720661E+04	0.0	0.0
49	49	0.000	-1.873031E-14	0.0	8.070543E-16	0.0	1.720642E+04	0.0	0.0
	50	1.000	-2.648288E-14	0.0	8.070543E-16	0.0	1.720642E+04	0.0	0.0
50	50	0.000	-1.865133E-14	0.0	8.318013E-16	0.0	1.720623E+04	0.0	0.0
	51	1.000	-2.664161E-14	0.0	8.318013E-16	0.0	1.720623E+04	0.0	0.0
51	51	0.000	-1.856611E-14	0.0	8.566992E-16	0.0	1.720605E+04	0.0	0.0
	52	1.000	-2.679556E-14	0.0	8.566992E-16	0.0	1.720605E+04	0.0	0.0
52	52	0.000	-1.847578E-14	0.0	8.817312E-16	0.0	1.720586E+04	0.0	0.0
	53	1.000	-2.694569E-14	0.0	8.817312E-16	0.0	1.720586E+04	0.0	0.0
53	53	0.000	-1.838135E-14	0.0	9.068825E-16	0.0	1.720568E+04	0.0	0.0
	54	1.000	-2.709286E-14	0.0	9.068825E-16	0.0	1.720568E+04	0.0	0.0
54	54	0.000	-1.828371E-14	0.0	9.321413E-16	0.0	1.720549E+04	0.0	0.0

	70	0.000	-1.685336E-14	0.0	1.349278E-15	0.0	1.720251E+04	0.0	0.0
	71	1.000	-2.981453E-14	0.0	1.349278E-15	0.0	1.720251E+04	0.0	0.0
71	71	0.000	-1.680347E-14	0.0	1.376038E-15	0.0	1.720233E+04	0.0	0.0
	72	1.000	-3.002170E-14	0.0	1.376038E-15	0.0	1.720233E+04	0.0	0.0
72	72	0.000	-1.675857E-14	0.0	1.402632E-15	0.0	1.720214E+04	0.0	0.0
	73	1.000	-3.023225E-14	0.0	1.402632E-15	0.0	1.720214E+04	0.0	0.0
73	73	0.000	-1.671585E-14	0.0	1.428854E-15	0.0	1.720196E+04	0.0	0.0
	74	1.000	-3.044143E-14	0.0	1.428854E-15	0.0	1.720196E+04	0.0	0.0
74	74	0.000	-1.667039E-14	0.0	1.454390E-15	0.0	1.720177E+04	0.0	0.0
	75	1.000	-3.064125E-14	0.0	1.454390E-15	0.0	1.720177E+04	0.0	0.0
75	75	0.000	-1.661378E-14	0.0	1.478602E-15	0.0	1.720158E+04	0.0	0.0
	76	1.000	-3.081871E-14	0.0	1.478602E-15	0.0	1.720158E+04	0.0	0.0
76	76	0.000	-1.653378E-14	0.0	1.501262E-15	0.0	1.720140E+04	0.0	0.0
	77	1.000	-3.095491E-14	0.0	1.501262E-15	0.0	1.720140E+04	0.0	0.0
77	77	0.000	-1.640979E-14	0.0	1.520844E-15	0.0	1.720121E+04	0.0	0.0
	78	1.000	-3.101902E-14	0.0	1.520844E-15	0.0	1.720121E+04	0.0	0.0
78	78	0.000	-1.621195E-14	0.0	1.535981E-15	0.0	1.720103E+04	0.0	0.0
	79	1.000	-3.096659E-14	0.0	1.535981E-15	0.0	1.720103E+04	0.0	0.0
79	79	0.000	-1.589541E-14	0.0	1.544459E-15	0.0	1.720084E+04	0.0	0.0
	80	1.000	-3.073148E-14	0.0	1.544459E-15	0.0	1.720084E+04	0.0	0.0
80	80	0.000	-1.539412E-14	0.0	1.543079E-15	0.0	1.720065E+04	0.0	0.0
	81	1.000	-3.021694E-14	0.0	1.543079E-15	0.0	1.720065E+04	0.0	0.0
81	81	0.000	-1.461159E-14	0.0	1.527246E-15	0.0	1.720047E+04	0.0	0.0
	82	1.000	-2.928232E-14	0.0	1.527246E-15	0.0	1.720047E+04	0.0	0.0
82	82	0.000	-1.340778E-14	0.0	1.490380E-15	0.0	1.720028E+04	0.0	0.0
	83	1.000	-2.772437E-14	0.0	1.490380E-15	0.0	1.720028E+04	0.0	0.0
83	83	0.000	-1.158060E-14	0.0	1.423085E-15	0.0	1.720010E+04	0.0	0.0
	84	1.000	-2.525075E-14	0.0	1.423085E-15	0.0	1.720010E+04	0.0	0.0
84	84	0.000	-8.839593E-15	0.0	1.311977E-15	0.0	1.719991E+04	0.0	0.0
	85	1.000	-2.144244E-14	0.0	1.311977E-15	0.0	1.719991E+04	0.0	0.0
85	85	0.000	-4.768848E-15	0.0	1.138025E-15	0.0	1.719972E+04	0.0	0.0
	86	1.000	-1.570071E-14	0.0	1.138025E-15	0.0	1.719972E+04	0.0	0.0

86	86	0.000	1.225540E-15	0.0	8.742177E-16	0.0	1.719954E+04	0.0	0.0
	87	1.000	-7.172196E-15	0.0	8.742177E-16	0.0	1.719954E+04	0.0	0.0
87	87	0.000	9.989616E-15	0.0	4.822643E-16	0.0	1.719935E+04	0.0	0.0
	88	1.000	5.356985E-15	0.0	4.822643E-16	0.0	1.719935E+04	0.0	0.0
88	88	0.000	2.272628E-14	0.0	-9.206021E-17	0.0	1.719917E+04	0.0	0.0
	89	1.000	2.361061E-14	0.0	-9.206021E-17	0.0	1.719917E+04	0.0	0.0
89	89	0.000	4.114312E-14	0.0	-9.255796E-16	0.0	1.719898E+04	0.0	0.0
	90	1.000	5.003461E-14	0.0	-9.255796E-16	0.0	1.719898E+04	0.0	0.0
90	90	0.000	6.766210E-14	0.0	-2.126549E-15	0.0	1.719879E+04	0.0	0.0
	91	1.000	8.808994E-14	0.0	-2.126549E-15	0.0	1.719879E+04	0.0	0.0
91	91	0.000	1.057100E-13	0.0	-3.848409E-15	0.0	1.719861E+04	0.0	0.0
	92	1.000	1.426778E-13	0.0	-3.848409E-15	0.0	1.719861E+04	0.0	0.0
92	92	0.000	1.601379E-13	0.0	-6.307714E-15	0.0	1.719842E+04	0.0	0.0
	93	1.000	2.207305E-13	0.0	-6.307714E-15	0.0	1.719842E+04	0.0	0.0
93	93	0.000	2.378065E-13	0.0	-9.810150E-15	0.0	1.719824E+04	0.0	0.0
	94	1.000	3.320428E-13	0.0	-9.810150E-15	0.0	1.719824E+04	0.0	0.0
94	94	0.000	3.484079E-13	0.0	-1.478748E-14	0.0	1.719805E+04	0.0	0.0
	95	1.000	4.904579E-13	0.0	-1.478748E-14	0.0	1.719805E+04	0.0	0.0
95	95	0.000	5.056391E-13	0.0	-2.184902E-14	0.0	1.719786E+04	0.0	0.0
	96	1.000	7.155230E-13	0.0	-2.184902E-14	0.0	1.719786E+04	0.0	0.0
96	96	0.000	7.288389E-13	0.0	-3.185479E-14	0.0	1.719768E+04	0.0	0.0
	97	1.000	1.034836E-12	0.0	-3.185479E-14	0.0	1.719768E+04	0.0	0.0
97	97	0.000	1.045309E-12	0.0	-4.601884E-14	0.0	1.719749E+04	0.0	0.0
	98	1.000	1.487370E-12	0.0	-4.601884E-14	0.0	1.719749E+04	0.0	0.0
98	98	0.000	1.493605E-12	0.0	-6.605461E-14	0.0	1.719731E+04	0.0	0.0
	99	1.000	2.128128E-12	0.0	-6.605461E-14	0.0	1.719731E+04	0.0	0.0
99	99	0.000	2.128133E-12	0.0	-9.438080E-14	0.0	1.719712E+04	0.0	0.0
	100	1.000	3.034760E-12	0.0	-9.438080E-14	0.0	1.719712E+04	0.0	0.0
100	101	0.000	-1.478433E-09	0.0	-2.789587E-10	0.0	1.721535E+04	0.0	0.0
	102	1.000	1.201245E-09	0.0	-2.789587E-10	0.0	1.721535E+04	0.0	0.0
101	102	0.000	-1.066416E-09	0.0	-2.027280E-10	0.0	1.721516E+04	0.0	0.0



. Analisa Gaya Tarik Awal Pada Riser

APRIL 15, 2004 MSC.NASTRAN 8/25/99 PAGE 46

LOAD STEP = 1.00000E+00

NONLINEAR

ELEMENT-ID	GRID	STAT DIST/ LENGTH	FORCES IN BEAM		ELEMENTS		(C B E A M)		WARPING TORQUE
			- BENDING PLANE 1	MOMENTS - PLANE 2	- WEB PLANE 1	SHEARS - PLANE 2	AXIAL FORCE	TOTAL TORQUE	
203	210	0.000	-4.147513E-12	0.0	-8.819076E-13	0.0	8.216825E+03	0.0	0.0
	211	1.000	4.154766E-12	0.0	-8.819076E-13	0.0	8.216825E+03	0.0	0.0
204	211	0.000	-4.179191E-12	0.0	-8.905330E-13	0.0	8.216714E+03	0.0	0.0
	212	1.000	4.204287E-12	0.0	-8.905330E-13	0.0	8.216714E+03	0.0	0.0
205	212	0.000	-4.264384E-12	0.0	-9.117552E-13	0.0	8.216603E+03	0.0	0.0
	213	1.000	4.318880E-12	0.0	-9.117552E-13	0.0	8.216603E+03	0.0	0.0
206	213	0.000	-4.442331E-12	0.0	-9.553501E-13	0.0	8.216491E+03	0.0	0.0
	214	1.000	4.551334E-12	0.0	-9.553501E-13	0.0	8.216491E+03	0.0	0.0
207	214	0.000	-4.795022E-12	0.0	-1.041404E-12	0.0	8.216380E+03	0.0	0.0
	215	1.000	5.008757E-12	0.0	-1.041404E-12	0.0	8.216380E+03	0.0	0.0
208	215	0.000	-5.484971E-12	0.0	-1.209571E-12	0.0	8.216269E+03	0.0	0.0
	216	1.000	5.901930E-12	0.0	-1.209571E-12	0.0	8.216269E+03	0.0	0.0
209	216	0.000	-6.830116E-12	0.0	-1.537344E-12	0.0	8.216157E+03	0.0	0.0
	217	1.000	7.642437E-12	0.0	-1.537344E-12	0.0	8.216157E+03	0.0	0.0
210	217	0.000	-9.450313E-12	0.0	-2.175763E-12	0.0	8.216046E+03	0.0	0.0
	218	1.000	1.103232E-11	0.0	-2.175763E-12	0.0	8.216046E+03	0.0	0.0
211	218	0.000	1.187671E-10	0.0	2.523635E-11	0.0	8.215936E+03	0.0	0.0
	219	1.000	-1.187827E-10	0.0	2.523635E-11	0.0	8.215936E+03	0.0	0.0
212	219	0.000	-1.096399E-11	0.0	-2.157173E-12	0.0	8.215824E+03	0.0	0.0
	220	1.000	9.343638E-12	0.0	-2.157173E-12	0.0	8.215824E+03	0.0	0.0
213	220	0.000	-7.459769E-12	0.0	-1.491918E-12	0.0	8.215713E+03	0.0	0.0

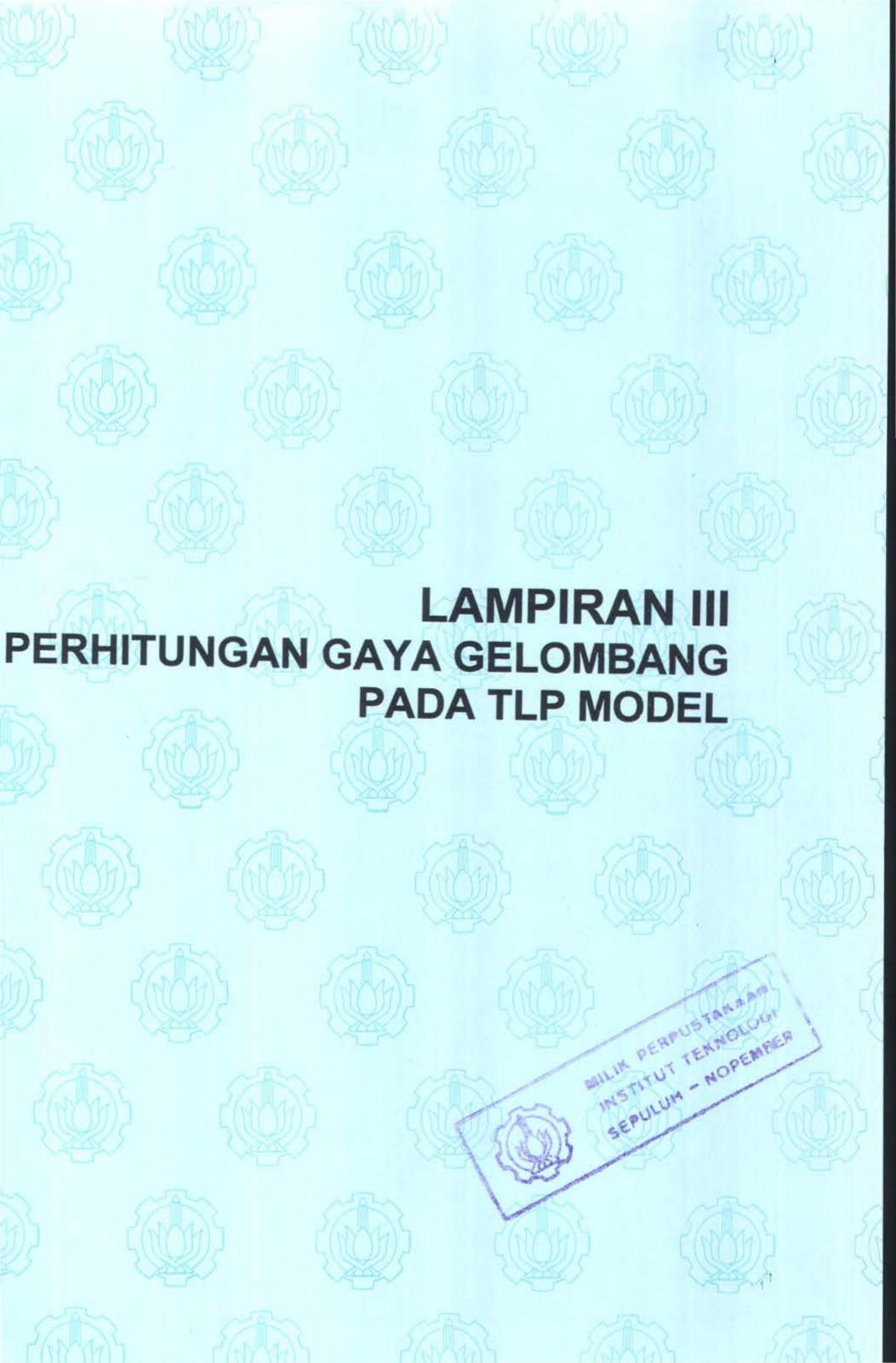
214	221	1.000	6.585144E-12	0.0	-1.491918E-12	0.0	8.215713E+03	0.0	0.0
	221	0.000	-5.523874E-12	0.0	-1.117149E-12	0.0	8.215602E+03	0.0	0.0
	222	1.000	4.992965E-12	0.0	-1.117149E-12	0.0	8.215602E+03	0.0	0.0
215	222	0.000	-4.267330E-12	0.0	-8.609036E-13	0.0	8.215490E+03	0.0	0.0
	223	1.000	3.837217E-12	0.0	-8.609036E-13	0.0	8.215490E+03	0.0	0.0
216	223	0.000	-3.116432E-12	0.0	-6.063712E-13	0.0	8.215379E+03	0.0	0.0
	224	1.000	2.591947E-12	0.0	-6.063712E-13	0.0	8.215379E+03	0.0	0.0
217	224	0.000	-1.550223E-12	0.0	-2.385049E-13	0.0	8.215268E+03	0.0	0.0
	225	1.000	6.950622E-13	0.0	-2.385049E-13	0.0	8.215268E+03	0.0	0.0
218	225	0.000	1.136323E-12	0.0	4.082164E-13	0.0	8.215156E+03	0.0	0.0
	226	1.000	-2.706626E-12	0.0	4.082164E-13	0.0	8.215156E+03	0.0	0.0
219	226	0.000	3.903413E-12	0.0	8.308403E-13	0.0	8.215045E+03	0.0	0.0
	227	1.000	-3.918118E-12	0.0	8.308403E-13	0.0	8.215045E+03	0.0	0.0
220	227	0.000	2.770856E-12	0.0	4.257051E-13	0.0	8.214934E+03	0.0	0.0
	228	1.000	-1.236731E-12	0.0	4.257051E-13	0.0	8.214934E+03	0.0	0.0
221	228	0.000	-5.223206E-13	0.0	-1.954730E-13	0.0	8.214822E+03	0.0	0.0
	229	1.000	1.317862E-12	0.0	-1.954730E-13	0.0	8.214822E+03	0.0	0.0
222	229	0.000	-2.231096E-12	0.0	-5.179656E-13	0.0	8.214711E+03	0.0	0.0
	230	1.000	2.645032E-12	0.0	-5.179656E-13	0.0	8.214711E+03	0.0	0.0
223	230	0.000	-3.121940E-12	0.0	-6.863772E-13	0.0	8.214600E+03	0.0	0.0
	231	1.000	3.339616E-12	0.0	-6.863772E-13	0.0	8.214600E+03	0.0	0.0
224	231	0.000	-3.593594E-12	0.0	-7.760654E-13	0.0	8.214488E+03	0.0	0.0
	232	1.000	3.712285E-12	0.0	-7.760654E-13	0.0	8.214488E+03	0.0	0.0
225	232	0.000	-3.856791E-12	0.0	-8.270951E-13	0.0	8.214377E+03	0.0	0.0
	233	1.000	3.929482E-12	0.0	-8.270951E-13	0.0	8.214377E+03	0.0	0.0
226	233	0.000	-4.029087E-12	0.0	-8.622686E-13	0.0	8.214266E+03	0.0	0.0
	234	1.000	4.088310E-12	0.0	-8.622686E-13	0.0	8.214266E+03	0.0	0.0
227	234	0.000	-4.188057E-12	0.0	-8.975468E-13	0.0	8.214154E+03	0.0	0.0
	235	1.000	4.260551E-12	0.0	-8.975468E-13	0.0	8.214154E+03	0.0	0.0
228	235	0.000	-4.404707E-12	0.0	-9.484016E-13	0.0	8.214043E+03	0.0	0.0
	236	1.000	4.523546E-12	0.0	-9.484016E-13	0.0	8.214043E+03	0.0	0.0
229	236	0.000							

	236	0.000	-4.779197E-12	0.0	-1.038680E-12	0.0	8.213932E+03	0.0	0.0
230	237	1.000	4.998938E-12	0.0	-1.038680E-12	0.0	8.213932E+03	0.0	0.0
	237	0.000	-5.483298E-12	0.0	-1.209723E-12	0.0	8.213820E+03	0.0	0.0
231	238	1.000	5.905036E-12	0.0	-1.209723E-12	0.0	8.213820E+03	0.0	0.0
	238	0.000	-6.841043E-12	0.0	-1.540257E-12	0.0	8.213709E+03	0.0	0.0
232	239	1.000	7.658939E-12	0.0	-1.540257E-12	0.0	8.213709E+03	0.0	0.0
	239	0.000	-9.477574E-12	0.0	-2.182476E-12	0.0	8.213598E+03	0.0	0.0
233	240	1.000	1.106825E-11	0.0	-2.182476E-12	0.0	8.213598E+03	0.0	0.0
	240	0.000	1.186898E-10	0.0	2.521553E-11	0.0	8.213486E+03	0.0	0.0
234	241	1.000	-1.186891E-10	0.0	2.521553E-11	0.0	8.213486E+03	0.0	0.0
	241	0.000	-1.107108E-11	0.0	-2.183238E-12	0.0	8.213375E+03	0.0	0.0
235	242	1.000	9.481920E-12	0.0	-2.183238E-12	0.0	8.213375E+03	0.0	0.0
	242	0.000	-7.666039E-12	0.0	-1.541991E-12	0.0	8.213264E+03	0.0	0.0
236	243	1.000	6.850268E-12	0.0	-1.541991E-12	0.0	8.213264E+03	0.0	0.0
	243	0.000	-5.918390E-12	0.0	-1.212915E-12	0.0	8.213152E+03	0.0	0.0
237	244	1.000	5.499994E-12	0.0	-1.212915E-12	0.0	8.213152E+03	0.0	0.0
	244	0.000	-5.022310E-12	0.0	-1.044229E-12	0.0	8.213041E+03	0.0	0.0
238	245	1.000	4.808067E-12	0.0	-1.044229E-12	0.0	8.213041E+03	0.0	0.0
	245	0.000	-4.563481E-12	0.0	-9.578584E-13	0.0	8.212930E+03	0.0	0.0
239	246	1.000	4.453798E-12	0.0	-9.578584E-13	0.0	8.212930E+03	0.0	0.0
	246	0.000	-4.327737E-12	0.0	-9.133423E-13	0.0	8.212818E+03	0.0	0.0
240	247	1.000	4.270467E-12	0.0	-9.133423E-13	0.0	8.212818E+03	0.0	0.0
	247	0.000	-4.201463E-12	0.0	-8.889748E-13	0.0	8.212707E+03	0.0	0.0
241	248	1.000	4.167345E-12	0.0	-8.889748E-13	0.0	8.212707E+03	0.0	0.0
	248	0.000	-4.117576E-12	0.0	-8.713995E-13	0.0	8.212596E+03	0.0	0.0
242	249	1.000	4.085779E-12	0.0	-8.713995E-13	0.0	8.212596E+03	0.0	0.0
	249	0.000	-4.021603E-12	0.0	-8.487367E-13	0.0	8.212484E+03	0.0	0.0
243	250	1.000	3.968405E-12	0.0	-8.487367E-13	0.0	8.212484E+03	0.0	0.0
	250	0.000	-3.928258E-12	0.0	-8.345595E-13	0.0	8.212373E+03	0.0	0.0
244	251	1.000	3.928285E-12	0.0	-8.345595E-13	0.0	8.212373E+03	0.0	0.0
	251	0.000	-3.968785E-12	0.0	-8.489121E-13	0.0	8.212262E+03	0.0	0.0
	252	1.000	4.022025E-12	0.0	-8.489121E-13	0.0	8.212262E+03	0.0	0.0

245	252	0.000	-4.085982E-12	0.0	-8.714483E-13	0.0	8.212150E+03	0.0	0.0
	253	1.000	4.117832E-12	0.0	-8.714483E-13	0.0	8.212150E+03	0.0	0.0
246	253	0.000	-4.167685E-12	0.0	-8.890530E-13	0.0	8.212039E+03	0.0	0.0
	254	1.000	4.201860E-12	0.0	-8.890530E-13	0.0	8.212039E+03	0.0	0.0
247	254	0.000	-4.270952E-12	0.0	-9.134519E-13	0.0	8.211928E+03	0.0	0.0
	255	1.000	4.328284E-12	0.0	-9.134519E-13	0.0	8.211928E+03	0.0	0.0
248	255	0.000	-4.454444E-12	0.0	-9.580033E-13	0.0	8.211816E+03	0.0	0.0
	256	1.000	4.564198E-12	0.0	-9.580033E-13	0.0	8.211816E+03	0.0	0.0
249	256	0.000	-4.808900E-12	0.0	-1.044415E-12	0.0	8.211705E+03	0.0	0.0
	257	1.000	5.023225E-12	0.0	-1.044415E-12	0.0	8.211705E+03	0.0	0.0
250	257	0.000	-5.501038E-12	0.0	-1.213147E-12	0.0	8.211594E+03	0.0	0.0
	258	1.000	5.919523E-12	0.0	-1.213147E-12	0.0	8.211594E+03	0.0	0.0
251	258	0.000	-6.851519E-12	0.0	-1.542264E-12	0.0	8.211482E+03	0.0	0.0
	259	1.000	7.667358E-12	0.0	-1.542264E-12	0.0	8.211482E+03	0.0	0.0
252	259	0.000	-9.483255E-12	0.0	-2.183517E-12	0.0	8.211371E+03	0.0	0.0
	260	1.000	1.107237E-11	0.0	-2.183517E-12	0.0	8.211371E+03	0.0	0.0
253	260	0.000	1.186875E-10	0.0	2.521514E-11	0.0	8.211261E+03	0.0	0.0
	261	1.000	-1.186878E-10	0.0	2.521514E-11	0.0	8.211261E+03	0.0	0.0
254	261	0.000	-1.107153E-11	0.0	-2.183291E-12	0.0	8.211149E+03	0.0	0.0
	262	1.000	9.481976E-12	0.0	-2.183291E-12	0.0	8.211149E+03	0.0	0.0
255	262	0.000	-7.665384E-12	0.0	-1.541794E-12	0.0	8.211038E+03	0.0	0.0
	263	1.000	6.849062E-12	0.0	-1.541794E-12	0.0	8.211038E+03	0.0	0.0
256	263	0.000	-5.916362E-12	0.0	-1.212427E-12	0.0	8.210927E+03	0.0	0.0
	264	1.000	5.497428E-12	0.0	-1.212427E-12	0.0	8.210927E+03	0.0	0.0
257	264	0.000	-5.019200E-12	0.0	-1.043549E-12	0.0	8.210815E+03	0.0	0.0
	265	1.000	4.804774E-12	0.0	-1.043549E-12	0.0	8.210815E+03	0.0	0.0
258	265	0.000	-4.560833E-12	0.0	-9.574061E-13	0.0	8.210704E+03	0.0	0.0
	266	1.000	4.452188E-12	0.0	-9.574061E-13	0.0	8.210704E+03	0.0	0.0
259	266	0.000	-4.330217E-12	0.0	-9.143343E-13	0.0	8.210593E+03	0.0	0.0
	267	1.000	4.277326E-12	0.0	-9.143343E-13	0.0	8.210593E+03	0.0	0.0
260	267	0.000	-4.221462E-12	0.0	-8.946591E-13	0.0	8.210481E+03	0.0	0.0

	283	0.000	-2.760843E-12	0.0	-5.394865E-13	0.0	8.208700E+03	0.0	0.0
	284	1.000	2.317883E-12	0.0	-5.394865E-13	0.0	8.208700E+03	0.0	0.0
277									
	284	0.000	-1.369787E-12	0.0	-2.046799E-13	0.0	8.208589E+03	0.0	0.0
	285	1.000	5.568643E-13	0.0	-2.046799E-13	0.0	8.208589E+03	0.0	0.0
278									
	285	0.000	1.225410E-12	0.0	4.247263E-13	0.0	8.208478E+03	0.0	0.0
	286	1.000	-2.772963E-12	0.0	4.247263E-13	0.0	8.208478E+03	0.0	0.0
279									
	286	0.000	3.943663E-12	0.0	8.381383E-13	0.0	8.208366E+03	0.0	0.0
	287	1.000	-3.946571E-12	0.0	8.381383E-13	0.0	8.208366E+03	0.0	0.0
280									
	287	0.000	2.785658E-12	0.0	4.281825E-13	0.0	8.208255E+03	0.0	0.0
	288	1.000	-1.245252E-12	0.0	4.281825E-13	0.0	8.208255E+03	0.0	0.0
281									
	288	0.000	-5.227510E-13	0.0	-1.961565E-13	0.0	8.208144E+03	0.0	0.0
	289	1.000	1.323867E-12	0.0	-1.961565E-13	0.0	8.208144E+03	0.0	0.0
282									
	289	0.000	-2.246705E-12	0.0	-5.220407E-13	0.0	8.208032E+03	0.0	0.0
	290	1.000	2.667786E-12	0.0	-5.220407E-13	0.0	8.208032E+03	0.0	0.0
283									
	290	0.000	-3.159042E-12	0.0	-6.955192E-13	0.0	8.207921E+03	0.0	0.0
	291	1.000	3.388575E-12	0.0	-6.955192E-13	0.0	8.207921E+03	0.0	0.0
284									
	291	0.000	-3.668077E-12	0.0	-7.942203E-13	0.0	8.207810E+03	0.0	0.0
	292	1.000	3.808713E-12	0.0	-7.942203E-13	0.0	8.207810E+03	0.0	0.0
285									
	292	0.000	-4.001573E-12	0.0	-8.623251E-13	0.0	8.207698E+03	0.0	0.0
	293	1.000	4.116356E-12	0.0	-8.623251E-13	0.0	8.207698E+03	0.0	0.0
286									
	293	0.000	-4.309346E-12	0.0	-9.304760E-13	0.0	8.207587E+03	0.0	0.0
	294	1.000	4.450155E-12	0.0	-9.304760E-13	0.0	8.207587E+03	0.0	0.0
287									
	294	0.000	-4.730972E-12	0.0	-1.029642E-12	0.0	8.207476E+03	0.0	0.0
	295	1.000	4.962074E-12	0.0	-1.029642E-12	0.0	8.207476E+03	0.0	0.0
288									
	295	0.000	-5.459319E-12	0.0	-1.205235E-12	0.0	8.207364E+03	0.0	0.0
	296	1.000	5.886763E-12	0.0	-1.205235E-12	0.0	8.207364E+03	0.0	0.0
289									
	296	0.000	-6.828911E-12	0.0	-1.537938E-12	0.0	8.207253E+03	0.0	0.0
	297	1.000	7.649235E-12	0.0	-1.537938E-12	0.0	8.207253E+03	0.0	0.0
290									
	297	0.000	-9.469654E-12	0.0	-2.180786E-12	0.0	8.207142E+03	0.0	0.0
	298	1.000	1.106027E-11	0.0	-2.180786E-12	0.0	8.207142E+03	0.0	0.0
291									
	298	0.000	1.187073E-10	0.0	2.522037E-11	0.0	8.207030E+03	0.0	0.0
	299	1.000	-1.187072E-10	0.0	2.522037E-11	0.0	8.207030E+03	0.0	0.0

292	299	0.000	-1.106067E-11	0.0	-2.180910E-12	0.0	8.206919E+03	0.0	0.0
	300	1.000	9.470203E-12	0.0	-2.180910E-12	0.0	8.206919E+03	0.0	0.0
293	300	0.000	-7.649982E-12	0.0	-1.538116E-12	0.0	8.206808E+03	0.0	0.0
	301	1.000	6.829839E-12	0.0	-1.538116E-12	0.0	8.206808E+03	0.0	0.0
294	301	0.000	-5.888077E-12	0.0	-1.205555E-12	0.0	8.206696E+03	0.0	0.0
	302	1.000	5.460901E-12	0.0	-1.205555E-12	0.0	8.206696E+03	0.0	0.0
295	302	0.000	-4.964158E-12	0.0	-1.030132E-12	0.0	8.206586E+03	0.0	0.0
	303	1.000	4.733500E-12	0.0	-1.030132E-12	0.0	8.206586E+03	0.0	0.0
296	303	0.000	-4.453632E-12	0.0	-9.313062E-13	0.0	8.206475E+03	0.0	0.0
	304	1.000	4.313592E-12	0.0	-9.313062E-13	0.0	8.206475E+03	0.0	0.0
297	304	0.000	-4.122212E-12	0.0	-8.637230E-13	0.0	8.206363E+03	0.0	0.0
	305	1.000	4.008790E-12	0.0	-8.637230E-13	0.0	8.206363E+03	0.0	0.0
298	305	0.000	-3.818775E-12	0.0	-7.966171E-13	0.0	8.206252E+03	0.0	0.0
	306	1.000	3.680579E-12	0.0	-7.966171E-13	0.0	8.206252E+03	0.0	0.0
299	306	0.000	-3.406273E-12	0.0	-6.997545E-13	0.0	8.206141E+03	0.0	0.0
	307	1.000	3.181146E-12	0.0	-6.997545E-13	0.0	8.206141E+03	0.0	0.0
300	307	0.000	-2.699247E-12	0.0	-5.295767E-13	0.0	8.206029E+03	0.0	0.0
	308	1.000	2.286167E-12	0.0	-5.295767E-13	0.0	8.206029E+03	0.0	0.0
301	308	0.000	-1.380394E-12	0.0	-2.097175E-13	0.0	8.205918E+03	0.0	0.0
	309	1.000	5.938731E-13	0.0	-2.097175E-13	0.0	8.205918E+03	0.0	0.0



LAMPIRAN III
PERHITUNGAN GAYA GELOMBANG
PADA TLP MODEL



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER



LAMPIRAN III

Perhitungan Gaya Gelombang

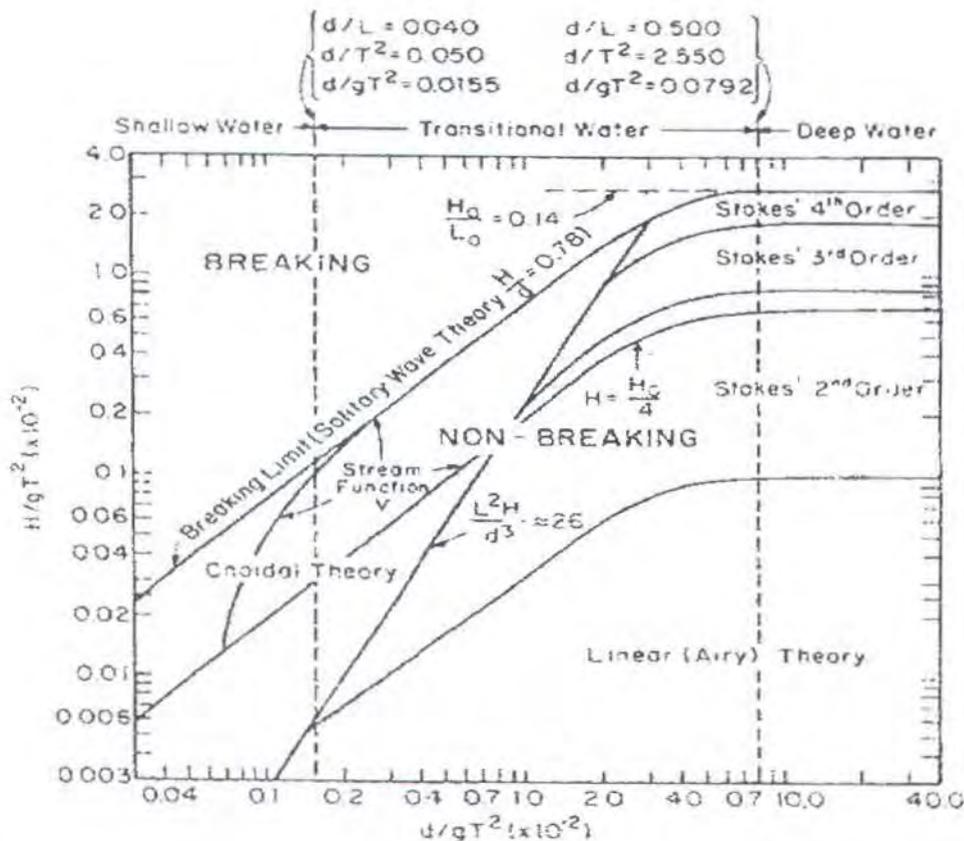
Pada TLP Model

Penentuan teori gelombang yang akan digunakan dalam Tugas Akhir ini dilakukan dengan melakukan pengecekan *region of validity*,

$$\frac{H}{gT^2} = \frac{3,18}{(9,81 \cdot 8,8^2)} = 0,004$$

$$\frac{d}{gT^2} = \frac{975}{(9,81 \cdot 8,8^2)} = 1,28$$

melalui grafik *region of validity* dibawah :



Gambar L.3.1. Grafik Region of validity



Maka dapat diambil kesimpulan bahwa kondisi perairan di selat Makasar termasuk perairan dalam dan teori gelombang yang digunakan adalah teori gelombang Airy.

Persamaan gelombang yang digunakan adalah persamaan Morison, Menyesuaikan dengan penelitian lain yang sudah dilakukan sebelumnya akan digunakan sebagai penelitian pembandingan maka gaya drag diabaikan atau dianggap nol. Jadi persamaan gelombangnya hanya menggunakan penurunan dari komponen inersia dari persamaan Morison. Cara mendapatkan persamaan gelombang yang dipakai pada Tugas Akhir ini dilakukan dengan uraian sebagai berikut;

Persamaan Morison:

$$F_{Morison} = F_i + F_d$$

$$F_{Morison} = m \cdot \dot{u} + \frac{1}{2} \rho \cdot C_d \cdot D \cdot u |u|$$

Percepatan fluida menurut *Mc.Iever(1978)*;

$$\dot{u} = \omega^2 \frac{h}{2} e^{kz} \sin(kx - \omega t)$$

$$\dot{w} = -\omega^2 \frac{h}{2} e^{-kz} \cos(kx - \omega t)$$



1. Persamaan gelombang Arah Surge

Persamaan gelombang Arah Surge pada Kolom:

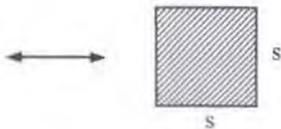
$$F = (\rho.A.Cm)\dot{u}$$

$$F = \left(\frac{1}{4}\pi D^2 \rho.Cm\right) \left(\frac{H}{2}\omega^2 e^{kz} \sin(kx - \omega t)\right) \partial z + 0$$

$$F = \frac{\pi D^2}{8} \rho \omega^2 H.Cm. \sin(kx - \omega t). \int_{-h}^0 e^{kz} \partial z$$

$$F = \frac{\pi D^2}{8} \rho.Cm. \frac{\omega^2}{k} H(1 - e^{-kh}) \sin(kx - \omega t)$$

untuk kolom penampang lingkaran ; $A = \frac{\pi D^2}{4} \rho \frac{1}{2} Cm.g$



$$g = \frac{\omega^2}{k}$$

untuk kolom penampang bujur sangkar ; $A = \frac{1}{2} \rho.s^2 Cm.e^{kh}$

$$F = H.A.(1 - e^{-kh}) \sin(kx - \omega t)$$

maka persamaan gelombang untuk arah surge untuk tiap kolom didapatkan sebagai berikut:

$$F_{KolomSurge} = \frac{H}{2} \rho.s^2.Cm.g.(1 - e^{-kh}) \sin(kx - \omega t)$$

koefisien massa tambah kolom menurut wendel (1950) adalah:



$C_a = 1,51$ maka diperoleh nilai $C_m = 1 + C_a = 2,51$

Karena jumlah kolom pada platform TLP sebanyak empat kolom, maka persamaan gelombang arah surge pada kolom tersebut adalah:

$$F_{KolomSurge} = \frac{H}{2} s^2 \rho C_m g \left\{ \sum_{i=1}^4 (1 - e^{-kh_i}) \sin(kx_i - \omega t) \right\}$$

$$F_{KolomSurge} = H s^2 \rho C_m g (1 - e^{-kh}) \{ \sin(kx - \omega t) - \sin(kx + \omega t) \}$$

$$\sin(kx - \omega t) - \sin(kx + \omega t) = -2 \cos(kx) \sin(\omega t)$$

sehingga persamaan gelombang pada arah surge menjadi :

$$F_{KolomSurge} = -4 \frac{H}{2} s^2 \rho C_m g (1 - e^{-kh}) \cos(kx) \sin(\omega t)$$

Persamaan gelombang Arah Surge pada Ponton:

$$F = \left(\frac{1}{4} \pi D^2 \rho C_m \right) \left(\frac{H}{2} \omega^2 e^{kz} \sin(kx - \omega t) \right) \partial x + 0$$

$$F = \frac{\pi D^2}{8} \rho \omega^2 H C_m e^{kz} \int_0^a \sin(kx - \omega t) \partial x$$

$$F = \frac{\pi D^2}{8} \rho C_m \frac{\omega^2}{k} H e^{kz} \int_0^a \cos(ka - \omega t) + \cos(\omega t) \partial x$$

$$F = -\frac{\pi D^2}{8} \rho C_m g H e^{kz} (kb') \cos(ka) \sin(\omega t)$$

dimana:

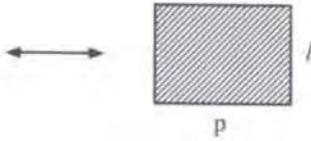
b' = setengah panjang pontoon

a' = setengah jarak antar sumbu kolom

untuk kolom penampang lingkaran ; $A = \frac{\pi D^2}{4} \rho \frac{1}{2} C_m g$

untuk kolom penampang bujur sangkar ; $A = \frac{1}{2} \rho (p,l) C_m g$

$$g = \frac{\omega^2}{k}$$



$$F = -4 \frac{H}{2} (pl) \rho \cdot g \cdot C_m \cdot e^{-kz} (kb') \cos(ka) \sin(\omega t)$$

sehingga didapat persamaan gelombang arah surge pada pontoon =

$$F = -4 \frac{H}{2} (pl) \rho \cdot g \cdot C_m \cdot e^{-kz} (kb') \cos(ka) \sin(\omega t)$$

2. Peramaan Gelombang Arah Heave

Peramaan Gelombang Arah Heave pada Kolom :

$$F = (\rho \cdot A \cdot C_m) \dot{v}$$

Setelah diuraikan komponen percepatan fluida (\dot{v}), maka gaya gelombang untuk kolom arah heave dapat dituliskan sbb. :

$$F_{KolomHeave} = \sum_{i=1}^4 \frac{H}{2} \rho g e^{-kh_i} \frac{\pi}{4} D_i^2 \cos(kx_i - \omega t)$$

Untuk penampang kolom bujur sangkar, maka luas penampangnya berubah dari $\pi/4(D_i^2)$ menjadi s^2 . Sehingga didapat persamaan :

$$\begin{aligned} F_{KolomHeave} &= \frac{H}{2} s^2 \rho g e^{-kh_i} \sum_{i=1}^4 \cos(kx_i - \omega t) \\ &= H \rho g e^{-kh} s^2 \{ \cos(kx + \omega t) + \cos(kx - \omega t) \} \end{aligned}$$



Jika faktor dalam kurung kurawal diuraikan lebih lanjut akan menjadi $2\cos(kx)\cos(\omega t)$, sehingga didapat persamaan gelombang arah *heave* pada kolom sbb. :

$$F_{KolomHeave} = 4 \frac{H}{2} \rho g e^{-kh} s^2 \cos(kx) \cos(\omega t)$$

Persamaan Gelombang Arah *Heave* pada Ponton:

Gaya gelombang pada ponton dinyatakan sbb. :

$$F_{PontonHeave} = -2 H g \cos(\omega t) F_y(k)$$

dimana :

$$F_y(k) = a_1 \sin(ka') + a_4 (kb') \cos(ka)$$

dengan : $a_1 = \frac{\pi}{4} \rho C_m D_p^2 e^{-kE}$ dan

$$a_4 = \frac{\pi}{4} \rho C_m d_p^2 e^{-kE}$$

Jika diameter keempat pontonnya sama, maka $D_p = d_p$, sehingga akhirnya nilai $a_1 = a_4 = a_s$. Karena dalam kasus ini penampang ponton empat persegi panjang maka :

$$a_s = (pl) \rho C_m e^{-kE}$$

Sehingga pers.(LI-11) dapat ditulis kembali menjadi :

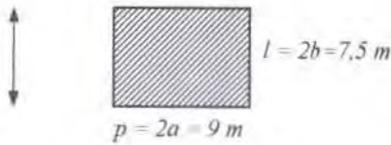
$$\begin{aligned} F_y(k) &= a_s \{ \sin(ka') + (kb') \cos(ka) \} \\ &= (pl) \rho C_m e^{-kE} \{ \sin(ka') + (kb') \cos(ka) \} \end{aligned}$$

Nilai $a' = b' =$ setengah panjang pontoon. Koefisien massa-tambah (C_a) untuk ponton akibat *heave* juga ditentukan menurut Wendel, 1950 sbb. :

$$C_a = 1,48 \text{ (dilihat pada Tabel added mass sebagai fungsi } a/b=1,2)$$



Karena $C_m = 1 + C_a$, maka diperoleh $C_m = 2,48$.



Akhirnya persamaan gelombang arah *heave* pada ponton dapat dinyatakan dengan

$$F_{\text{PontonHeave}} = -4 \frac{H}{2} g(p l) \rho C_m e^{-kz} \{ \sin(ka') + (kb') \cos(ka) \} \cos(\omega t)$$

3. Gaya Gelombang Arah *Pitch*

Komponen Gaya pada Kolom :

Gaya gelombang arah *pitch* yang bekerja pada kolom dapat dituliskan kembali

sbb. :

$$M_{YC} = H \left[\sum_{i=1}^4 P_i \sin(kx_i - \omega t) - \frac{\rho}{2} g A_k e^{-kh} a \sum_{i=1}^4 (-1)^i \cos(kx_i - \omega t) \right]$$

dimana :

$$P_i = \frac{\pi}{8} D_i^2 \rho g C_{mf,c} \left(h_i - \frac{1}{k} + \frac{e^{-kh_i}}{k} \right)$$

Untuk penampang kolom bujur sangkar, maka luas penampangnya berubah dari

$\pi/4(D_i^2)$ menjadi s^2 . Sehingga pers.(LI-15) menjadi,

$$P_i = \frac{1}{2} s^2 \rho g C_{mf,c} \left(h_i - \frac{1}{k} + \frac{e^{-kh_i}}{k} \right)$$



Dimana $C_{mH,C}$ adalah koefisien inersia kolom akibat percepatan partikel air arah horizontal yaitu $C_{mH,C} = 2,51$ (Wendel, 1950). Luasan efektif dasar kolom A_K menjadi s^2 .

Suku pertama dalam pers.(LI-14) merupakan momen arah pitch akibat percepatan partikel air horizontal yang dapat diuraikan menjadi :

$$M_{rc1} = \frac{H}{2} s^2 \rho g C_{mH,C} \sum_{i=1}^4 \left(h_i - \frac{1}{k} + \frac{e^{-kh_i}}{k} \right) \sin(kx_i - \omega t)$$

Jika faktor $\sin(kx_i - \omega t)$ diuraikan lebih lanjut akan didapatkan,

$$M_{rc1} = Hs^2 \rho g C_{mH,C} \left(h - \frac{1}{k} + \frac{e^{-kh}}{k} \right) \{ \sin(kx - \omega t) - \sin(kx + \omega t) \}$$

Faktor terakhir (dalam kurung kurawal) pada pers.(LI-18), jika diuraikan lebih lanjut didapat $-2\cos(kx)\sin(\omega t)$ sehingga diperoleh persamaan akhir sbb. :

$$M_{rc1} = -2Hs^2 \rho g C_{mH,C} \left(h - \frac{1}{k} + \frac{e^{-kh}}{k} \right) \cos(kx) \sin(\omega t)$$

Sedangkan suku kedua dalam pers.(LI-14) merupakan momen arah pitch akibat tekanan air di dasar kolom yang dapat diuraikan menjadi :

$$\begin{aligned} M_{rc2} &= -\frac{H}{2} \rho g s^2 a \sum_{i=1}^4 e^{-kh_i} (-1)^i \cos(kx_i - \omega t) \\ &= -H\rho g s^2 a e^{-kh} \{ \cos(kx - \omega t) - \cos(kx + \omega t) \} \end{aligned}$$

Faktor dalam kurung kurawal pada pers.(LI-20), jika diuraikan lebih lanjut menjadi $2\sin(kx)\sin(\omega t)$ sehingga diperoleh persamaan akhir sbb. :

$$M_{rc2} = -2H\rho g s^2 a e^{-kh} \sin(kx) \sin(\omega t)$$



Dengan demikian, momen *pitch* total pada kolom didapat dengan menjumlahkan

M_{YC1} dengan M_{YC2} .

$$M_{YC} = -4 \frac{H}{2} s^2 \rho g \left\{ C_{mH,c} \left(h - \frac{1}{k} + \frac{e^{-kh}}{k} \right) \cos(kx) + a e^{-kh} \sin(kx) \right\} \sin(\omega t)$$

Komponen Gaya pada Ponton:

Gaya gelombang arah *pitch* yang bekerja pada ponton dapat dituliskan kembali

sbb. :

$$M_{yp} = H R(k) \sin(\omega t)$$

dimana :

$$R(k) = 2 a_1 \left[\frac{\sin(ka')}{k^2} - a' \frac{\cos(ka')}{k} \right] + 4g(kb') \left[a_4 a \sin(ka) - \frac{D_e}{2} a_x \cos(ka) \right]$$

dengan :

$$a_1 = \frac{\pi}{4} \rho C_{m1,2}^* D_e^2 \omega^2 e^{-kE}$$

$$a_4 = \frac{\pi}{4} \rho C_{m1,3,4} D_e^2 e^{-kE}$$

$$a_x = \frac{\pi}{8} \rho C_{mH3,4} D_e^2 e^{-kE}$$



Menurut Wendel (1950), koefisien-koefisien inersia di atas diperoleh dengan hubungan sbb. :

$$C_{mV1,2} = 1 + C_{aV1,2} = 1 + 1,48 = 2,48$$

$$C_{mV3,4} = 1 + C_{aV3,4} = 1 + 1,48 = 2,48$$

$$C_{mH3,4} = 1 + C_{aH3,4} = 1 + 1,57 = 2,57$$

Untuk ponton 1 dan 2, persamaan diatas berubah menjadi :

$$a_1 = (\rho l) \rho C_{mV1,2} \omega^2 e^{-kz}$$

Untuk ponton 3 dan 4, persamaan diatas berubah menjadi :

$$a_4 = (\rho l) \rho C_{mV3,4} e^{-kz}$$

Untuk ponton 3 dan 4, akibat percepatan partikel air arah horizontal, persamaan diatas berubah menjadi :

$$a_x = \frac{1}{2} (\rho l) \rho C_{mH3,4} e^{-kz}$$

Dengan demikian $R(k)$ dapat dituliskan kembali menjadi :

$$\begin{aligned} R(k) = & 2(\rho l \rho C_{mV1,2} \omega^2 e^{-kz}) \left\{ \frac{\sin(ka')}{k^2} - a' \frac{\cos(ka')}{k} \right\} \\ & + 4g(kb') \left\{ (\rho l \rho C_{mV3,4} e^{-kz}) a \cdot \sin(ka) - \right. \\ & \left. \frac{l}{2} \left(\frac{1}{2} \rho l \rho C_{mH3,4} e^{-kz} \right) \cdot \cos(ka) \right\} \end{aligned}$$



Jika $R(k)$ dinyatakan sebagai $R(k) = R_1(k) + R_2(k) + R_3(k)$ maka :

$$R_1(k) = 2(p\rho C_{m1,2} \omega^2 e^{-kE}) \left\{ \frac{\sin(ka')}{k^2} - a' \frac{\cos(ka')}{k} \right\}$$

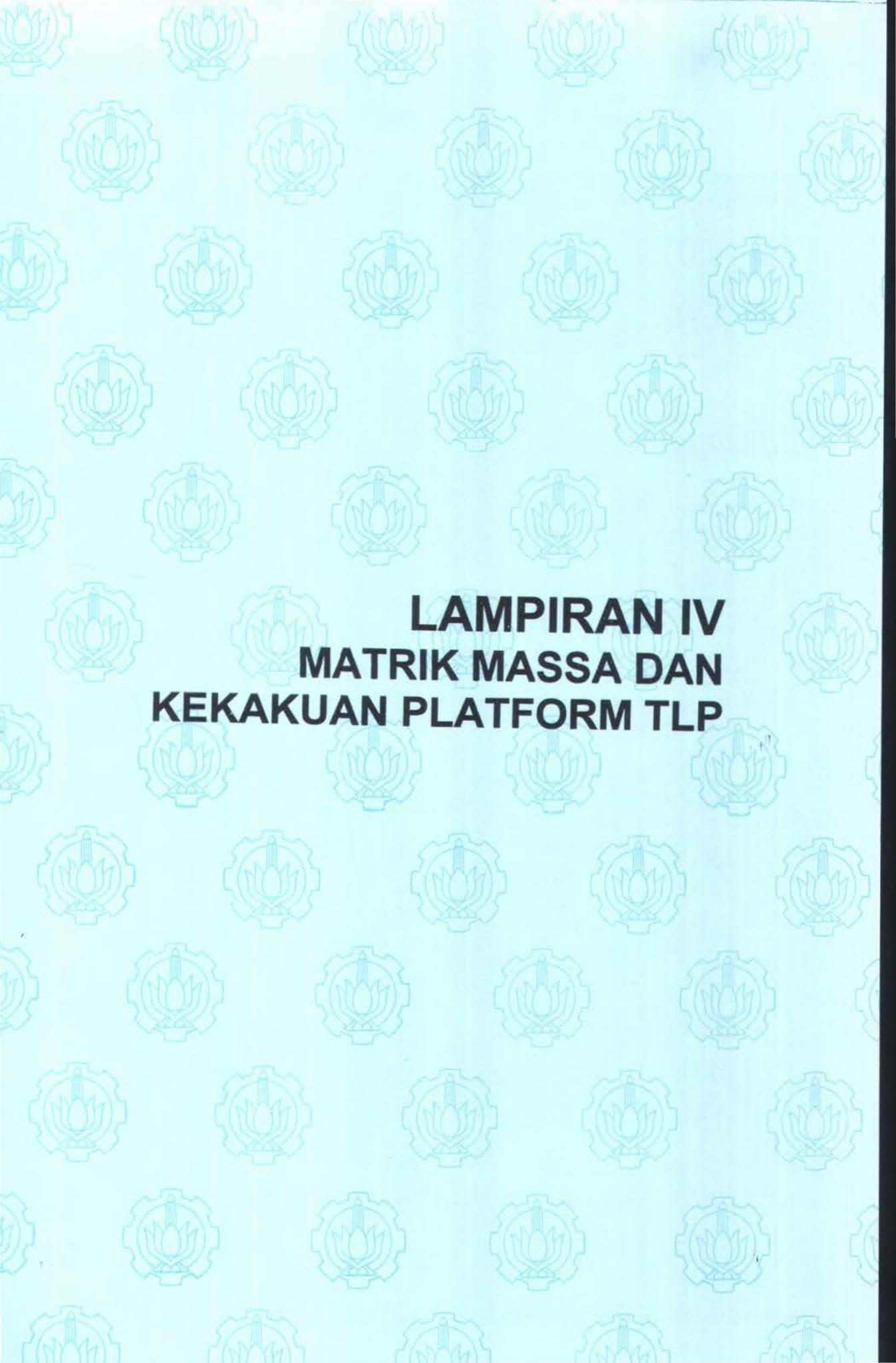
$$R_2(k) = 4g(kb') (p\rho C_{m1,3,4} e^{-kE}) a \sin(ka)$$

$$\begin{aligned} R_3(k) &= -4g(kb') \frac{I}{2} \left(\frac{1}{2} p\rho C_{m1,3,4} e^{-kE} \right) \cos(ka) \\ &= -g(kb')^2 p\rho C_{m1,3,4} e^{-kE} \cos(ka) \end{aligned}$$

Akhirnya momen *pitch* total pada ponton dapat dinyatakan dengan :

$$M_{yp} = H \{R_1(k) + R_2(k) + R_3(k)\} \sin(\omega t)$$

$$\begin{aligned} M_{yp} &= \frac{H}{2} p\rho e^{-kE} \left[4 C_{m1,2} \omega^2 \left\{ \frac{\sin(ka')}{k^2} - a' \frac{\cos(ka')}{k} \right\} \right. \\ &\quad + 8gkb' C_{m1,3,4} a \sin(ka) \\ &\quad \left. - \frac{1}{2} gkb' C_{m1,3,4} \cos(ka) \right] \sin(\omega t) \end{aligned}$$



LAMPIRAN IV
MATRIK MASSA DAN
KEKAKUAN PLATFORM TLP



LAMPIRAN IV

MATRIK MASSA DAN KEKAKUAN PLATFORM TLP

1. Matrik Massa TLP.

Matrik massa TLP dibedakan dalam kondisi beroperasi 24 riser dan beroperasi sebanyak 12 riser.

Kondisi *24 riser* :

Massa platform, m (*surge* atau *heave*) = 8.667,29 ton.

Jarak KG = 21,12 m.

Jari-jari inersia pitch (girasi), $r_g = 26,99$ m

$I_G = m \times r_g^2 = 8.667,29 \times 26,99^2 = 6.313.774,94 \text{ ton.m}^2$.

$m \times \text{KG} = 8.667,29 \text{ [ton]} \times 21,12 \text{ [m]}$
 $= 183.053,16 \text{ ton-m.}$

$m \times \text{KG}^2 = 8.667,29 \text{ [ton]} \times 21,12^2 \text{ [m]}$
 $= 3.866.082,84 \text{ ton-m}^2$.

Momen inersia platform terhadap titik K adalah :

$$\begin{aligned} I_K &= I_G + m\overline{KG}^2 \\ &= 6.313.774,94 + 3.866.082,84 \\ &= 10.179.857,78 \text{ ton.m}^2. \end{aligned}$$

Jika matrik massa platform berbentuk berikut :

$$\begin{bmatrix} m & 0 & m\overline{KG} \\ 0 & m & 0 \\ m\overline{KG} & 0 & I_K \end{bmatrix} = [M_S] = \text{matrik massa platform}$$

Maka didapat matrik massa :

$$[M_S]_{RM} = \begin{bmatrix} 8.667,29 & 0 & 183.053,16 \\ 0 & 8.667,29 & 0 \\ 183.053,16 & 0 & 10.179.857,78 \end{bmatrix}$$



Kondisi *beroperasi 12 Riser* :

Massa platform, m (*surge* atau *heave*) = 10.927,91 ton.

Jarak KG = 21,12 m.

Jari-jari inersia pitch (girasi), $r_g = 26,99$ m

$I_G = m \times r_g^2 = 10.927,91 \times 26,99^2 = 7.960.546,41 \text{ ton.m}^2$.

$m \times KG = 10.927,91 \text{ [ton]} \times 21,12 \text{ [m]}$
 $= 230.797,46 \text{ ton-m.}$

$m \times KG^2 = 10.927,91 \text{ [ton]} \times 21,12^2 \text{ [m]}$
 $= 4.874.442,34 \text{ ton-m}^2$.

Momen inersia platform terhadap titik K adalah :

$$I_K = I_G + m\overline{KG}^2$$
$$= 7.960.546,41 + 4.874.442,34$$
$$= 12.834.988,75 \text{ ton.m}^2$$

Jika matrik massa platform berbentuk berikut :

$$\begin{bmatrix} m & 0 & m\overline{KG} \\ 0 & m & 0 \\ m\overline{KG} & 0 & I_K \end{bmatrix} = [M_S] = \text{matrik massa platform}$$

Maka didapat matrik massa :

$$[M_S]_{R12} = \begin{bmatrix} 10.927,91 & 0 & 2330.797,46 \\ 0 & 10.927,91 & 0 \\ 230.797,46 & 0 & 12.834.988,75 \end{bmatrix}$$

2. Matrik Massa Tambah Platform.

$$\begin{bmatrix} -X_{\xi} & 0 & -X_{\ddot{\theta}} \\ 0 & -Z_{\xi} & 0 \\ -X_{\ddot{\theta}} & 0 & -m_{\ddot{\theta}} \end{bmatrix} = [M_A] = \text{matrik massa tambah platform}$$

Jika nilai-nilai elemen matriknya disubstitusikan, didapat bentuk matrik massa tambah sbb. :



$$[M_d] = \begin{bmatrix} \left(\begin{array}{l} 4\rho C_{as(K)} A_1 h_1 \\ + 2\rho C_{as(P)} A_2 e_2 \end{array} \right) & 0 & 2\rho C_{as(K)} A_1 h_1^2 \\ 0 & 4\rho C_{all(P)} A_2 e_2 & 0 \\ 2\rho C_{as(K)} A_1 h_1^2 & 0 & \left(\frac{4}{3} \rho A_1 h_1^3 + \frac{2}{3} \rho A_2 e_2^3 \right) \end{bmatrix}$$

Jika data-data platform model dimasukkan, dimana diketahui juga koefisien-koefisien massa-tambahnya sbb. :

$$C_{as(K)} = 1,51$$

$$C_{as(P)} = 1,57$$

$$C_{all(P)} = 1,48$$

maka dapat dihitung :

$$\begin{aligned} M_{SX} &= (4 \times 1,025 [\text{ton/m}^3] \times 1,51 \times 81 [\text{m}^2] \times 23,77 [\text{m}]) \\ &\quad + (2 \times 1,025 [\text{ton/m}^3] \times 1,57 \times 67,5 [\text{m}^2] \times 32,148 [\text{m}]) \\ &= 11.919,97 + 6.984,11 \\ &= 18.904,08 \text{ ton.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{PX} &= (2 \times 1,025 [\text{ton/m}^3] \times 1,51 \times 81 [\text{m}^2] \times 23,77^2 [\text{m}^2]) \\ &= 141.668,792 \text{ ton.m.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{HZ} &= (4 \times 1,025 [\text{ton/m}^3] \times 1,48 \times 67,5 [\text{m}^2] \times 32,148 [\text{m}]) \\ &= 13.167,5 \text{ ton.} \end{aligned}$$

$$M_{S0} = M_{PX} = 141.668,792 \text{ ton.m.}$$

$$\begin{aligned} M_{P0} &= (4/3 \times 1,025 [\text{ton/m}^3] \times 81 [\text{m}^2] \times 23,77^3 [\text{m}^3]) \\ &\quad + (2/3 \times 1,025 [\text{ton/m}^3] \times 67,5 [\text{m}^2] \times 32,148^3 [\text{m}^3]) \\ &= 1.486.740,479 + 1.532.492,148 \\ &= 3.019.232,627 \text{ ton.m}^2. \end{aligned}$$

Maka jika disubstitusikan ke dalam matrik massa-tambah di atas akan didapat :

$$[M_d] = \begin{bmatrix} 18.904,08 & 0 & 141.668,792 \\ 0 & 13.167,5 & 0 \\ 141.668,792 & 0 & 3.019.232,627 \end{bmatrix}$$



3. Matrik Massa Total TLP.

Matrik massa total TLP merupakan gabungan dari matrik massa platform dengan matrik massa-tambahnya yaitu :

Kondisi **24 riser** :

$$\begin{aligned} [M_{Tot}]_{RM} &= [M_S]_{RM} + [M_A] \\ &= \begin{bmatrix} 8.667,29 & 0 & 183.053,16 \\ 0 & 8.667,29 & 0 \\ 183.053,16 & 0 & 10.179.857,78 \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} 18.904,08 & 0 & 141.668,792 \\ 0 & 13.167,5 & 0 \\ 141.668,792 & 0 & 3.019.232,627 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$[M_{Tot}]_{RM} = \begin{bmatrix} 27.571,37 & 0 & 324.721,95 \\ 0 & 21.834,79 & 0 \\ 324.721,95 & 0 & 13.199.090,41 \end{bmatrix}$$

Kondisi **beroperasi 12 Riser**:

$$\begin{aligned} [M_{Tot}]_{R12} &= [M_S]_{R12} + [M_A] \\ &= \begin{bmatrix} 10.927,91 & 0 & 230.797,46 \\ 0 & 10.927,91 & 0 \\ 230.797,46 & 0 & 12.834988,75 \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} 18.904,08 & 0 & 141.668,792 \\ 0 & 13.167,5 & 0 \\ 141.668,792 & 0 & 3.019.232,627 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$[M_{Tot}]_{R12} = \begin{bmatrix} 29.831,99 & 0 & 372.466,252 \\ 0 & 29.831,99 & 0 \\ 372.466,252 & 0 & 15.854.221,377 \end{bmatrix}$$



4. Matrik Kekakuan Hidrostatik Platform.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -Z_{\zeta} & 0 \\ 0 & 0 & -M_{\theta} \end{bmatrix} = [K_h] = \text{matrik kekakuan hidrostatik platform.}$$

Jika nilai-nilai elemen matriknya disubstitusikan didapatkan bentuk matrik sbb. :

$$[K_h] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4\rho g A_1 & 0 \\ 0 & 0 & \rho g (A_1 H^2 + V \overline{KB}) \end{bmatrix}$$

Dari perhitungan stabilitas telah didapat :

$$KB = 7,57 \text{ m}$$

$$KG = 21,12 \text{ m}$$

$$GM = -5 \text{ m}$$

Sementara dari data TLP model,

$$A_1 = 9 \text{ [m]} \times 9 \text{ [m]} = 81 \text{ m}^2.$$

$$H = 41,148 \text{ m (jarak antar sumbu kolom).}$$

$$V = 4 \text{ (volume kolom tercelup + volume ponton tercelup)}$$

$$= 4 (1.925,37 + 2.169,99)$$

$$= 16.381,44 \text{ m}^3.$$

$$K_{HZ} = 4\rho g A_1$$

$$= 4 \times 1,025 [\text{ton/m}^3] \times 9,81 [\text{m/det}^2] \times 81 [\text{m}^2]$$

$$= 3.257,9 \text{ [kN/m].}$$

$$K_{p\theta} = \rho g (A_1 \cdot H^2 + V \cdot KB)$$

$$= 2.625.961,63 \text{ [ton.m}^2/\text{det}^2 = \text{kN.m}]$$

Sehingga besar matrik kekakuan hidrostatik platformnya adalah :

$$[K_h] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3.257,9 & 0 \\ 0 & 0 & 2.625.961,63 \end{bmatrix}$$



5. Matrik Kekakuan Tether.

Matrik kekakuan TLP menurut *Dr.D.B.McIver(1978)* adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} K_{\xi} & 0 & 0 \\ 0 & K_{\zeta} & 0 \\ 0 & 0 & K_{\theta} \end{bmatrix} = [K_t] = \text{matrik kekakuan tether}$$

Jika masing-masing elemen matriknya diuraikan, didapat matrik :

$$[K_t] = \begin{bmatrix} 4n \frac{T_o}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 4n \frac{EA}{L} & 0 \\ 0 & 0 & n \frac{EA}{L} (H_T^2) - W \overline{KG} \end{bmatrix}$$

dimana :

n = jumlah tether tiap kolom = 2 buah.

T_o = pretension tiap tether = 970,625 kips \approx 4.319,28 kN.

L = panjang tether = 951 m.

E = modulus Young tether = 30.000 ksi \approx 206,85 kPa.

W = berat total platform = 13.883,91 \times 9,81 = 136.201,15 kN.

KG = pusat gaya berat platform = 21,12 m.

A = luas penampang tiap tether = 0,06 m².

H_T = jarak antar tether antar kolom.

Perhitungan tiap komponen dari matrik kekakuan tether di atas adalah sbb. :

$$\begin{aligned} K_{SX,t} &= 4.n(T_o/L) \\ &= 4 \times 2 \times (4.319,28 \text{ [kN]} / 951 \text{ [m]}) \\ &= 34.554,25 / 951 \\ &= 36,33 \text{ [kN/m]}. \end{aligned}$$

$$K_{SZ,t} = 0$$



$$K_{S0,t} = 0$$

$$K_{IX,t} = 0$$

$$K_{HZ,t} = 4.n(EA/L)$$

$$= 4 \times 2 \times \left\{ \frac{206,85 \times 10^6 [kPa] \times 0,06 [m^2]}{951 [m]} \right\}$$

$$= 8 \times 13.050,473 [kPa.m]$$

$$= 104.403,786 [kN/m]$$

$$K_{H0,t} = 0$$

$$K_{PX,t} = K_{S0,t} = 0.$$

$$K_{PZ,t} = 0.$$

$$K_{P0,t} = n.(EA/L).H_T^2 - W.KG$$

Untuk menghitung $K_{P0,t}$ ini harus ada modifikasi karena dalam bidang geraknya (bidang X-Z), terdapat dua macam jarak antar tether yaitu jarak antar *tether-luar* (H_{T1}) dan jarak antar *tether-dalam* (H_{T2}). Dengan demikian persamaan $K_{P0,t}$ berubah menjadi :

$$K_{P0,t} = (EA/L).(H_{T,1}^2 + H_{T,2}^2) - (W \times KG)$$

$$= 13.050,473 [kN/m] \times (53,34^2 [m^2] + 47,244^2 [m^2])$$

$$- (136.201,15 \times 21,12)$$

$$= 66.259.223,82 - 2.876.568,29$$

$$= 63.382.655,53 [kN.m].$$

Jika dituliskan dalam bentuk matrik diperoleh :

$$[K_t] = \begin{bmatrix} 36,33 & 0 & 0 \\ 0 & 104.403,786 & 0 \\ 0 & 0 & 63.382.655,53 \end{bmatrix}$$

6. Matrik Kekakuan Riser.

Matrik kekakuan riser secara prinsip sama dengan matrik kekakuan riser, namun dalam hal ini yang harus diperhatikan adalah jumlah riser yang beroperasi dan jarak antara masing-masing kelompok riser.



Kondisi **24 Riser** :

$$\begin{bmatrix} K_{\xi,r} & 0 & 0 \\ 0 & K_{\zeta,r} & 0 \\ 0 & 0 & K_{\theta,r} \end{bmatrix} = [K_r] = \text{matrik kekakuan riser}$$

Jika masing-masing elemen matriknya diuraikan, didapat matrik :

$$[K_r] = \begin{bmatrix} n_r \frac{T_{o,r}}{L_r} & 0 & 0 \\ 0 & n_r \frac{E_r A_r}{L_r} & 0 \\ 0 & 0 & n_r \frac{E_r A_r}{L_r} (H_r^2) - W \cdot KG \end{bmatrix}$$

dimana :

n_r = jumlah riser = 24 buah.

$T_{o,r}$ = pretension tiap riser = 479,167 kips \approx 2.132,293 kN
(total = 11.500 kips = 51.175 kN).

L_r = panjang riser = 3.238 ft \approx 986,94 m.

E_r = modulus Young tether = 30.000 ksi \approx 206,85 kPa.

W = 8.667,29 \times 9,81 = 85.026,15 kN

KG = pusat gaya berat platform = 21,12 m.

$D_{O,r}$ = diameter luar riser = 13,375 inci \approx 0,34 m.

t_r = tebal dinding riser = 0,48 inci \approx 0,012 m.

A_r = luas penampang tiap riser = 0,019 m².

$H_{r,1}$ = jarak antar kelompok riser I = 30 ft \approx 9,144 m.

$H_{r,2}$ = jarak antar kelompok riser II = 60 ft \approx 18,288 m.

$H_{r,3}$ = jarak antar kelompok riser III = 90 ft \approx 27,432 m.

Perhitungan tiap komponen dari matrik kekakuan riser di atas adalah sbb. :

$$\begin{aligned} K_{Sx,r} &= n_r \cdot (T_{o,r} / L_r) \\ &= 24 \times (2.132,293[\text{kN}] / 986,94[\text{m}]) \end{aligned}$$



$$= 51.175/986,94$$
$$= 51,852 \text{ [kN/m].}$$

$$K_{SZ,r} = 0$$

$$K_{S\theta,r} = 0$$

$$K_{HX,r} = 0$$

$$K_{HZ,r} = n_r \cdot (E_r A_r / L_r)$$

$$= 24 \times \left\{ \frac{206,85 \times 10^6 \text{ [kPa]} \times 0,019 \text{ [m}^2\text{]}}{986,94 \text{ [m]}} \right\}$$

$$= 24 \times 3.982,157 \text{ [kPa.m]}$$

$$= 95.571,768 \text{ [kN/m]}$$

$$K_{H\theta,r} = 0$$

$$K_{PX,r} = K_{S\theta,r} = 0.$$

$$K_{PZ,r} = 0.$$

$$K_{P\theta,r} = 2 \times (E_r A_r / L_r) \cdot (H_{r,1}^2 + H_{r,2}^2 - H_{r,3}^2) - (W \times KG)$$

$$= \{(2 \times 3.982,157) \times (9,144^2 \text{ [m}^2\text{]} + 18,288^2 \text{ [m}^2\text{]} + 27,432^2 \text{ [m}^2\text{]})\}$$
$$- (85.026,15 \times 21,12)$$

$$= 9.322.853,175 - 1.795.752,288$$

$$= 7.527.100,89 \text{ [kN.m].}$$

Jika dituliskan dalam bentuk matrik didapatkan :

$$[K_{r \max}] = \begin{bmatrix} 51,852 & 0 & 0 \\ 0 & 95.571,768 & 0 \\ 0 & 0 & 7.527.100,89 \end{bmatrix}$$

Kondisi *beroperasi 12 Riser* :

$$\begin{bmatrix} K_{\xi,r} & 0 & 0 \\ 0 & K_{\zeta,r} & 0 \\ 0 & 0 & K_{\theta,r} \end{bmatrix} = [K_r] = \text{matrik kekakuan riser}$$

Jika masing-masing elemen matriknya diuraikan, didapat matrik :



$$[K_r] = \begin{bmatrix} n_r \frac{T_{o,r}}{L_r} & 0 & 0 \\ 0 & n_r \frac{E_r A_r}{L_r} & 0 \\ 0 & 0 & n_r \frac{E_r A_r}{L_r} (H_r^2) - W \cdot KG \end{bmatrix}$$

dimana :

n_r = jumlah riser = 12 buah.

$T_{o,r}$ = pretension tiap riser = 479,167 kips \approx 2.132,293 kN
(total 12 riser = 5.750 kips = 25.588 kN).

L_r = panjang riser = 3.238 ft \approx 986,94 m.

E_r = modulus Young tether = 30.000 ksi \approx 206,85 kPa.

W = $10927.91 \times 9,81 = 107.203,09$ kN

KG = pusat gaya berat platform = 21,12 m.

$D_{o,r}$ = diameter luar riser = 13,375 inci \approx 0,34 m.

t_r = tebal dinding riser = 0,48 inci \approx 0,012 m.

A_r = luas penampang tiap riser = 0,019 m².

$H_{r,1}$ = jarak antar kelompok riser I = 30 ft \approx 9,144 m.

$H_{r,2}$ = jarak antar kelompok riser II = 60 ft \approx 18,288 m.

$H_{r,3}$ = jarak antar kelompok riser III = 90 ft \approx 27,432 m.

Perhitungan tiap komponen dari matrik kekakuan riser di atas adalah sbb. :

$$\begin{aligned} K_{SX,r} &= n_r \cdot (T_{o,r} / L_r) \\ &= 12 \times (2.132,293[\text{kN}] / 986,94[\text{m}]) \\ &= 25.587 / 986,94 \\ &= 25.92 \text{ [kN/m]}. \end{aligned}$$

$$K_{SZ,r} = 0$$

$$K_{S\theta,r} = 0$$

$$K_{HX,r} = 0$$

$$\begin{aligned} K_{HZ,r} &= n_r \cdot (E_r A_r / L_r) \\ &= 12 \times \left\{ \frac{206,85 \times 10^6 [\text{kPa}] \times 0,019 [\text{m}^2]}{986,94 [\text{m}]} \right\} \end{aligned}$$





$$= 12 \times 3.982,157 \text{ [kPa.m]}$$

$$= 47.758.884 \text{ [kN/m]}$$

$$K_{H\theta,r} = 0$$

$$K_{PX,r} = K_{s\theta,r} = 0.$$

$$K_{PZ,r} = 0.$$

$$K_{P\theta,r} = 2 \times (E_r A_r / L_r) \cdot (H_{r,1}^2 + H_{r,2}^2 + H_{r,3}^2) - (W \times KG)$$

$$= \{(2 \times 3.982,157) \times (9,144^2 [\text{m}^2] + 18,288^2 [\text{m}^2] + 27,432^2 [\text{m}^2])\}$$

$$- (107.203,09 \times 21,12)$$

$$= 9.322.853,175 - 2.264.129,261$$

$$= 7.058.723,914 \text{ [kN.m].}$$

Jika dituliskan dalam bentuk matrik didapatkan :

$$[K_{r12}] = \begin{bmatrix} 25,92 & 0 & 0 \\ 0 & 47.758,884 & 0 \\ 0 & 0 & 7.058.723,914 \end{bmatrix}$$

7. Matrik Kekakuan Total TLP.

Matrik kekakuan total TLP merupakan gabungan dari matrik kekakuan hidrostatik platform, matrik kekakuan tether dan matrik kekakuan riser.

Kondisi 24 Riser :

$$[K_{Tot}]_{RM} = [K_h] + [K_t] + [K_{rmax}]$$

$$[K_{Tot}]_{RM} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3.257,9 & 0 \\ 0 & 0 & 2.625.961,63 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 36,33 & 0 & 0 \\ 0 & 104.403,786 & 0 \\ 0 & 0 & 63.382.655,53 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 51,852 & 0 & 0 \\ 0 & 95.571,768 & 0 \\ 0 & 0 & 7.527.100,89 \end{bmatrix}$$



Akhirnya matrik kekakuan total TLP dalam kondisi **24 riser** adalah :

$$[K_{Tot}]_{RM} = \begin{bmatrix} 88,182 & 0 & 0 \\ 0 & 203.233,454 & 0 \\ 0 & 0 & 73.535.718,05 \end{bmatrix}$$

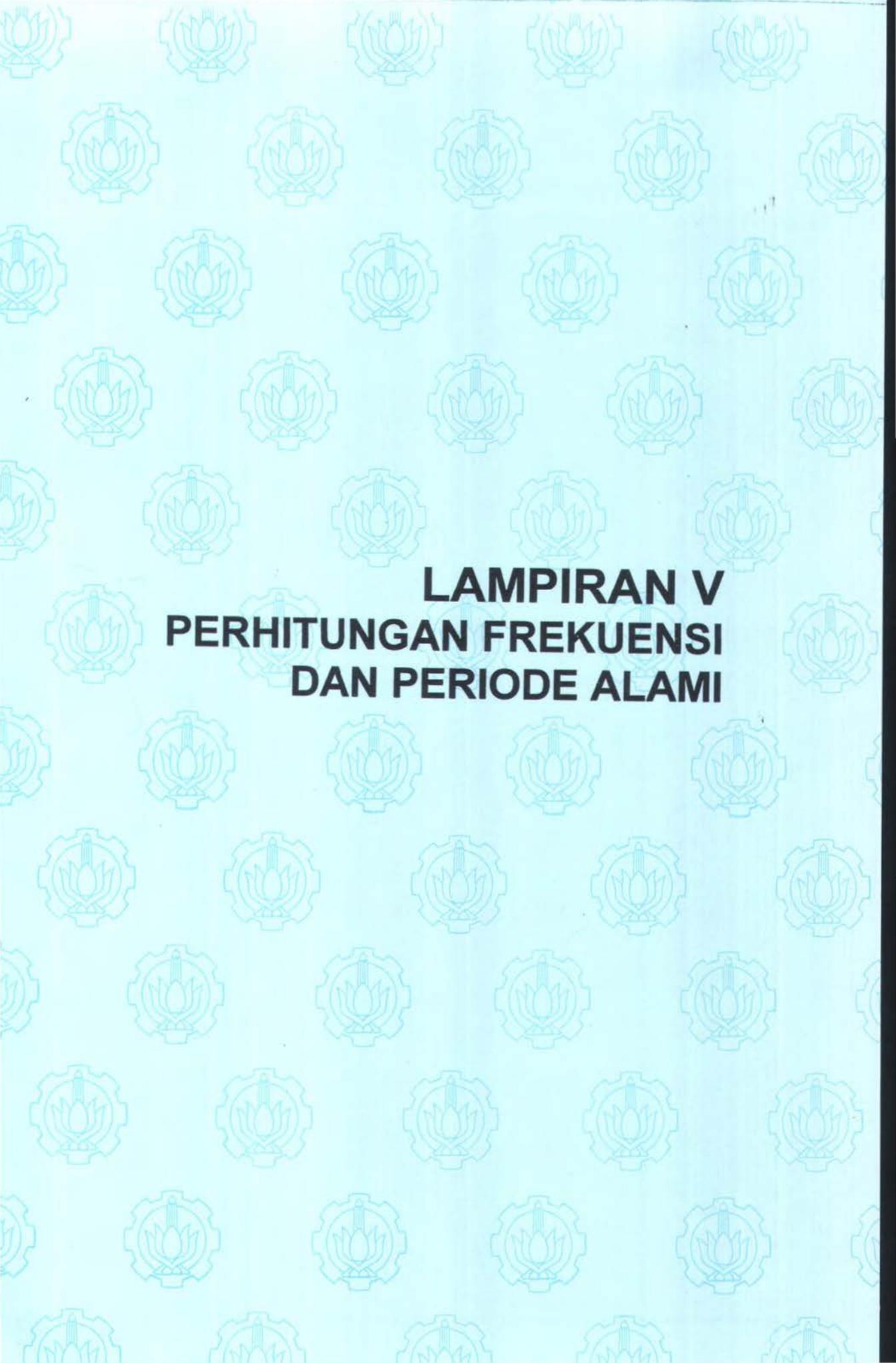
Kondisi kombinasi 12 Riser :

$$[K_{Tot}]_{RM} = [K_h] + [K_t] + [K_{r12}]$$

$$[K_{Tot}]_{RM} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3.257,9 & 0 \\ 0 & 0 & 2.625.961,63 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 36,33 & 0 & 0 \\ 0 & 104.403,786 & 0 \\ 0 & 0 & 63.382.655,53 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 25,92 & 0 & 0 \\ 0 & 47.758,884 & 0 \\ 0 & 0 & 7.058.723,914 \end{bmatrix}$$

Akhirnya matrik kekakuan total TLP dalam kondisi **beroperasi 12 riser** adalah :

$$[K_{Tot}]_{RM} = \begin{bmatrix} 62,25 & 0 & 0 \\ 0 & 154.420,57 & 0 \\ 0 & 0 & 73.067.341,07 \end{bmatrix}$$



LAMPIRAN V
PERHITUNGAN FREKUENSI
DAN PERIODE ALAMI



LAMPIRAN V

Perhitungan Frekuensi dan Periode Alami

Perhitungan *periode natural* dan *frekuensi natural* pada TLP dibedakan dalam kondisi *beroperasi 24 riser* dan kondisi *beroperasi 12 riser* yang ditinjau dalam ketiga derajat kebebasan gerak (*surge*, *heave* dan *pitch*).

Periode Natural Pada Arah Surge :

$$T_{nX} = 2\pi \sqrt{\frac{M_s + X_{\xi}}{K_{\xi}}}$$

dimana :

M_s = massa struktur arah surge.

X_{ξ} = massa-tambah arah surge.

K_{ξ} = kekakuan total arah surge.

Sehingga periode natural dalam arah surge untuk *kondisi beroperasi 24 riser* didapatkan:

$$M_s = 8.667,29 \text{ ton.}$$

$$X_{\xi} = 18.904,08 \text{ ton.}$$

$$K_{\xi} = 88,182 \text{ kN/m.}$$

Setelah variable diatas dimasukkan dalam persamaan maka diperoleh hasil:

$$\begin{aligned} T_{nX} &= 2\pi \sqrt{\frac{8.667,29 + 18.904,08}{88,182}} \\ &= 111,1 \text{ detik.} \end{aligned}$$

Frekuensi natural untuk *kondisi beroperasi 24 riser*:

$$\omega_{nX} = \frac{2\pi}{T_{nX}} = 0,06 \text{ rad/s.}$$



Periode Natural pada keadaan *beroperasi 12 riser* :

$$M_S = 10.927,91 \text{ ton.}$$

$$X_{\zeta} = 18.904,08 \text{ ton.}$$

$$K_{\zeta} = 62,25 \text{ kN/m.}$$

Sehingga,

$$T_{nX} = 2\pi \sqrt{\frac{10.927,91 + 18.904,08}{62,25}}$$
$$= 137,54 \text{ detik.}$$

Frekuensi Natural:

$$\omega_{nX} = \frac{2\pi}{T_{nX}} = 0,04 \text{ rad/s.}$$

Periode Natural Pada Arah Heave :

$$T_{nZ} = 2\pi \sqrt{\frac{M_S + Z_{\zeta}}{K_{\zeta}}}$$

dimana :

M_S = massa struktur arah heave.

Z_{ζ} = massa-tambah arah heave.

K_{ζ} = kekakuan total arah heave.

Sehingga periode natural dalam arah surge untuk kondisi *beroperasi 24 riser*:didapatkan:

$$M_S = 8.667,29 \text{ ton.}$$

$$Z_{\zeta} = 13.167,5 \text{ ton.}$$

$$K_{\zeta} = 203.233,454 \text{ kN/m.}$$

Setelah variable diatas dimasukkan dalam persamaan maka diperoleh hasil;

$$T_{nZ} = 2\pi \sqrt{\frac{21.834,79}{203.233,454}}$$
$$= 2,06 \text{ detik.}$$



Frekuensi Natural :

$$\omega_{nZ} = \frac{2\pi}{T_{nZ}} = \mathbf{3,05 \text{ rad/s.}}$$

Periode Natural pada keadaan *beroperasi 12 riser* :

$$M_S = 10.927,91 \text{ ton.}$$

$$Z_{\xi} = 13.167,5 \text{ ton.}$$

$$K_{\xi} = 154.420,57 \text{ kN/m.}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} T_{nZ} &= 2\pi \sqrt{\frac{10.927,91 + 13167,5}{154.420,57}} \\ &= \mathbf{2,48 \text{ detik.}} \end{aligned}$$

Frekuensi Natural:

$$\omega_{nZ} = \frac{2\pi}{T_{nZ}} = \mathbf{2,53 \text{ rad/s.}}$$

Periode alami TLP dalam arah *pitch* dapat dinyatakan dengan :

$$T_{n\theta} = 2\pi \sqrt{\frac{I_K + M_{\ddot{\theta}}}{K_{\theta}}}$$

dimana :

I_K = momen inersia massa TLP arah *pitch*.

$M_{\ddot{\theta}}$ = massa tambah arah *pitch*.

K_{θ} = kekakuan total arah *pitch*.

Kondisi *beroperasi 24 riser*:

$$I_K = 10.179.857,78 \text{ ton-m}^2.$$

$$M_{\ddot{\theta}} = 3.019.232,627 \text{ ton-m}^2.$$

$$K_{\theta} = 73.535.718,05 \text{ kN-m.}$$



Sehingga,

$$T_{n\theta} = 2\pi \sqrt{\frac{13.199.090,41}{73.535.718,05}}$$
$$= 2,66 \text{ detik.}$$

Frekuensi Alami :

$$\omega_{n\theta} = \frac{2\pi}{T_{n\theta}} = 2,362 \text{ rad/s.}$$

Kondisi *kombinasi 12 riser* :

$$I_K = 12.834.988,75 \text{ ton-m}^2.$$

$$M_{\ddot{\theta}} = 3.019.232,627 \text{ ton-m}^2.$$

$$K_{\theta} = 73.067.341,04 \text{ kN-m.}$$

Sehingga,

$$T_{n\theta} = 2\pi \sqrt{\frac{12.834.988,75 + 3.019.232,627}{73.067.341,04}}$$
$$= 2,92 \text{ detik.}$$

Frekuensi Natural :

$$\omega_{n\theta} = \frac{2\pi}{T_{n\theta}} = 2,147 \text{ rad/s.}$$

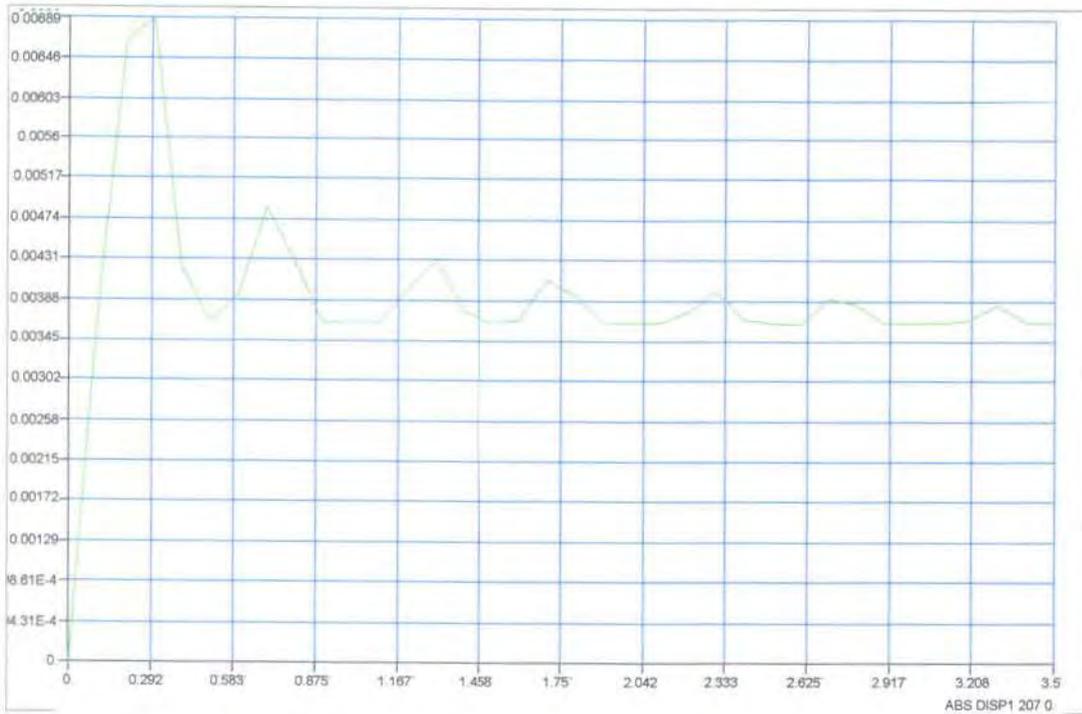
LAMPIRAN VI
GRAFIK SPEKTRUM RESPON TLP
HASIL OUTPUT *MSC Nastran*



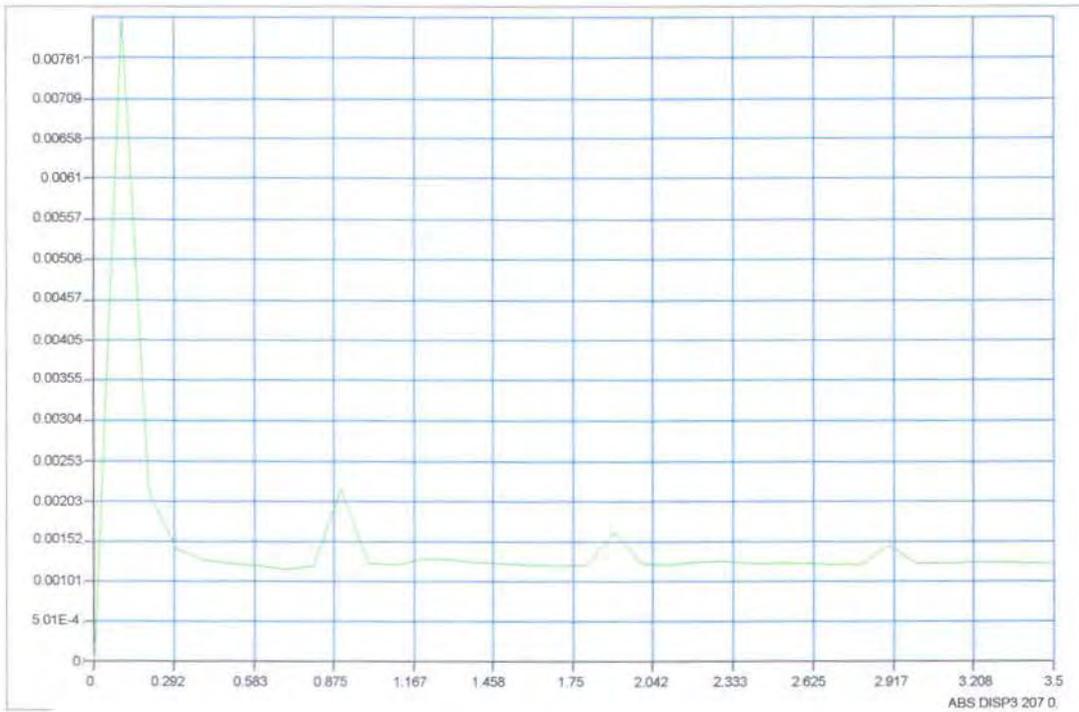
MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER



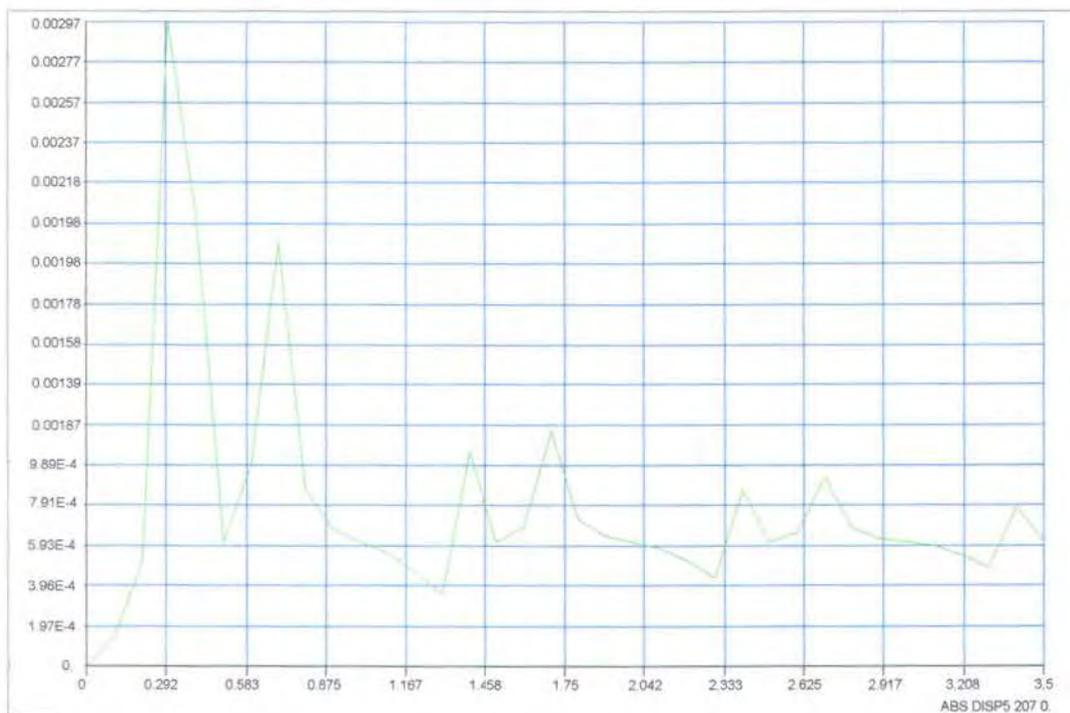
LAMPIRAN VI
Grafik Spektrum Respon TLP
Hasil Out put *MSC Nastran for Windows*



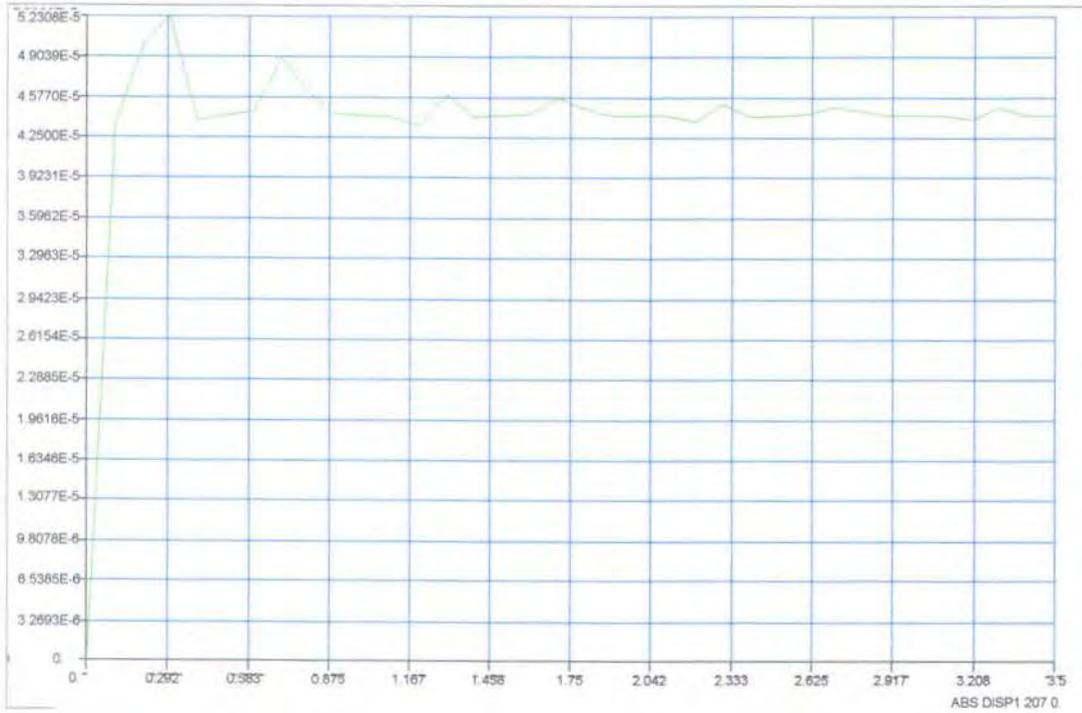
gambar L.6.1. Respon displacement kondisi badai arah surge 24 riser



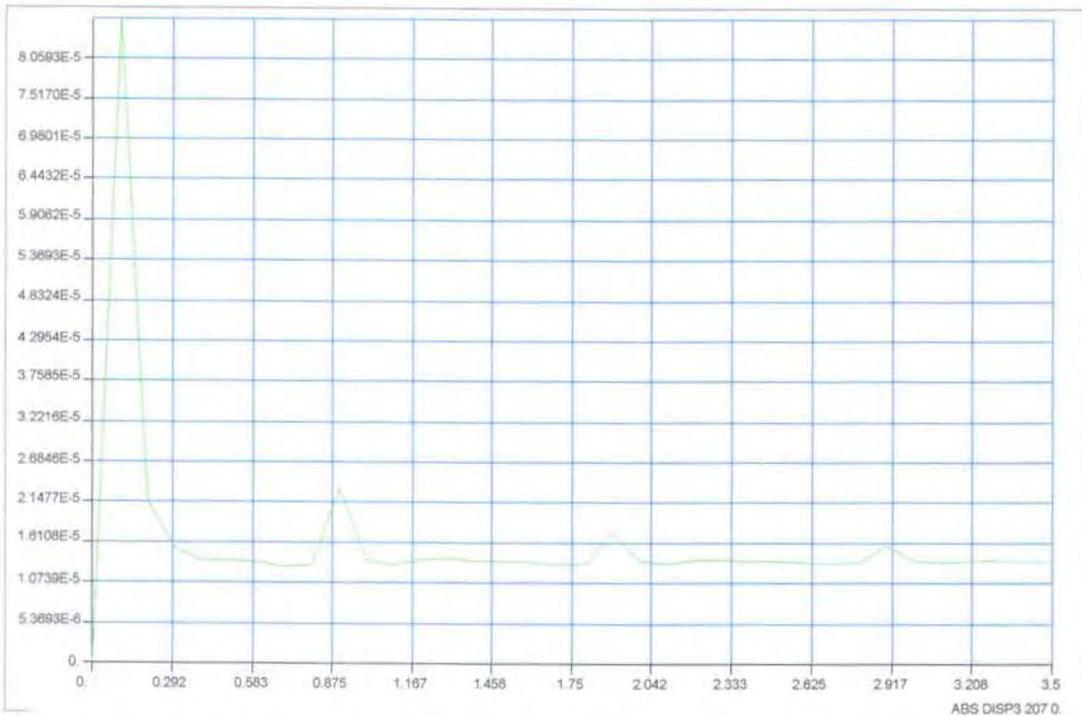
gambar L6.2. Respon displacement kondisi badai arah heave 24 riser



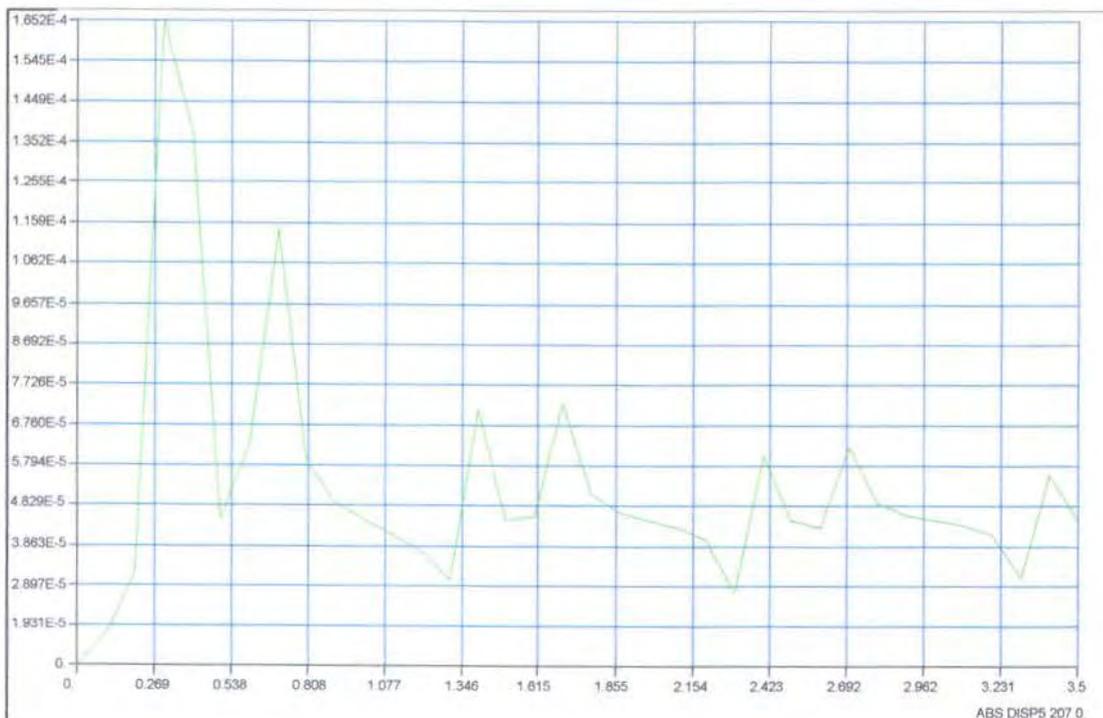
gambar L6.3. Respon displacement kondisi badai arah pitch 24 riser



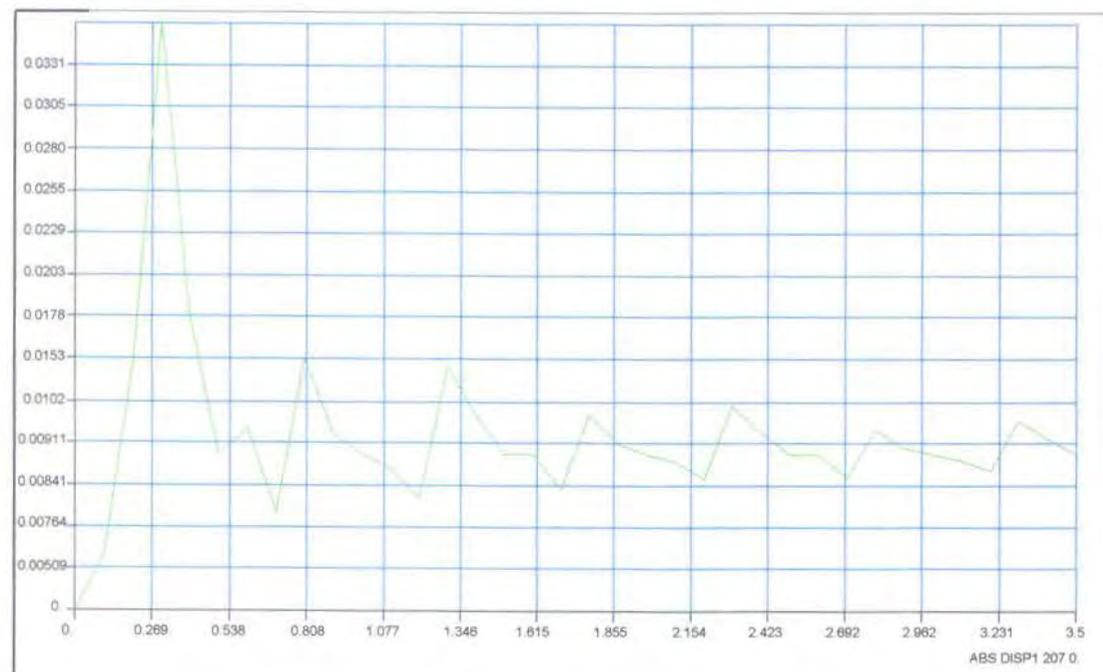
gambar L6.4. Respon displacement kondisi operasional arah surge 24 riser



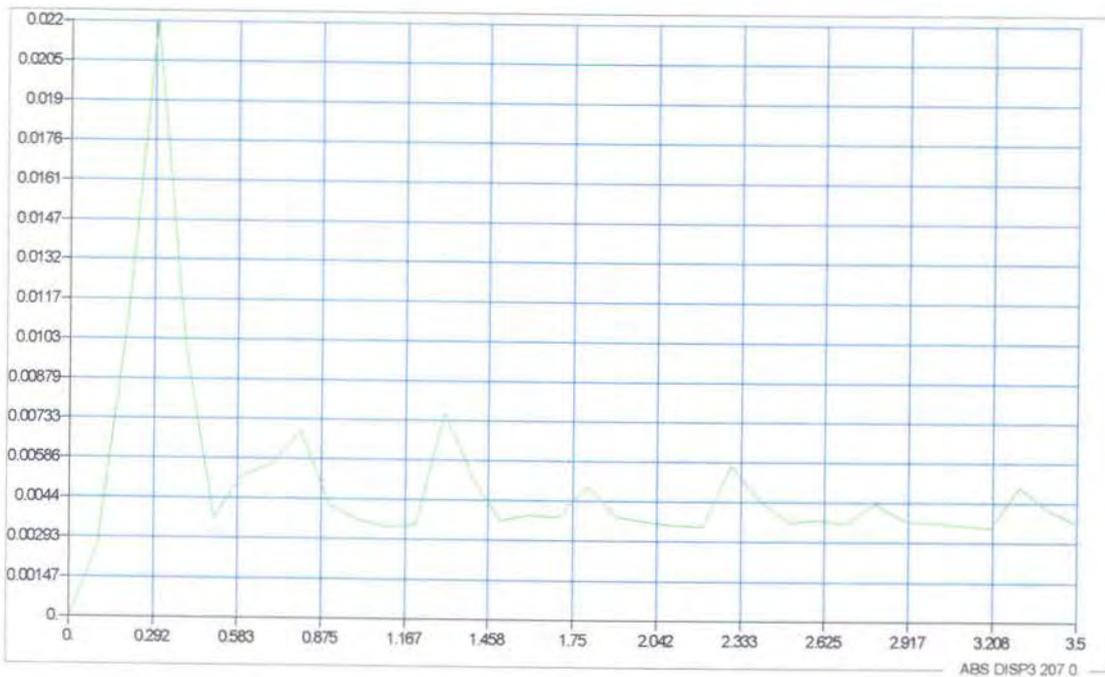
gambar L6.5. Respon displacement kondisi operasional arah heave 24 riser



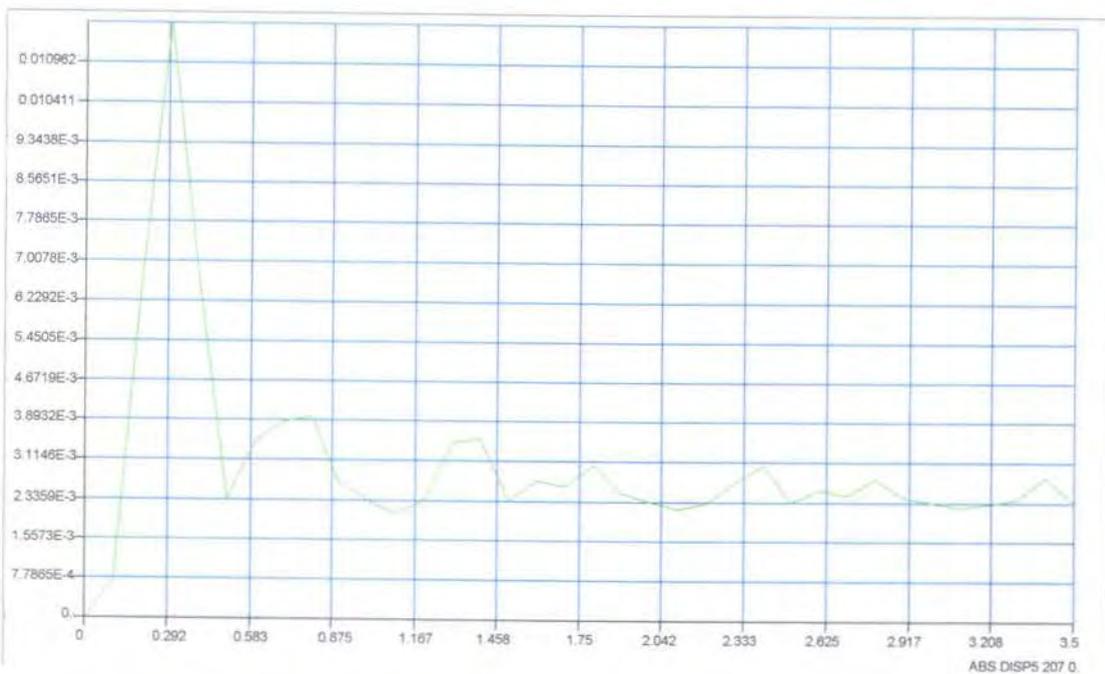
gambar L6.6. Respon displacement kondisi operasional arah pitch 24 riser



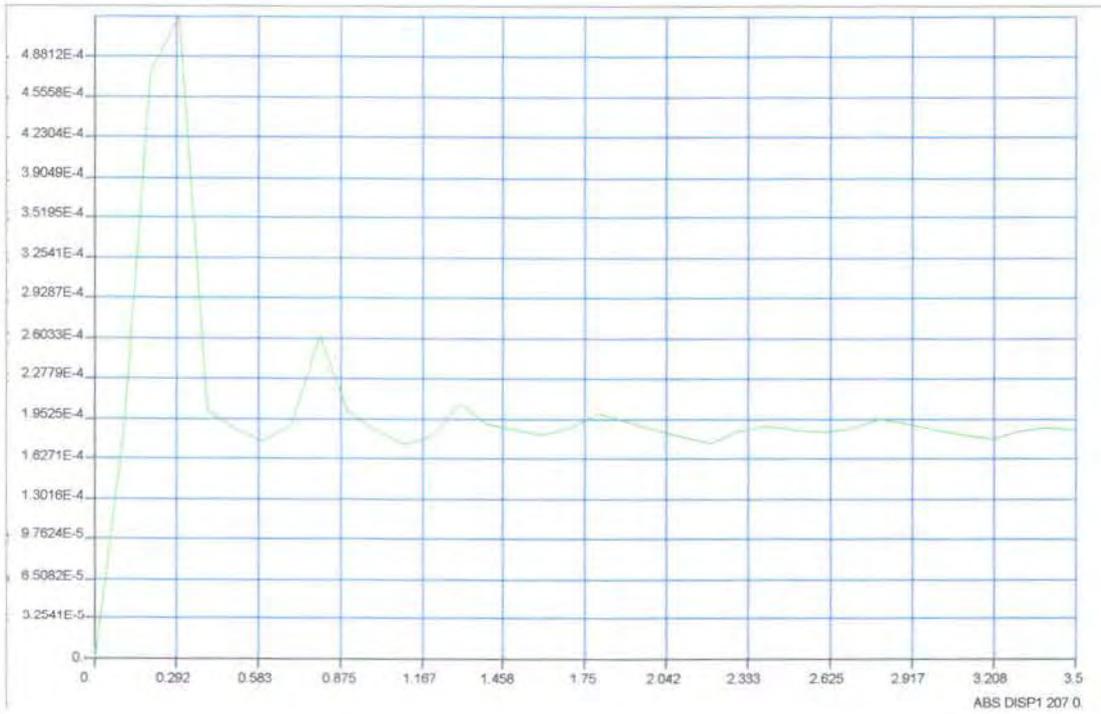
gambar L6.7. Respon displacement kondisi badai arah surge 12 riser



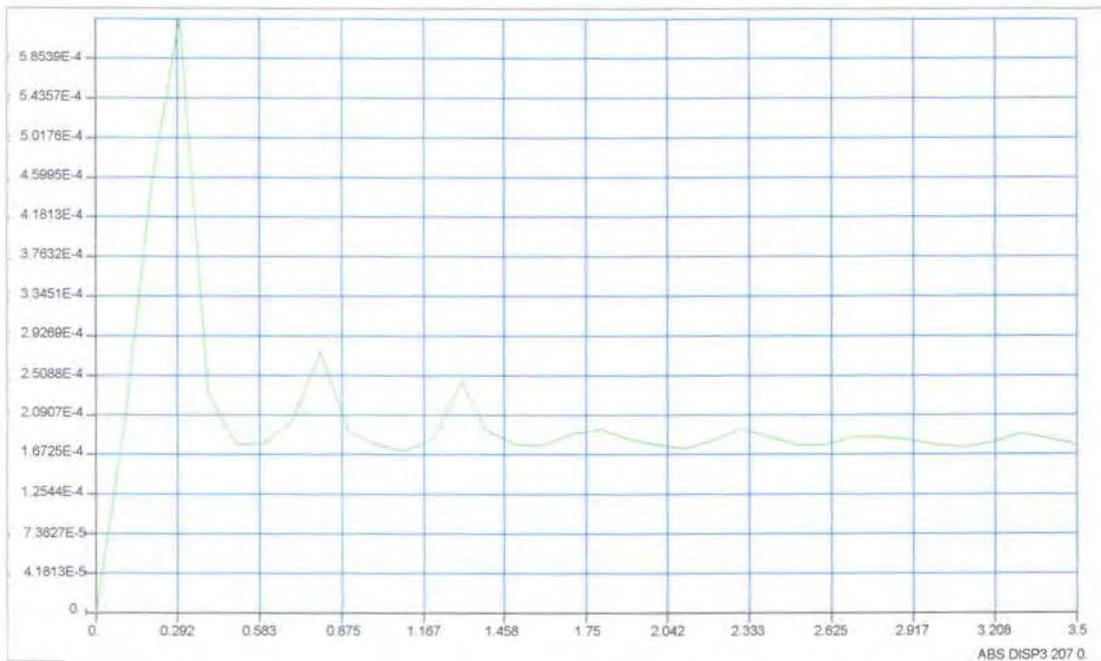
gambar L6.8. Respon displacement kondisi badai arah heave 12 riser



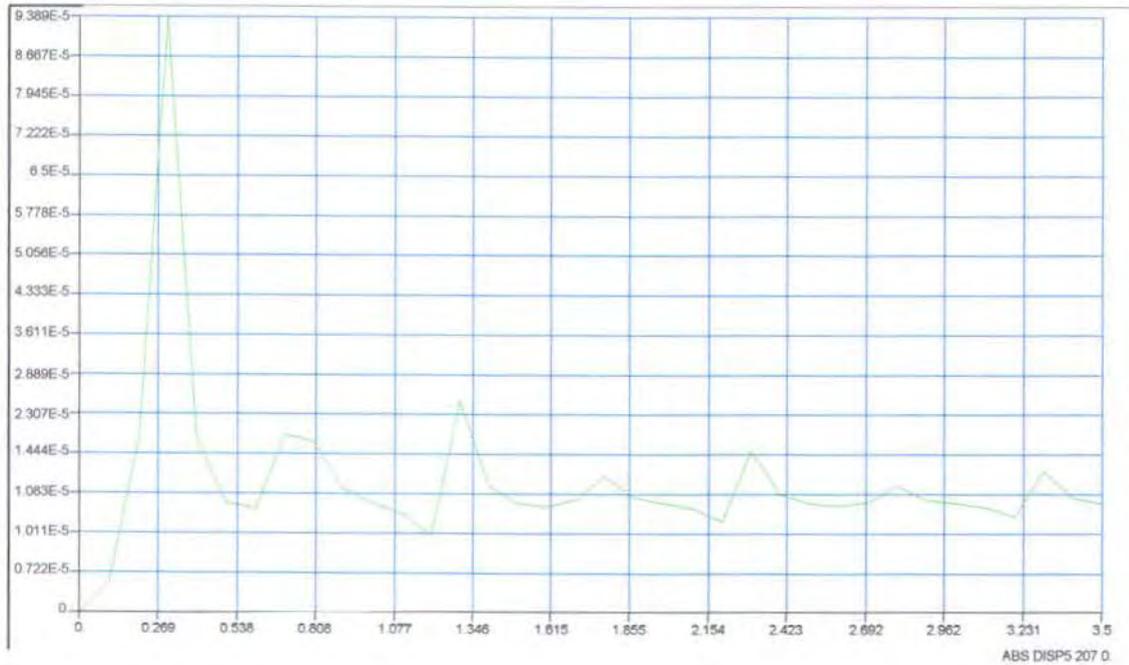
gambar L6.9. Respon displacement kondisi storm arah pitch 12 riser



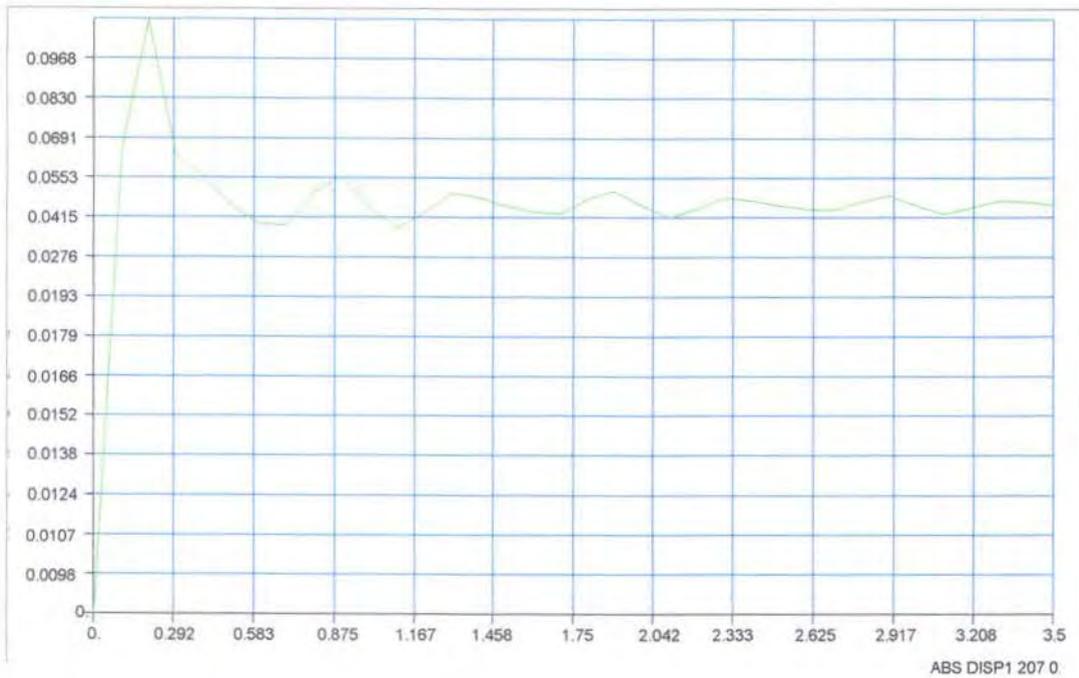
gambar L6.10. Respon displacement kondisi operasional arah surge 12 riser



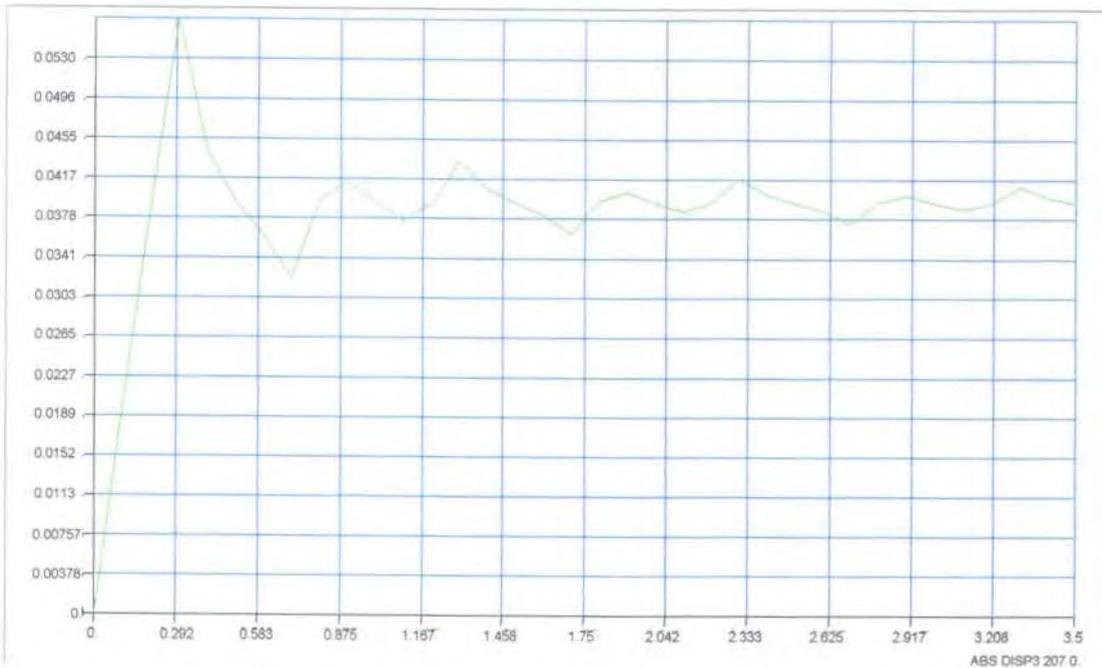
gambar L6.11. Respon displacement kondisi operasional arah heave 12 riser



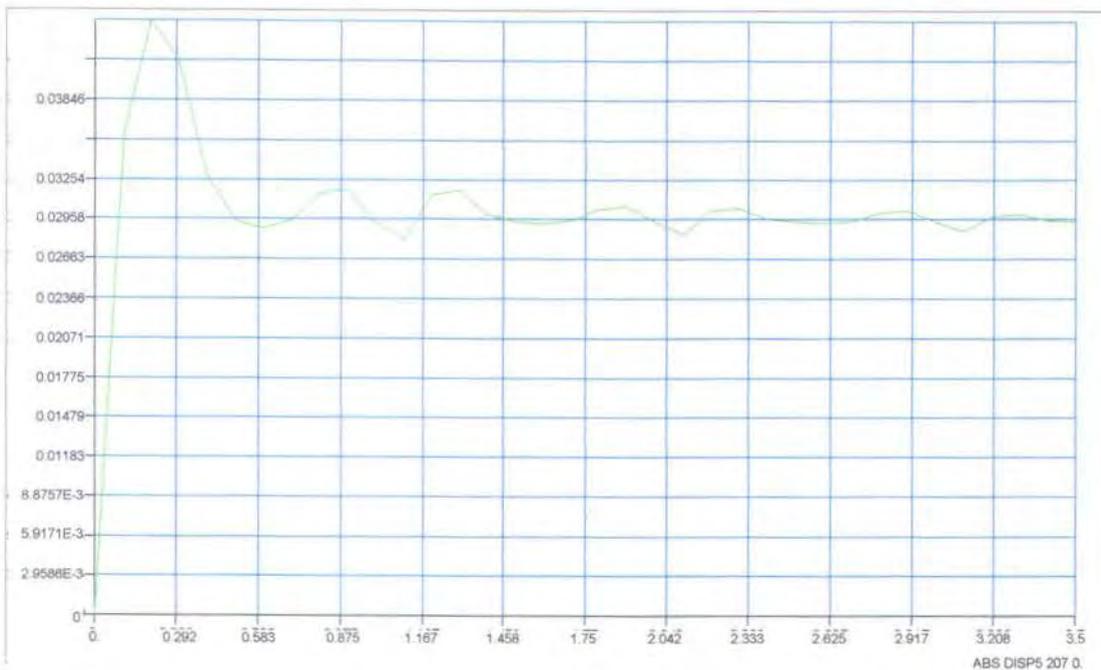
gambar L6.12. Respon displacement kondisi operasional arah pitch 12 riser



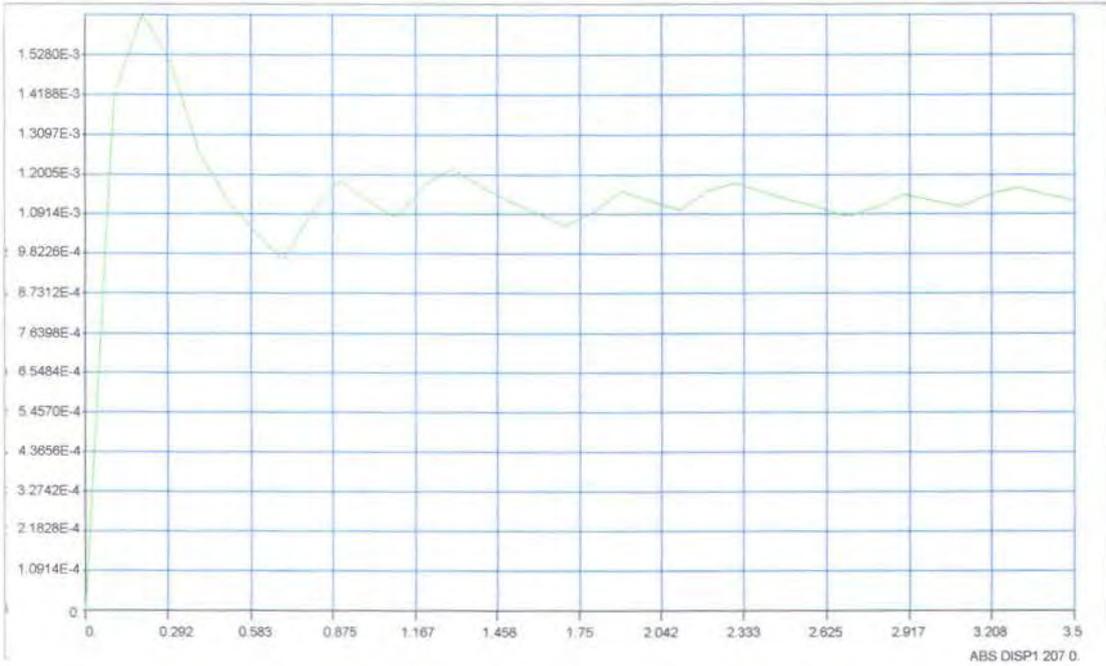
gambar L6.13. Respon displacement kondisi badai arah surge tanpa riser



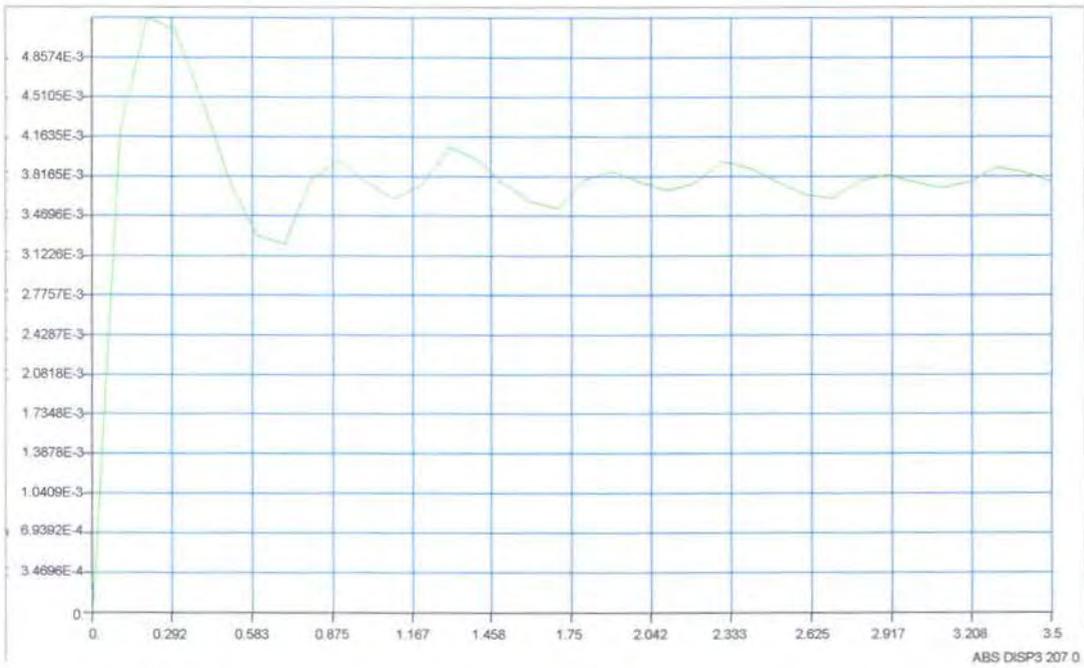
gambar L6.14. Respon displacement kondisi badai arah heave tanpa riser



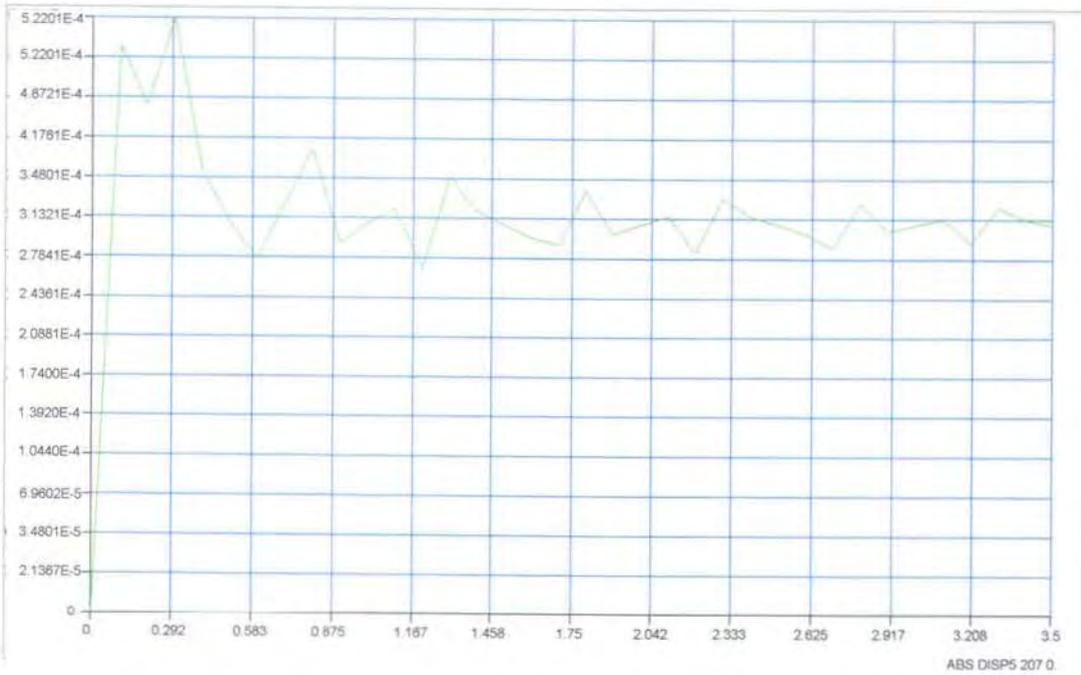
gambar L6.15. Respon displacement kondisi badai arah pitch tanpa riser



gambar L6.16. Respon displacement kondisi operasional arah surge tanpa riser



gambar L6.17. Respon displacement kondisi operasional arah heave tanpa riser



gambar L6.18. Respon displacement kondisi operasional arah pitch tanpa riser