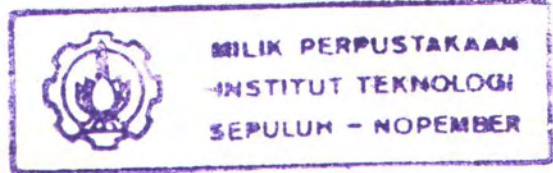


22548/H/05



**TUGAS AKHIR
(KL 1702)**

**ANALISA PENGARUH INTERNAL PRESSURE DAN
INTERNAL TEMPERATUR TERHADAP UPHEAVAL
BUCKLE PADA OFFSHORE PIPELINE**



RSKe
Gls. 5114
Sut
a-1
2004

Oleh :

HADI SUTANTO
NRP. 4399 100 025

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	1-12-2004
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	221224

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2004**

ANALISA PENGARUH INTERNAL PRESSURE DAN INTERNAL TEMPERATUR TERHADAP UPHEAVAL BUCKLE PADA OFFSHORE PIPELINE

TUGAS AKHIR

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

Pada

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

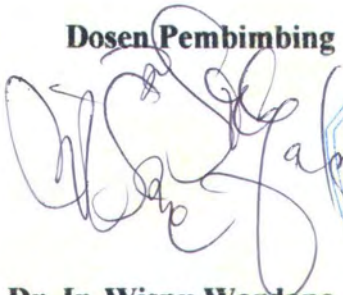
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Surabaya, 21 Agustus 2004

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. Wisnu Wardana, M.Sc
NIP. 68 001 934

Dosen Pembimbing II



Dr. Ir. Handayanu, M.Sc
NIP. 131 782 032



ABSTRAK

Dalam kurun beberapa puluh tahun belakangan ini peningkatan internal pressure dan internal temperatur dalam operasional pipa yang digunakan untuk mentransportasikan minyak dan gas bumi sangat meningkat pesat. Perubahan ini dikombinasikan pula dengan penggunaan pipa dengan diameter kecil. Hal ini berakibat pada meningkatnya kecenderungan pipa mengalami buckle sesuai dengan besarnya gaya aksial yang diterima. Untuk pipa yang dikubur di dalam tanah Upheaval buckling adalah moda buckling yang paling dominan, dimana defleksi pipa akan mengarah ke arah vertikal, pipa akan terlepas dari tanah yang berfungsi sebagai penutup parit. Untuk mengetahui efek dari internal pressure dan internal temperatur ini, sebuah model interaksi internal pressure dan internal temperatur dilakukan dengan menggunakan bantuan software MSC Nastran. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel adalah internal pressure dan internal temperatur serta kelengkungan awal pipa. Internal pressure akan divareasikan pada interval 70 bars hingga 90 bars dan internal temperatur 60 °C hingga 90 °C, beban operasional pipa, juga akan divareasikan amplitudo kelengkungan awal pipa yaitu pipa lurus, 0.1 meter, 0.2 meter, dan 0,3 meter juga akan dilakukan bentuk permodelan permukaan dasar parit yang bergelombang-gelombang. Semua variabel tersebut akan dikombinasikan. Dari hasil ini didapatkan bahwa efek internal pressure dan internal temperatur serta amplitudo kelengkungan awal dapat mengakibatkan upheaval buckle. Pada pipa dengan kelengkungan awal 0.1 meter dengan beban internal pressure 90 bars dan internal temperatur 90 °C dapat mengalami deformasi sebesar 0.47 m. Selain itu didapatkan pula beban operasional yang diijinkan dalam kombinasi amplitudo kelengkungan awal pipa dengan beban operasional pipa. Besarnya tingkat ovalitas pipa pada saat upheaval buckle adalah 0.025%.

Kata kunci : Internal pressure, internal temperatur, upheaval buckle, offshore pipeline

Kata Pengantar

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayah kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini berjudul **“Analisa Pengaruh Internal Pressure Dan Internal Temperature Terhadap Upheaval Buckle Pada Offshore Pipeline”**.

Tugas Akhir ini disusun guna untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan (S-I) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis menyadari bahwa dalam melakukan penelitian mungkin tidak sempurna dan terdapat kekeliruan-kekeliruan yang tidak di sengaja. Maka dari itu penulis mengharapkan saran yang membangun sehingga dapat tercapai tujuan dari penulisan laporan Tugas Akhir ini.

Dalam penyelesaian penulisan Tugas Akhir ini banyak pihak yang telah berpartisipasi dan memberikan kontribusi berharga. Sehubungan dengan hal tersebut , disampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ayahanda dan Ibunda tercinta yang telah memberikan segalanya buat penulis.
2. Bapak Dr. Ir. Wisnu Wardana, M.Sc dan Dr. Ir. Handayanu, M.Sc, Ph.D, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan serta semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Imam Rochani, M.Sc, selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan, FTK – ITS

4. Bapak Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melaksanakan Kerja Praktek di PT Komaritim.
5. Bapak Ir. Murdjito, M.Sc. Eng atas referensi buku-buku yang sangat dibutuhkan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Bapak Ir. Rudi W.P, M.T atas waktunya yang diberikan sehingga penulis dapat belajar mengenai program MSC Nastran
7. Bapak Ir. J.J Soedjono, M.Sc selaku dosen wali.
8. Bapak Ir. A. M. Palkar, dengan kerendahan hati memberikan kesempatan dan membimbing penulis dalam melaksanakan Kerja Praktek di PT Komaritim
9. Bapak Ir. Jusuf Sutomo, M.Sc atas segala fasilitas yang telah diberikan dan kesempatan untuk banyak belajar.
10. Seluruh Dosen dan karyawan di jurusan Teknik Kelautan
11. Kakak-kakakku dan adik-adikku, Pak Lek, Bu Lek, yang telah memberikan semangat dan dorongan kepada penulis.
12. Seluruh teman-teman ngajiku (T-96), terimakasih atas dorongan serta nasehatnya.
13. Teman-teman angkatan '99: Ragil, Rony, Amin, Fardian, Bagus, Denock, Cecep, Hambali, Qosrul, Sigit serta teman-teman yang lain yang telah mau berbagi ilmu dan keceriaan.
14. Semua teman-teman angkatan '98
15. Semua teman-teman angkatan '00
16. Mas Farid dan Mbak Santi terima kasih atas tempat tinggalnya.
17. Seluruh teman-temanku di IIC/12.
18. Teman-temanku di Lemlit Mas Wawan, Mbak Vira, Ana, Wildan terima kasih
19. Segenap pihak yang telah berpartisipasi dalam penyelesaian Tugas Akhir ini dan tak mungkin disebutkan satu persatu.

Semoga semua kebaikan menjadi amal yang baik dan Allah SWT membalas budi baik Bapak/Ibu/Saudara, dan semoga juga hasil penulisan Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat.

DAFTAR ISI

Abstrak	
Kata Pengantar	i
Daftar Isi	iv
Daftar Gambar	vii
Daftar Tabel	ix
Daftar Notasi	x
I PENDAHULUAN	
1.1. Latar belakang	I-1
1.2 Perumusan Masalah	I-3
1.3 Tujuan	I-3
1.4. Manfaat	I-4
1.5. Batasan Masalah	I-4
1.6. Sistematika Penulisan	I-6
II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1 Tinjauan Pustaka	II-1
2.2 Landasan Teori	II-2
2.2.1 Gaya-gaya yang bekerja pada ketidaksempurnaan Pipa	II-9
2.2.2 Keadaan sebelum terjadinya upheaval	II-12
2.2.3 Keadaan upheaval pada pipeline	II-16
2.2.4 Tegangan yang bekerja pada buried pipeline	II-17

2.2.4.1	Tegangan Tangensial	II-17
2.2.4.2	Tegangan aksial (Longitudinal stress)	II-19
2.2.5	Buckling	II-25
2.2.6	Buckling elastis pada kolom lurus akibat beban aksial	II-26
2.2.7	Perhitungan defleksi maksimum pipa	II-33
2.2.8	Buckling Pada Pipa	II-34
2.2.9	Analisa Nonlinear	II-36
2.2.10	Tegangan Ijin	II-37
2.2.11	Analisa Ovalita	II-38

III METODE PENELITIAN

3.1	Metode Penelitian	III-1
3.2	Diagram Alir Metode Penelitian	III-4

IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1	Umum	IV-1
4.2	Pengumpulan Data	IV-2
4.3	Permodelan Struktur	IV-3
4.4	Efek pembebanan pada pipa	IV-8
4.5	Efek Beban Operasional Pada Pipeline	IV-12
4.5.1	Bentuk Pipa Lurus	IV-12
4.5.2	Pipa Dengan Kelengkungan Awal	IV-13
4.5.3	Bentuk Permodelan Pipa Dengan Berbagai Kelengkungan	IV-18

4.6	Analisa Tegangan Equivalen (Vonmises stress)	IV-22
4.7	Analisa Ovalitas	IV-24
4.8	Validasi Model Finite Elemen Method	IV-25

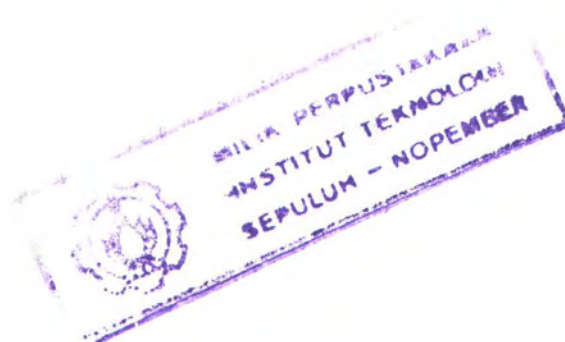
V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	V-1
5.2	Saran	V-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Lampiran I	Peta Lokasi
Lampiran II	Input Data Untuk Permodelan
Lampiran III	Gambar Deformasi Pipa
Lampiran IV	Output Deformasi Pada Permodelan pipa
Lampiran V	Output Tegangan Pada Permodelan pipa



DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1 Tipe konfigurasi ketidaksempurnaan pipa
- Gambar 2.2 Topologi penyangga pipa
- Gambar 2.3 Ketidaksempurnaan awal pada topologi pipa
- Gambar 2.4 Sebelum terjadinya upheaval, ketidaksempurnaan secara detail dari topologi pipa
- Gambar 2.5 Penampang pipa yang dikenai tekanan dari luar dan dalam
- Gambar 2.6 Ilustrasi efek thermal ekspansi pada buried pipeline
- Gambar 2.7 beban internal pressure pada pipa
- Gambar 2.8 Ilustrasi efek internal pressure pada buried pipeline
- Gambar 2.9 panjang efektif kolom dengan pengekang yang berlainan
- Gambar 2.10.a Beban aksial P dan beban transversal ke atas F pada tegangan bentangan
- Gambar 2.10.b Diagram benda bebas untuk balok kolom berdefleksi
- Gambar 3.1 Diagram alir permodelan menggunakan MSC Nastran
- Gambar 3.2 Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir
- Gambar 4.1 Permodelan pipa
- Gambar 4.2 Menentukan material properties pipa
- Gambar 4.3 Menentukan properties pipa
- Gambar 4.4 menentukan ukuran elemen mesh pipa
- Gambar 4.5 Membuat meshing pada pipa

- Gambar 4.6 Pemberian konstrain roll pada ujung pipa
- Gambar 4.7 Pemberian konstrain fix pada ujung pipa
- Gambar 4.8 Pemberian pembebanan pada ujung pipa
- Gambar 4.9 Permodelan struktur pipa dengan menggunakan software nastran
- Gambar 4.10 Ilustrasi pembebanan pressure dan temperatur pada pipa
- Gambar 4.11 Grafik efek pressure dan internal temperatur terhadap displacement pipa
- Gambar 4.12 Grafik efek internal pressure dan internal temperatur terhadap tegangan pada dinding pipa
- Gambar 4.13. Efek internal pressure dan temperatur pada pipa lurus
- Gambar 4.14 Deformasi yang diakibatkan internal pressure dan internal temperature
- Gambar 4.15 Kontur distribusi tegangan pada upheaval buckle pipeline
- Gambar 4.16 Deformasi pada pipa dengan kelengkungan satu panjang gelombang
- Gambar 4.17 Deformasi pada pipa dengan kelengkungan satu setengah panjang gelombang
- Gambar 4.18 Deformasi pipa dengan kelengkungan dua panjang gelombang
- Gambar 4.19 Tegangan yang bekerja pada elemen
- Gambar 4.20 Grafik perbandingan tegangan dan ukuran mesh

DAFTAR TABEL

- Tabel 2.1 Faktor untuk cek tegangan equivalent (DNV 1996)
- Tabel 4.1 Deformasi pipa pada tekanan 70 bars
- Tabel 4.2 Deformasi pipa pada tekanan 80 bars
- Tabel 4.3 Deformasi pipa pada tekanan 90 bars
- Tabel 4.4 Efek dari beban operasional pada amplitudo kelengkungan awal
0.1 meter
- Tabel 4.5 Efek dari beban operasional pada amplitudo kelengkungan awal
0.2 meter
- Tabel 4.6 Efek dari beban operasional pada amplitudo kelengkungan awal
0.3 meter
- Tabel 4.7 Efek vareasi kelengkungan pada pipa
- Tabel 4.8 Ovalitas pipa akibat buckle
- Tabel 4.9 Penentuan ukuran meshing model pipa

DAFTAR NOTASI

A	= Cross section area
A_p	= Luasan bagian dalam pipa
A_m	= Luasan metal pipa
A_s	= Luas penampang
C_c	= Rasio silinder kolom
D	= Diameter pipa
d_{max}	= diameter maksimum
d_{min}	= diameter minimum
d_{rat}	= diameter rata-rata
F_i	= Tegangan geser pada puncak kelengkungan
F	= Gaya berat pipa
F_y	= Tegangan Yield
I	= Momen Inersia
K	= Faktor panjang efektif yang tergantung pada pengekang ujung
k	= Faktor dimensional
L	= Panjang pipa
L_i	= Panjang awal pipa yang mengalami kelengkungan awal
L_e	= Panjang pipa efektif
M_c	= Momen bending kritis ketika $P = 0$
M_x	= Momen bending
M_x	= Momen pengganggu
M_R	= Resultan momen bending

- $n^2 = P / EI$
 P = Tegangan aksial
 P_E = Beban kritis
 P_o = Pre-buckling pipe force
 P_u = Tegangan aksial pada saat upheaval
 P_{qi} = Tegangan permisalan
 P_c = Tegangan luar kritis ketika $M = 0$
 p = Internal pressure
 q = Berat pipa sendiri
 r = Jari-jari girasi
 R_H = Radius horizontal
 R_V = Radius vertikal
 SR = Rasio silinder efektif
 t = Tebal pipa
 ΔT = Perbedaan temperatur
 T_o = Temperatur operasi
 T_l = Temperatur lingkungan
 V_{max} = Defleksi maksimum
 ν = Poisson ratio
 x = Jarak koordinat pipa secara horizontal
 Y = *Yield Stress* pipa

- α = Koefisien thermal ekspansion
- σ_L = Tegangan longitudinal total
- σ_{LT} = Tegangan longitudinal pengaruh thermal
- σ_{LP} = Tegangan longitudinal pengaruh tekanan
- σ_{LB} = Tegangan longitudinal pengaruh bending
- σ_c = Critical stress
- v_{om} = Tinggi kelengkungan awal pipa
- v = Displasemen pipa secara vertikal
- ρ = Radius kelengkungan
- η = Faktor untuk cek tegangan equivalent
- τ_{th} = Tangensial shear stress
- θ = ovalitas



BAB I
PENDAHULUAN



BAB I PENDAHULUAN

I.1. LATAR BELAKANG

Dalam industri minyak dan gas bumi, pendistribusian minyak dan gas bumi menggunakan instalasi jalur pipa bawah laut, jalur pipa bawah laut digunakan untuk mendistribusikan minyak dan gas bumi dari suatu fasilitas ke fasilitas yang lainnya. Pada kondisi dan keadaan tertentu hal ini akan memberikan efisiensi yang lebih baik. Untuk itu, investasi yang dihabiskan untuk instalasi pipa bawah laut harus memberikan hasil yang maksimal, dengan kata lain bahwa kelaikan dan keandalan serta *lifetime* dari struktur harus sesuai dengan perencanaan.

Suatu struktur yang berada di dalam lingkungan laut, maka struktur tersebut akan mendapatkan gaya hidrostatis laut tersebut. Begitu juga dengan pipa yang dikubur di dalam tanah di dasar laut akan mendapatkan pengaruh gaya-gaya hidrostatis, tanah, *internal pressure*, *internal temperature* dan pengaruh gaya-gaya ini akan mempengaruhi kestabilan struktur pipa tersebut. Kestabilan suatu struktur yang baik akan menyebabkan peningkatan kekuatan dan keandalan struktur. Sehingga investasi yang ditanamkan memberikan hasil yang maksimal.

Pipa bawah laut yang dikubur di dasar laut akan menerima pengaruh beban eksternal dan beban internal yang akan menyebabkan perubahan kedudukan



pipa. Perubahan kedudukan ini akan menyebabkan perubahan kestabilan pipa dan selanjutnya hal ini akan menyebabkan kegagalan pada sistem perpipaan tersebut. Kegagalan pada offshore pipeline tidak terlepas dari pengaruh adanya gaya tekan pada pipa yang disebabkan oleh *internal pressure* dan *internal pressure* yang ada di dalam pipa dari produk yang ditransportasikan oleh pipa. *Internal pressure* dan *internal temperatur* ini ditahan oleh gaya gesek memanjang pipa, efek ini akan tertimbun dan terkunci pada arah memanjang dan terkunci di dalam gaya tekan. Pipeline disini bekerja sebagai kolom. Pada titik lemah, pada daerah dimana tanah sebagai penutup atau ketidaksempurnaan pada rute pipa, gaya tahan lateral tidak mampu menahan pipa untuk stabil maka pipa tersebut akan keluar dari *trench*, bukles, pada arah dimana gaya tahannya rendah.

Untuk menjawab permasalahan ini diperlukan data-data mengenai pipa, data *internal pressure* dan *internal temperatur* yang bekerja pada pipa tersebut. Dengan adanya data-data tersebut maka dapat diketahui pengaruh dari pembebanan yang diakibatkan oleh *internal pressure* dan *temperatur* terhadap fenomena *upheaval buckle* pada *offshore pipeline*.

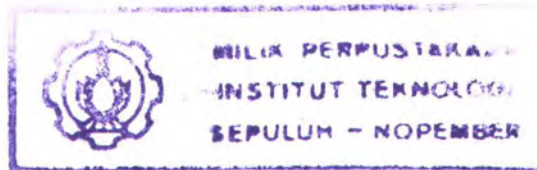
Tugas akhir ini mengenai analisa pengaruh *internal pressure* dan *internal temperature* terhadap *upheaval buckle*. Analisa akan dilakukan dengan bantuan *structural software MSC-NASTRAN*. Pipa yang dianalisa merupakan pipa yang dikerjakan oleh PT Komaritim, lokasi pipa di perairan delta sungai Mahakam, Kalimantan Timur.



I.2 PERUMUSAN MASALAH

Masalah yang akan diangkat pada penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Menganalisa besarnya pengaruh *internal pressure* dan *internal temperature* terhadap upheaval buckle pada pipa, dengan membuat suatu pendekatan perhitungan dengan menggunakan model, dengan presurre dan temperatur sedemikian rupa sehingga dapat memberikan akibat terhadap upheaval buckle.
2. Menganalisa besarnya internal pressure dan internal temperature dan derajat kemiringan pipa (*allowable curvature*) yang diijinkan pada saat terjadi upheaval buckle pada pipa.



I.3 TUJUAN

Tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Untuk mendapatkan seberapa besar pengaruh *internal pressure* dan *internal temperature* terhadap upheaval buckle pada pipa. Dengan membuat suatu pendekatan perhitungan dengan menggunakan model, dengan presurre dan temperatur sedemikian rupa sehingga dapat memberikan akibat terhadap upheaval buckle.
2. Untuk mendapatkan berapa besarnya *internal pressure* dan *internal temperature* dan derajat kemiringan pipa (*allowable*



curvature) yang diijinkan pada saat terjadi *upheaval buckle* pada pipa.

I.4. MANFAAT

Dari penulisan Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Mendapatkan besarnya pengaruh *internal pressure* dan *internal temperature* terhadap *upheaval buckle* pada pipa.
2. Mendapatkan besarnya *internal pressure* dan *internal temperature* dan derajat kemiringan pipa (*allowable curvature*) yang diijinkan pada saat terjadi *upheaval buckle* pada pipa.

I.5. BATASAN MASALAH

Dalam Tugas Akhir ini dibatasi pada batasan-batasan masalah sebagai berikut.

1. Pipa belum mengalami korosi
2. Pipa tidak dipengaruhi oleh gaya-gaya hidrodinamis.
3. Gaya-gaya yang diakibatkan oleh pengaruh tanah seperti gaya gesek tanah, berat tanah penimbun (*cover*) tidak diperhitungkan.
4. Tegangan sisa yang dialami oleh pipa setelah instalasi tidak diperhitungkan.



5. Dalam permodelan ini pipa dianggap berbentuk lingkaran sempurna (tanpa ovalitas awal).

I.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini akan diterangkan mengenai studi yang dilakukan, permasalahan yang diangkat, tujuan yang hendak dicapai, manfaat, batasan-batasan masalah, metodologi penyelesaian masalah, metode penelitian serta sistematika penulisan laporan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Dalam penyelesaian dalam laporan Tugas Akhir ini penulis berpedoman pada beberapa penelitian tentang fenomena upheaval buckle pada pipeline yang pernah dilakukan sebelumnya dan beberapa dasar teori. Dasar teori yang digunakan antara lain mengenai *upheaval buckle phenomena*, teori buckling, teori mengenai pembebanan yang diakibatkan oleh internal pressure dan internal temperatur pada offshore pipeline, analisa nonlinear dan peraturan mengenai kekuatan struktur pipa yang direkomendasikan oleh DNV 1996.



BAB III METODELOGI PENELITIAN

Bab ini menerangkan langkah-langkah yang dilakukan, diawali dengan mengumpulkan data, penentuan pembebanan dan langkah dalam melakukan analisa struktur pipa.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas respon struktur yang didapat dengan menggunakan *software MSCN Nastran*. Pemeriksaan respon struktur disesuaikan dengan kriteria kekuatan yang direkomendasikan oleh DNV 1996. Kemudian dilakukan analisa.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan dari pembahasan dan saran penyelesaian penelitian lebih lanjut mengenai pipa yang mengalami upheaval buckle.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Setelah pipa diinstalasi dan dioperasikan pada kondisi dimana temperatur fluida yang dialirkan di dalam pipa lebih besar bila dibandingkan dengan suhu lingkungan maka pipa tersebut akan berusaha untuk bergerak. Jika jalur pipa tidak bebas dalam artian mengalami pengekangan, seperti contoh akibat dari gaya gesek tanah maka pipa akan mengalami beban aksial. Ketika pipa ditanam di dalam tanah pengekangan pada arah vertikal akan lebih kecil bila dibandingkan dengan pengekangan yang diakibatkan oleh tanah pada arah samping (lateral), sehingga pipa akan cenderung bergerak ke arah vertikal atau sepanjang parit dimana pipa diinstalasi tanpa timbunan (*cover*) dan pada bagian yang terlepas ini pipa akan bergerak bebas hingga posisi kesetimbangan dicapai (Guijt, J, Norske, 1990)

Menurut Beavers et al (1992), Ariman et al (1987) bahwa upheaval beam seperti buckling pada pipeline atau dinding pipa seperti pengerutan yang diakibatkan oleh tekanan dipengaruhi oleh ratio diameter pipa dengan ketebalan pipa, jenis material pipa dan kondisi dari interaksi dari tanah (tebal tanah penutup *trench*, dan kondisi tanah dalam menahan tekanan).



Ketebalan dinding pipa dan kedalaman pipa yang dikubur di dalam tanah akan mengakibatkan menyusutnya pipa akibat tegangan longitudinal, pada dinding pipa yang ditimbun oleh lapisan tanah yang sedikit akan mengkerut seperti beam.

Pengerutan dinding pipa akan sangat berbahaya untuk kelangsungan operasi pipeline. Pengerutan ini akan disebabkan oleh deformasi plastis dari material pipa yang tidak dapat menahan efek dari internal pressure akibat gas atau minyak yang ditransportasikan di dalamnya. Dalam beberapa kasus seperti ledakan, kebakaran dan bencana lain, buckling pada dinding pipa akan menjadi pemicu dari keruntuhan pada pipa yang mengalami tekanan. Dengan kata lain beam yang telah mengalami buckling akan tetap dapat diberi kesempatan untuk terus memompakan fluida, mungkin dengan tekanan pada level yang rendah (Gershtein, M., 1996).

Dalam mendesain suatu pipa, dibutuhkan informasi tentang volume dan laju aliran fluida yang mengalir di dalam pipa tersebut. Ukuran pipa yang ditentukan harus mampu menahan tekanan yang ada dalam aliran fluida. "Kombinasi tegangan pada pipa untuk mendistribusikan minyak atau gas dapat dievaluasi dengan menggunakan *Maximum Shear Stress Equation* atau dengan menggunakan *Maximum Distortional Energy Theory (Von Misses Combined Stress)*". (API 1111 1993).



2.2 Landasan Teori

Instalasi pipa sangat memerlukan teknologi canggih dan investasi biaya yang cukup besar. Kegagalan saluran pipa akan mengakibatkan hilangnya biaya yang cukup besar dan hilangnya produksi selama proses perbaikan berlangsung. Pada saat sekarang ini banyak sekali ditemukan fenomena *upheaval buckle* yang terjadi pada *offshore pipeline*.

Pada akhir-akhir ini perusahaan perminyakan banyak mengoperasikan pipa dengan ukuran yang lebih kecil dimana pipa tersebut mengandung hidrokarbon untuk ditransportasikan dari ladang pengeboran marginal dengan memanfaatkan teknologi satelit, *upheaval buckling* mempunyai arti penting sedemikian rupa sehingga pipa harus *ditrenched* dan dikubur untuk melindungi pipa dari kerusakan akibat jangkar atau regulasi pemerintah mengenai pelayaran.

Pipeline yang diinstalasi di dasar laut atau yang diletakkan pada *sea bed* biasanya tidak sempurna lurus, tetapi mengalami ketidaksempurnaan dalam instalasinya. Tiga tipe perbedaan ketidaksempurnaan tersebut dapat ditinjau sebagai berikut:

Yang pertama ketidaksempurnaan dalam bentuk sinusoidal dirumuskan sebagai berikut:



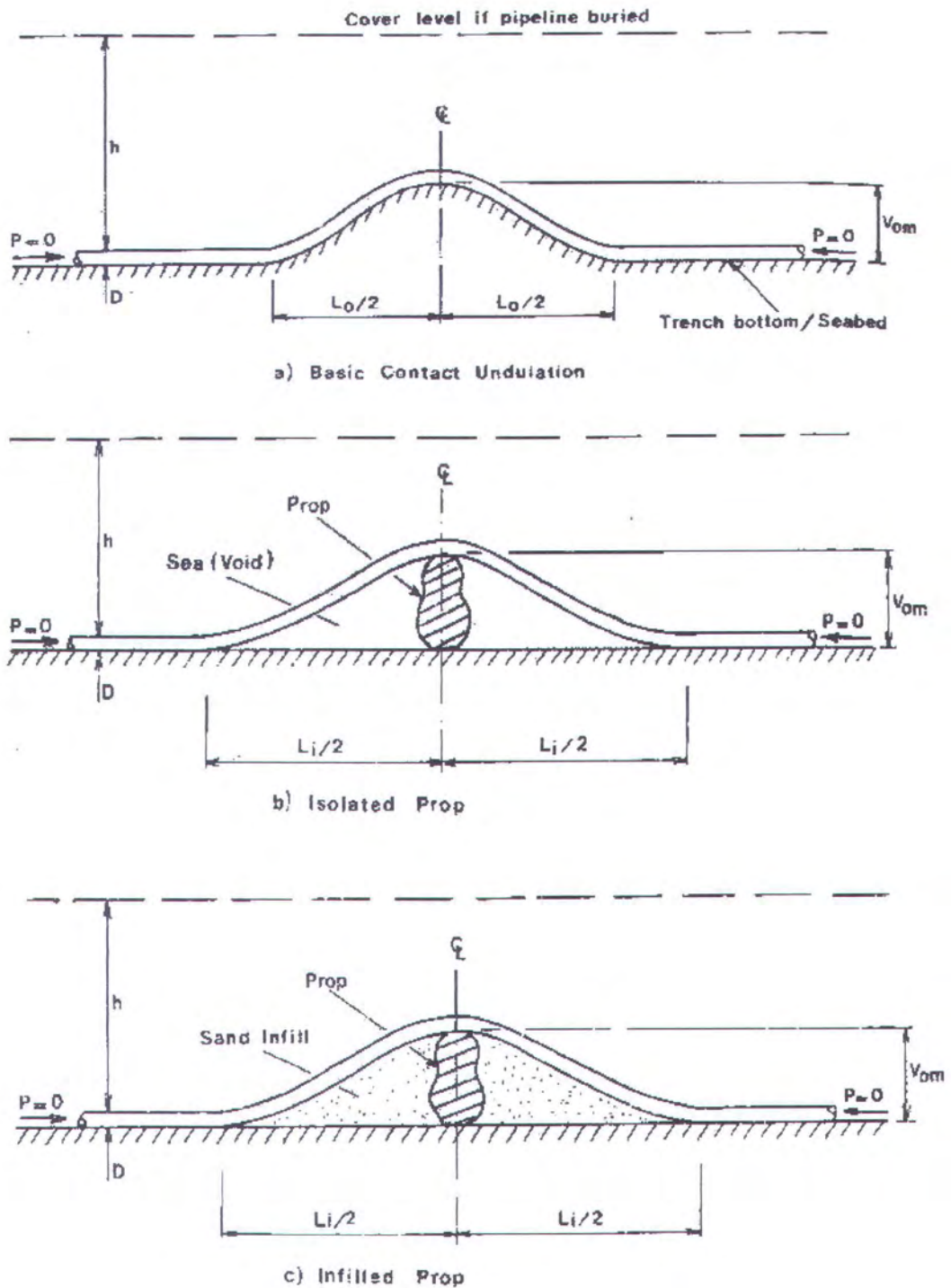
$$y = \Delta \cdot \frac{1}{2} \cdot \left[\cos\left(\frac{\pi x}{L}\right) + 1 \right] \quad \text{untuk } -L \leq x \leq L \quad (2.1)$$

Yang kedua adalah bentuk tumpuan, didefinisikan sebagai berikut:

$$y = \Delta \left[4 \left(\frac{L - |x|}{L} \right)^3 - 3 \left(\frac{L - |x|}{L} \right)^4 \right] \quad \text{untuk } -L \leq x \leq L \quad (2.2)$$

Opsi ketiga adalah *arbitrary* profile didefinisikan pada titik (x,y) berdasarkan survai data.

Tiga tipe dasar dari ketidaksempurnaan dapat diidentifikasi dengan mengilustrasikan Gambar 2.1. Pada kasus pertama, pipa dalam keadaan bergelombang secara vertikal. Bentuk tumpuan ini secara jelas merupakan ketidakteraturan pipa secara vertikal yang disebabkan adanya butiran yang ada pada sisi yang lain. Pada kasus ketiga terjadi di mana butiran pasir akan mengisi bagian-bagian yang kosong di bawah pipa yang tertumpu pada kasus yang pertama. Ketidaksempurnaan mula-mula ini dinyatakan dengan amplitudo v_{om} dan di sepanjang panjang gelombang pipa L_o atau L_i .



Gambar 2.1. Tipe konfigurasi ketidaksempurnaan pipa (Taylor, N and Tran, V.C., 1992)



Bentuk pipa yang melengkung dapat menjadi pemicu terjadinya *upheaval buckle* di mana pipa terangkat, ditahan oleh gaya ke bawah dari berat pipa itu sendiri, tanah penutup yang berada di atas pipa dan gaya hidrostatik. Banyak studi yang menduga bahwa system simetri dan dasar laut atau kekakuan dasar parit, bersama-sama dengan perubahan bentuk yang kecil dan secara linier elastis menurut sifat-sifatnya dapat mengakibatkan *upheaval buckle*. Meskipun interpretasi temperature dan tekanan yang muncul akibat tekanan aksial yang ada pada unrestrained pipa disebut sebagai *pre-buckling pipe force*, P_o dirumuskan Hobb's (1981):

$$P_o = AET\alpha + \frac{ApD}{2t} (0.5 - \nu) \quad (2.3)$$

Dimana:

A = Luas permukaan pipa

E = Modulus young

T = Temperatur

ν =Poisson ratio

p = Tekanan fluida di dalam pipa

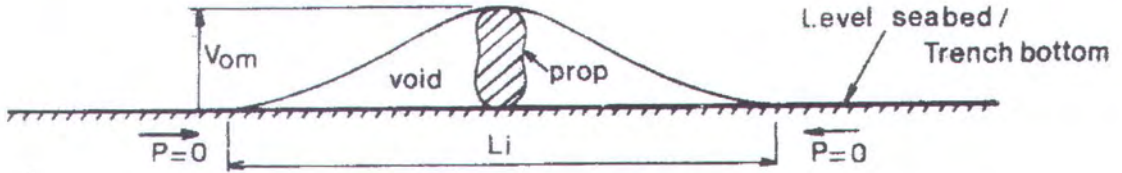
D = Diameter pipa

t = Ketebalan pipa

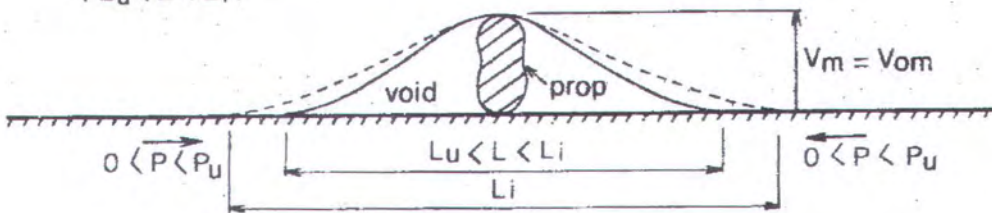
Langkah-langkah terjadinya *upheaval* pipa dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.2 berikut.



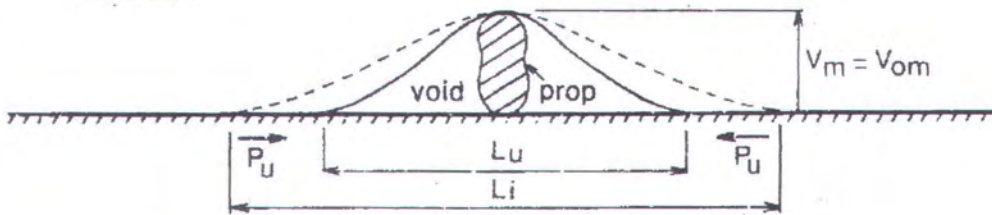
a) Datum ($P = 0$)



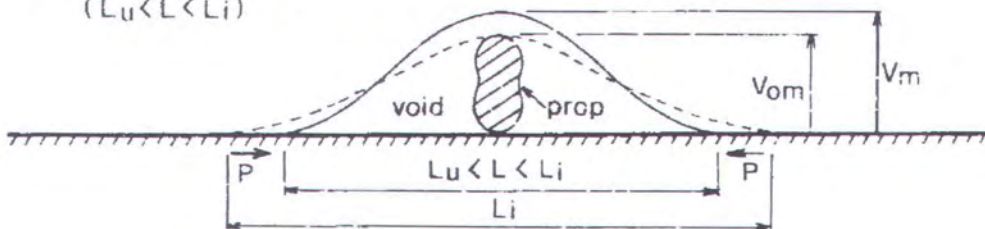
b) Pre-upheaval Flexure ($L_u < L < L_i$)



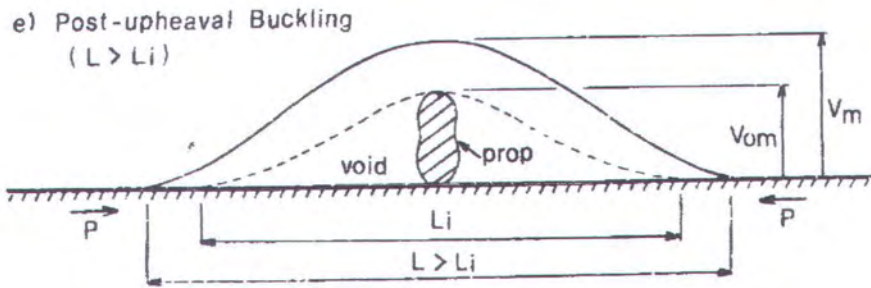
c) Upheaval ($L = L_u$)



d) Post-upheaval Buckling ($L_u < L < L_i$)



Gambar 2.2. Topologi penyangga pada pipa



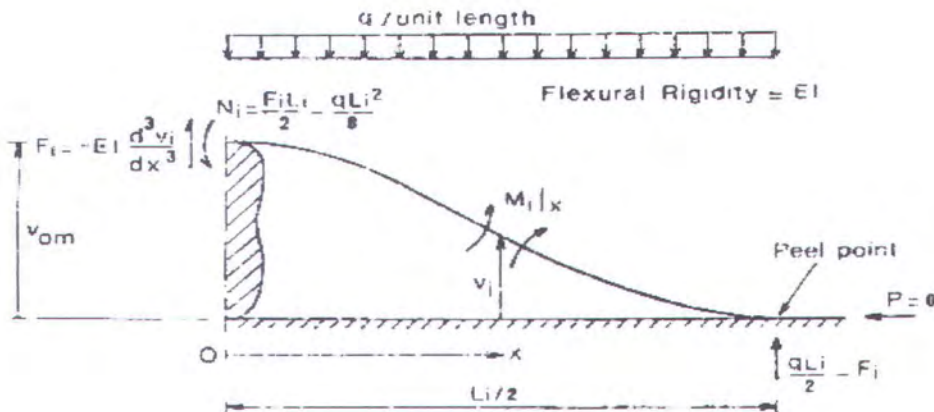
Gambar 2.2. Topologi penyangga pada pipa (lanjutan)

Data-data yang diperoleh mengacu pada data-data awal yang diadopsi pada saluran pipa yang dioperasikan sehingga dengan cara demikian akan didapatkan lengkungan vertikal yang disebabkan oleh adanya suatu penumpu. Temperatur pipa yang timbul selama proses operasi akan mengakibatkan pengikisan sepanjang pipa yang bekerja di bawah tekanan fluida yang bekerja di dalam pipa P ($P < P_0$).

Panjang gelombang pipa L_o akan mengurangi dan menurunkan beberapa nilai spesifik pada pipa pada saat *upheaval buckle* L_u , lalu saluran pipa akan terangkat ke atas penyangga itu. *Pre upheaval* pada awalnya melibatkan panjangn pipa $L_u < L < L_i$, dengan $L > L_i$ akan terjadi apabila keadaan sangat berpengaruh terhadap terjadinya upheaval buckle.

2.2.1. Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Ketidaksempurnaan Topologi

Secara tepat bentuk pipa yang mengalami *buckle* dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.3. Ketidaksempurnaan awal pada topologi pipa

Menurut Taylor, N. dan Tran, V. (1993) secara efektif pipa dipengaruhi oleh gaya-gaya yang bekerja pada pipa akibat adanya ketidakteraturan pipa akibat tumpuan pada amplitudo gelombang awal pipa v_{om} dan berat pipa itu sendiri, ditambah dengan berat timbunan tanah di atas pipa. Reaksi yang terjadi meliputi tegangan geser F_i , bending moment N_i , yang bekerja pada puncak kelengkungan dengan reaksi melintang yang bekerja pada titik lengkung pipa. Dengan kondisi batas :

$$v_i|_{Li/2} = v'_{ix}|_{Li/2} = v''_{ix}|_{Li/2} = v'_{ix}|_0 = 0 \quad (2.4)$$



dimana :

v_i = defleksi vertikal awal

$$v'_{ix} = \frac{dv_i}{dx} \text{ dan seterusnya}$$

dari persamaan tersebut menghasilkan momen bending $M_i|_x$, $0 \leq x \leq L_i/2$,

$$M_i|_x = EIv'_{ix} = -\frac{FiL_i}{2} + \frac{qL_i^2}{8} + Fix - \frac{qx^2}{2} \quad (2.5)$$

dengan catatan:

$$v_i|_0 = v_{om}$$

dengan perhitungan sebagai berikut:

$$v_i = \frac{q}{72EI} \left(2L_i \left[\frac{L_i}{2} - x \right]^3 - 3 \left[\frac{L_i}{2} - x \right]^4 \right) \quad (2.6)$$

$$L_i = 5.8259 \left(\frac{v_{om}EI}{4} \right)^{1/4} \quad (2.7)$$

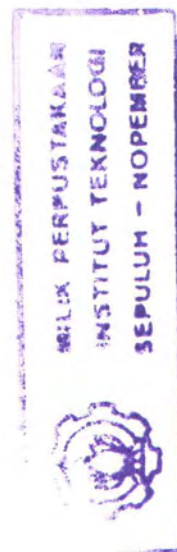
$$\frac{F_i}{EI} = -v'_{ix}|_0 = \frac{qL_i}{3EI} \quad (2.8)$$

bersama dengan

$$v'_{ix}|_0 = v'_{ix}|_{\max} = \frac{-qL_i^2}{24EI} \quad (2.9)$$

dan

$$M_{ix} = \frac{q}{12} \left(\frac{L_i}{2} - x \right) (6x - L_i), \quad M_{ix} \leq N_i \quad (2.10)$$





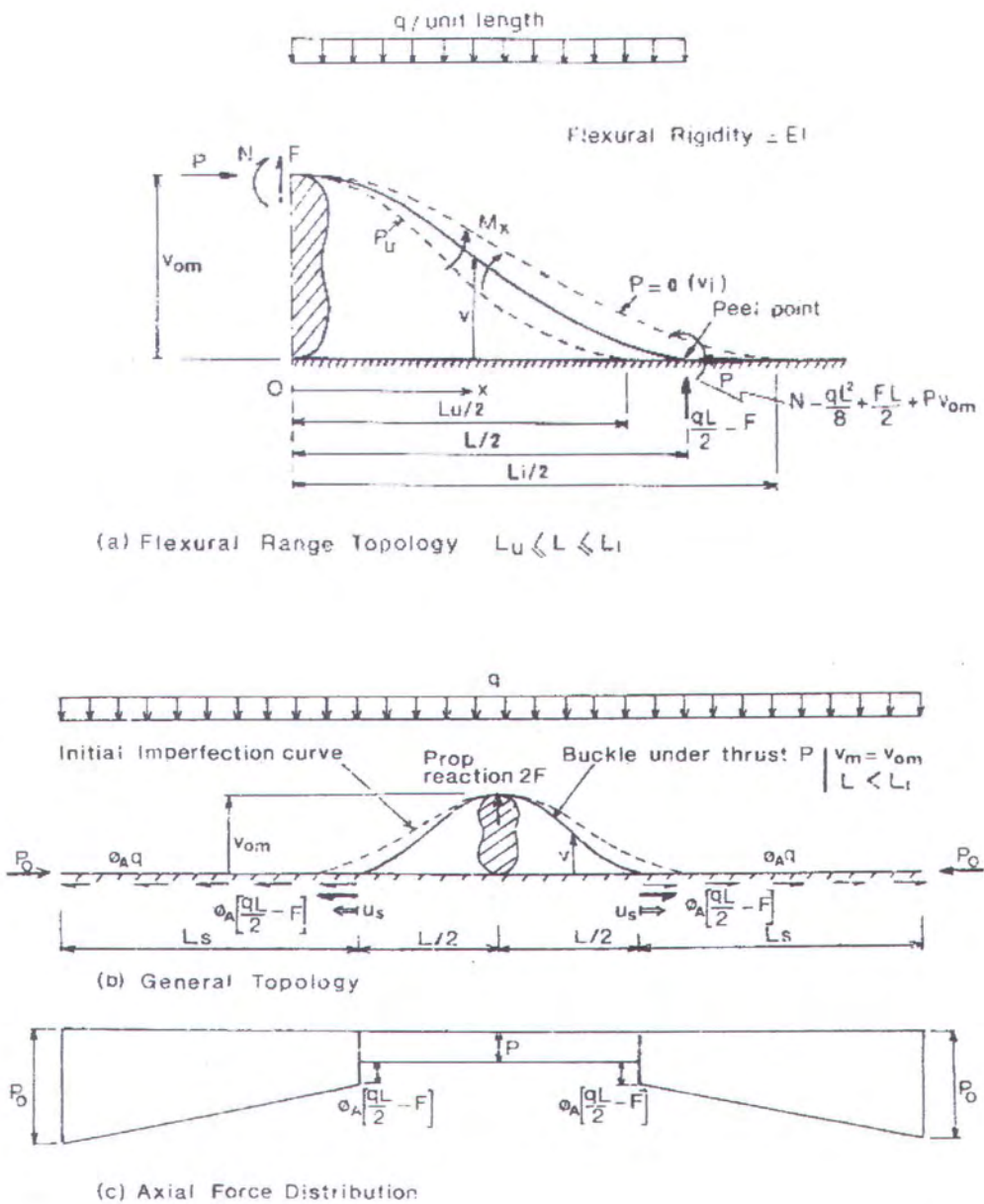
dimana :

- M_x : momen bending
- P : tekanan pada saat upheaval
- u_{om} : tinggi kelengkungan awal pipa
- u : displasemen pipa secara vertikal
- q : berat pipa sendiri
- L_i : panjang pipa yang mengalami kelengkungan awal
- F_i : tegangan geser pada puncak kelengkungan pipa
- x : jarak koordinat pipa secara horizontal

pada keadaan awal ini pipa berada dalam keadaan tidak berisi hidrokarbon.

2.2.2. Keadaan Sebelum Terjadinya Upheaval

Topologi pipa diperoleh pada tekanan aksial awal yang bekerja. Besarnya tekanan aksial adalah konstan sepanjang panjang gelombang pipa $L_u \leq L \leq L_i$. Besarnya berat pipa sendiri q , perlu dipertimbangkan untuk saluran pipa yang berisi hidrokarbon.



Gambar 2.4. Sebelum terjadinya upheaval, ketidaksempurnaan secara detail dari topologi pipa

Menurut Taylor, N. dan Tran, V. (1993), argumentasi di atas mengacu ke arah di mana adanya hubungan ketidakteraturan *momen-curvature*.



$$\frac{M_x}{EI} = v_{xx}' - v_{ixx}' \quad (2.11)$$

M_x : Bending momen pada x, $0 \leq x \leq L/2$

v : Displacement pipa secara vertical

Dengan kondisi batas :

$$v|_{L/2} = v_x|_{L/2} = v_{xx}'|_{L/2} = v_x|_0 = 0 \quad (2.12)$$

Dengan adanya momen bending pada titik di bagian kulit pada kelengkungan melintang sama dengan nol maka momen bending M_x , dapat dirumuskan melalui persamaan berikut:

$$M_x|_{L/2} = EIv_{xx}'|_{L/2} - EIv_{ixx}'|_{L/2} = -EIv_{ixx}'|_{L/2} \quad (2.13)$$

$$M_x = P(v_{om} - v) + N + Fx - \frac{qx^2}{2} \quad (2.14)$$

Manipulasi dari persamaan (2.6), (2.11), (2.12), dan (2.14) akan menghasilkan persamaan karakteristik:

$$\frac{L_i}{L} = \frac{5.8259}{nL} \left[\frac{\left(4 - \frac{(nL)^2}{4}\right) \cos(nL/2) + 2nL \sin(nL/2) - 4 - \frac{(nL)^2}{4}}{\cos(nL/2) - 1} \right]^{1/4} \quad (2.15)$$

dimana

$$n^2 = P/EI \quad (2.16)$$



$$v = q(-2 \cos n(L/2 - x) + k_1 \sin n(L/2 - x) - n^2 x^2 + k_2 nx + k_3) \quad (2.17)$$

dimana:

$$k_1 = \frac{nL}{3} \left(\frac{L_i}{L} - 3 \right) + \frac{nF}{q} \quad (2.18)$$

$$k_2 = k_1 + nL \quad (2.19)$$

$$k_3 = \frac{(nL_i)}{1152} + 2 \cos(nL/2) - k_1 \sin(nL/2) \quad (2.20)$$

dengan gaya geser pada puncak F , diekspresikan sebagai berikut:

$$\frac{F}{EI} = (-v'_{xxx}|_0) - (-v'_{xxx}|_0) \quad (2.21)$$

$$\frac{F}{EI} = \frac{q}{EI(1 - \cos(nL/2))} \left[2 \sin(nL/2) + \left(\frac{nL_i}{3} - nL \right) \cos(nL/2) - \frac{nL_i}{3} \right] \quad (2.22)$$

Secara umum bending momen diberikan dalam persamaan sebagai berikut:

$$M_x = P(v_{om} - v) + \frac{q}{n^2} \left(k_3 + \frac{L_i^2}{24} - \frac{(nL_i)^4}{1152} - 2 \right) + Fx - \frac{qx^2}{2}, \quad M_x \leq N \quad (2.23)$$

dimana:

M_x : momen bending



- P : tekanan pada saat upheaval
- v_{om} : tinggi kelengkungan awal pipa
- v : displasemen pipa secara vertikal
- q : berat pipa sendiri
- L_i : panjang pipa yang mengalami kelengkungan awal
- F : tegangan geser pada puncak kelengkungan
- x : jarak koordinat pipa secara horizontal
- n^2 : P/EI

Setelah terbentuk/mapan *buckling force* P , dalam panjang gelombang L dan amplitudo $v_m = v|_0$, perlu pencocokan antara keseimbangan pipa secara membujur dalam hubungan *buckle force* P akibat adanya temperature yang bekerja. Hal ini diperlukan untuk mencatat topologi sistem dan distribusi kekuatan di sekitar sumbu axis pipa.

2.2.3 Keadaan Upheaval Pada Pipeline

Di atas telah dinyatakan adanya hubungan antara *moment-curvature* yang berhubungan dengan efek ketidaksempurnaan dari curvature awal. Apabila terjadi penggabungan stress antara persamaan (2.10) dan (2.11), stress berdasarkan perkiraan akan memiliki hubungan $M_i = EI v''_{ix}$ maka solusi yang ideal, menurut Boer, S et al (1986) dan Ju, G.T. & Kyriakides (1988) adalah:



$$P_u = 80.76 \frac{EI}{L_u^2} = P_{qi} \quad (2.24)$$

$$L_u = 4.5174 \left(\frac{v_{om} EI}{q} \right)^{1/4} = L_{|P_{qi}} = 0.775 L_i \quad (2.25)$$

dimana:

- L_i : panjang pipa dengan kelengkungan awal
- P_u : tekanan pipa pada saat upheaval
- L_u : panjang pipa pada saat upheaval
- E : modulus elastisitas pipa
- I : momen inersia pipa
- v_{om} : tinggi kelengkungan awal pipa
- q : berat pipa sendiri

Persamaan di atas secara efektif dapat diterapkan dalam model penumpu sebelumnya, ketika pipa dalam keadaan lurus memiliki displacement v_{om} yang di dalam pipa tersebut bekerja beban dalam q dan tekanan P_u , hal ini didorong oleh studi yang ideal dimana pipa mengalami gangguan atau didorong kedalam moda buckling pada saat amplitude $v_m |_{P_{qi}} \equiv v_{om} |_{P_{qi}}$.

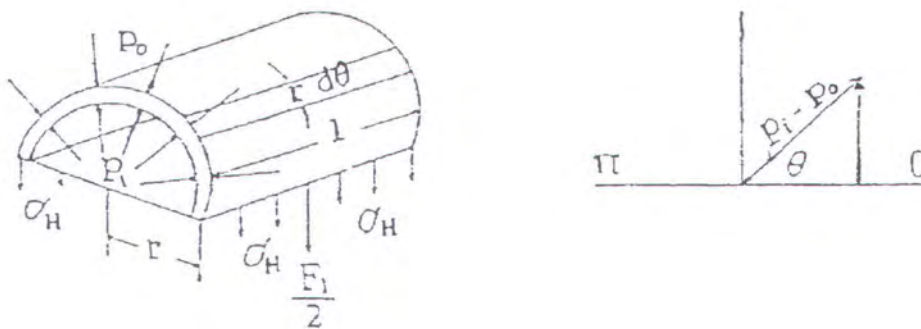
2.2.4 Tegangan Yang Bekerja Pada Buried Pipeline

Tekanan operasional maupun hidrotest dan kelengkungan yang terbentuk akibat geografis permukaan dasar laut akan mengakibatkan terjadinya

tegangan yang akan mempengaruhi struktur desain dari pipa. Ada dua tegangan yang terjadi karena pengaruh tekanan dan temperatur yaitu tegangan tangensial hoop stress pada dinding pipa dan kedua adalah tegangan aksial (longitudinal stress).

2.2.4.1 Tegangan Tangensial

Tegangan yang bekerja pada dinding pipa dapat berupa gaya tekan dan gaya tarik, tergantung pada besarnya tekanan luar dan tekanan dalam. Formula untuk menghitung hoop stress dapat diturunkan dengan mempertimbangkan statis pada sebuah pipa yang dikenai kedua tekanan, tekanan luar dan tekanan dalam serta mempertimbangkan pipa sebagai membran elemen dan dianggap harga tegangan sepanjang pipa konstan.



Gambar 2.5 Penampang pipa yang dikenai tekanan dari luar dan dalam

Dari diagram bebas di atas untuk elemen gaya (F_1) dapat diekspresikan sebagai $(P_i - P_o) r t \theta \sin \theta$.



Total gaya normal adalah jumlah dari elemen gaya pada setengah lingkaran atau dari 0 hingga π .

$$F_i = \int_0^{\pi} (P_i - P_o) l r d\theta \sin \theta \quad (2.26)$$

$$F_i = (P_i - P_o) l r \int_0^{\pi} \sin \theta d\theta$$

$$F_i = (P_i - P_o) l d$$

$$\pi_H = \frac{F l}{2 t l} \quad (2.27)$$

dari persamaan (2.27) dan persamaan (2.26) diperoleh:

$$\sigma_H = \frac{(P_i - P_o) d}{2 t}$$

tetapi pada umumnya rumus yang digunakan adalah rumus barlow, yaitu:

$$\sigma_H = \frac{(P_i - P_o) D_o}{2 t} \quad (2.28)$$

dimana:

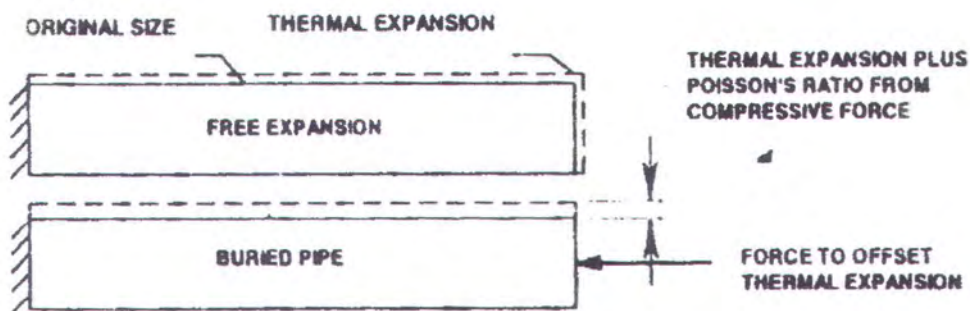
- F_i : total gaya normal
- P_i : tekanan dalam
- P_o : tekanan luar
- D_o : diameter luar pipa
- t : tebal pipa

2.2.4.2 Tegangan Aksial (Longitudinal Stress)

Tekanan aksial/tegangan longitudinal pada pipa lepas pantai dipengaruhi oleh internal thermal, tekanan dan pengaruh kelengkungan. Pengaruh tersebut akan menyebabkan terjadinya tegangan longitudinal pengaruh thermal (σ_{LT}), tegangan longitudinal pengaruh tekanan (σ_{LP}), tegangan longitudinal akibat pengaruh kelengkungan (σ_{LB}). Formula tegangan-
tegangan tersebut adalah sebagai berikut:

- Tegangan yang diakibatkan oleh internal temperatur

Di dalam tanah pipa akan tertahan dan tidak dapat mengalami pengembangan secara aksial. Sehingga menghasilkan tegangan tekan. Tegangan tekan yang terbentuk di dalam pipa yang panas sama dengan tegangan yang disebabkan oleh gaya yang diperlukan oleh pipa untuk menekan pipa dalam keadaan bebas (*unrestrain*) kembali ke bentuk awal seperti pipa sebelum mengalami pemanasan (Grigory C.S. & Smith.Q M., 1996). Seperti diilustrasikan pada gambar 2.6 berikut ini.



Gambar 2.6. Ilustrasi efek thermal ekspansi pada buried pipeline



Tegangan tekan yang ditimbulkan oleh thermal expansion pada pipa yang terpendam di dalam tanah akibat dari fluida yang ditransportasikannya memiliki suhu lebih besar bila dibandingkan dengan suhu lingkungan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

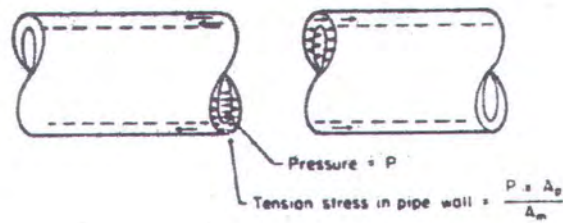
$$\sigma_{TE} = -A_x \alpha E \Delta T \quad (2.29)$$

Di mana:

- A : Luas permukaan pipa
- E : Modulus elastis pipa
- ΔT : perbedaan temperatur
- ΔT : $T_o - T_l$
- T_o : temperatur operasi
- T_l : temperatur lingkungan
- α : koefisien thermal ekspansion

- Tegangan yang diakibatkan oleh internal pressure

Beban dari internal pressure yang dialami oleh pipa akan menyebabkan stress pada pipa. Pressure yang bekerja akan dinetralkan pada penampang melintang pipa dengan tekanan pada dinding pipa (Smith, Paul .R and Van Laan, T 1987). Ilustrasi ini dapat ditunjukkan pada gambar berikut ini:



Gambar 2.7. Beban internal pressure pada pipa

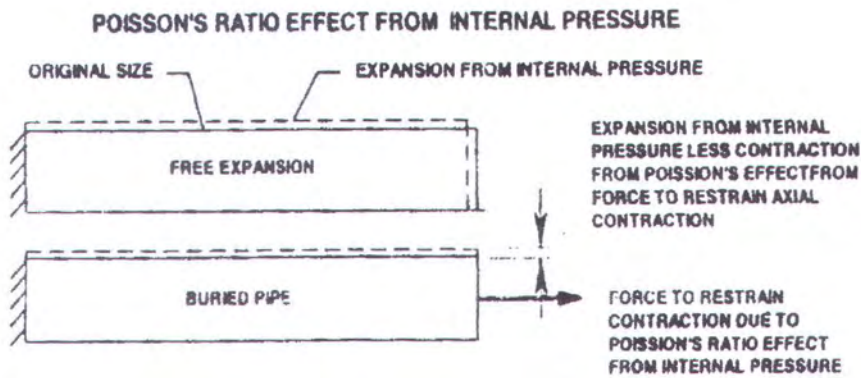
Dengan tegangan pada penampang melintang pipa sebesar:

$$p(A_p) - (pA_p / A_m)A_m = 0 \quad (2.30)$$

Dimana:

- p : internal pressure psi (kPa)
- A_p : luasan bagian dalam pipa in² (mm²)
- A_m : luasan metal pipa in² (mm²)

Tegangan aksial pada pipa yang terpendam di dalam tanah akan mengalami tegangan tarik yang berasal dari efek poisson ratio yang diakibatkan oleh internal pressure. Konsep poisson ratio dapat diilustrasikan oleh perentangan sebuah batang (bar) dengan jarak d. Batang tersebut akan menyusut dalam arah 90⁰ ke arah perentangan. Untuk baja penyusutan sama dengan 0,3 kali dari jumlah perentangan, d. Seperti pada efek thermal expansion proses perentangan ini akan ditahan, sehingga tegangan tarik akan terbentuk yang besarnya sama dengan gaya yang ditimbulkan oleh gaya yang diperlukan oleh baja yang telah merentang untuk kembali keposisi semula (Grigory C.S. & Smith.Q M., 1996) . Efek internal pressure diilustrasikan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Ilustrasi efek internal pressure pada buried pipeline

- Tegangan yang diakibatkan oleh bending stress

Akibat jalur geometri dari topografi di dasar laut, saluran pipa akan mengalami kelengkungan secara horizontal dan arah vertikal yang akan mengakibatkan tegangan longitudinal akibat pengaruh kelengkungan atau bending pada pipa.

Axial stress juga akan muncul dari aksial bending dan pembebanan aksial pada pipeline. Hubungan aksial stress yang terjadi pada pipeline merupakan penjumlahan dari bending stress, *plan strain tensile stress* dan *thermal expansion compression stress*.

Besarnya resultan momen akibat adanya kelengkungan awal pipa tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$MR = EI \left[\frac{1}{R_H^2} + \frac{1}{R_V^2} \right] \quad (2.31)$$



dimana:

MR : resultan momen bending

E : modulus young

I : momen inersia

Berdasarkan DNV-1976 Apendix B Longitudinal stress akibat bending tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma_{LB} = \pm \frac{4EI \left[\frac{1}{R_H^2} + \frac{1}{R_V^2} \right]^{0.5}}{\pi t (D_o - t)^2} \quad (2.32)$$

dimana:

σ_{LB} : tegangan aksial/longitudinal stress akibat bending

D_o : diameter dalam

t : ketebalan pipa

R_H : radius horizontal

R_V : radius vertikal

Untuk total longitudinal stress akibat adanya pengaruh thermal, tekanan dan bending adalah sebagai berikut:

$$\sigma_L = \sigma_{LT} + \sigma_{LP} + \sigma_{LB} \quad (2.33)$$

σ_L : Tegangan longitudinal total



- σ_{LT} : tegangan longitudinal pengaruh thermal
- σ_{LP} : tegangan longitudinal pengaruh tekanan
- σ_{LB} : tegangan longitudinal pengaruh bending

2.2.5 Buckling

Parameter utama yang digunakan dalam menentukan terjadi/tidaknya buckling dalam hal ini dengan menggunakan tegangan kritis, P_{critis} . Apabila beban yang diterima pipa baik secara aksial ditambah torsional tidak melebihi beban yang sudah ditentukan (P_{crit}), maka sudah tentu pipa yang akan dianalisa tersebut tidak mengalami buckling.

Terdapat dua jenis tipe terjadinya buckling di mana kedua tipe tergantung pada besarnya Rasio Silinder efektif (SR) dan Rasio Silinder kolom (C_c) (Bleich, 1952). Rasio silinder kolom (C_c) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$C_c = \pi \left(\frac{2E}{F_y} \right)^{0.5} \quad (2.34)$$

Untuk perhitungan Slenderness Ratio (Ratio Kerampingan)

$$SR = \frac{KL_E}{r} \quad (2.35)$$

$$r = \left(\frac{I}{As} \right)^{0.5} \quad (2.36)$$



$$I = \frac{\pi(D_o^4 - D_i^4)}{32} \quad (2.37)$$

$$A_s = \frac{\pi(D_o^2 - D_i^2)}{4} \quad (2.38)$$

Dimana:

D_o : Outside Diameter

D_i : Inside Diameter

E : Modulus Elastisitas

F_y : Tegangan Yield

r : Jari-jari girasi

I : Momen Inersia

A_s : Luas Penampang

L_e : Panjang pipa efektif

K : Faktor panjang efektif yang tergantung pada pengekang ujung

Dimana:

$K= 1$ untuk kedua ujung sendi tergerak lateral

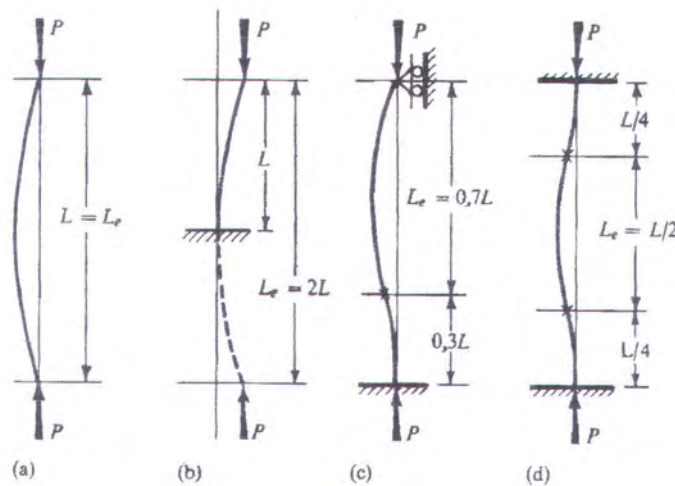
$K= 0.5$ untuk ujung jepit

$K= 0.7$ untuk ujung sendi dan jepit

$K= 2.0$ untuk ujung jepit ujung yang lain bebas

2.2.6 Buckling Elastis Pada Kolom Lurus Akibat Beban Aksial

Tinjauan yang akan dibahas adalah tentang kolom elastis dengan cross section area yang konstan, lurus dan sempurna. Kolom tersebut diberikan gaya sebesar P yang dikenakan di natural axis dari pipa tersebut. Gaya yang bekerja secara transversal yang dihasilkan oleh tegangan aksial P , akan menghasilkan momen m_x pada point x , secara lebih jelasnya dapat digambarkan seperti berikut. (Popov, 1991).



Gambar 2.9 Panjang efektif kolom dengan pengekang yang berlainan

Maka total bending momen yang didapat adalah:

$$M_z = P_y + m_z \quad (2.39)$$

Dengan mengasumsikan bahwa terjadi sedikit lendutan y , maka persamaan diferensial dari kelengkungan elastik kolom yang terdefleksi adalah :



$$EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + Py + mx = 0 \quad (2.40)$$

Maka didapatkan suatu teori di mana kasusnya adalah kolom yang bebas berotasi pada ujung-ujungnya. Dan mx disebabkan oleh beban transversal terpusat Q yang bekerja pada kolom dengan catatan:

$$mx = Qx / 2 \quad (2.41)$$

$$\alpha = \sqrt{P/EI} \quad (2.42)$$

Persamaannya adalah :

$$y = \frac{mx}{P} \left[\frac{\sin \alpha x}{\alpha x \cos \frac{\alpha l}{2}} - 1 \right] \quad (2.43)$$

Persamaan (2.40) dapat diselesaikan dengan menurunkan persamaan (2.39) selama momen pengganggu mx tidak sama dengan nol maka untuk tegangan aksial P yang bernilai kecil, nilai faktor $\cos(\alpha l / 2)$ pada persamaan (2.40) hanya sedikit berbeda dari keadaan semula, tetapi untuk P yang meningkat maka nilai dari $(\alpha l / 2)$ akan mendekati nilai $\pi/2$. Sehingga nilai y akan meningkat sampai nilai αl mendekati nilai π , hal ini akan meningkatkan ambang batas. Kolom tersebut lama kelamaan akan mengalami buckling.

Dengan $\alpha l = \sqrt{P/EI} = \pi$ maka persamaan Euler untuk batasan kritis P_E untuk beban buckling adalah:

$$P_E = \frac{\pi^2 EI}{l^2} \quad (2.44)$$





untuk kasus di mana momen penyangga hilang $m_x=0$ maka persamaan (2.39) akan menurunkan sehingga nilai y adalah sama dengan nol untuk semua nilai P . Kolom akan selalu dalam keadaan lurus. Disamping penyelesaian yang biasa, ada sistem yang disebut penyelesaian karakteristik.

$$y = C \sin n \frac{\pi x}{l} \quad (2.45)$$

termasuk ke dalam ini nilai karakteristik dari $P_E = \frac{n^2 \pi^2 EI}{l^2}$, di mana n adalah interger dari c adalah konstan. Dari persamaan tersebut, nilai paling kecil didapat dengan nilai $n=1$, $P=P_E$ dan penyelesaian $P = 0$ dengan hilangnya momen pengganggu maka kolom akan selalu dalam keadaan lurus pada semua nilai dimana $P < P_E$, sedangkan pada saat nilai $P=P_E$ maka kolom akan bengkok membentuk kelengkungan sinusoidal dengan amplitudo adalah C . Sehingga persamaan Euler dapat didefinisikan sehingga beban yang paling kecil yang dapat menjaga kolom tetap membentuk tekukan yang sedikit. Sehingga persamaan Euler dapat didefinisikan sebagai beban yang paling kecil yang dapat menjaga kolom tetap membentuk tekukan yang sedikit.

Untuk struktur yang terbebani secara terpusat akan mempunyai perilaku seperti di bawah ini.

- Jika kolom menderita beban aksial sebesar P yang lebih kecil daripada beban kritis P_E , maka kolom akan selalu lurus.



- Jika ditambahkan momen pengganggu m_x , maka struktur tersebut akan melengkung dan persamaan kelengkungannya diberikan pada persamaan (2.40)
- Jika momen m_x dihilangkan, maka kolom akan kembali lagi ke bentuk posisi lurus.
- Eksternal force dan internal force dianggap dalam keadaan setimbang.
- Jika beban transversal dihilangkan, adanya lendutan, beban P sama dengan P_E , sedikit momen pengganggu akan cukup untuk menyebabkan lendutan yang cukup besar terhadap kolom, di mana lendutan ini akan kembali ke keadaan semula meskipun momen pengganggu sudah dihilangkan.

Persamaan-persamaan yang digunakan di atas adalah persamaan yang digunakan untuk mendekati nilai yang sebenarnya, untuk mendapatkan nilai yang benar kita dapat melakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut:

$$\frac{EI}{\rho} = -M_x \quad (2.46)$$

dimana ρ adalah radius kelengkungan yang mengalami gangguan aksis dari kolom dan nilai y_m untuk lendutan di tengah-tengah kolom tanpa beban transversal adalah:



$$Y_m = \frac{2I}{\pi} \sqrt{\frac{P_E}{P}} \left[\sqrt{\frac{P}{P_R} - 1} \right] \quad (2.47)$$

untuk nilai $P > P_E$, maka nilai dari Y_m adalah imajiner, sehingga tidak ada defleksi yang sebenarnya, dan kolom akan tetap dalam keadaan lurus. Ketika $P = P_E$ maka $Y_m = 0$, dan kolom sama sekali tidak mengalami gangguan. Hanya jika dalam keadaan $P > P_E$ akan terjadi lendutan yang dapat diukur besarnya, maka dengan meningkatnya nilai P mendekati nilai P_E akan ada sebab yang mengakibatkan terjadinya defleksi, meskipun nilai P_E hanya sedikit, defleksi akan membahayakan struktur tersebut.

Dari pernyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa pada saat $P = P_E$ maka kondisi ini adalah kondisi di mana kolom tersebut dalam keadaan lurus, namun sedikit saja diberikan momen pengganggu pada kolom tersebut akan mengakibatkan lendutan yang besar atau dengan kata lain setelah nilai dari beban buckling Euler dicapai perilaku dari kolom menjadi tidak menentu atau secara ekstrem dapat dikatakan sedikit gangguan pada struktur ini dapat mengakibatkan kegagalan dari struktur tersebut.

Selanjutnya kita lebih menitik beratkan untuk menghitung nilai P_E (beban kritis) pada perilaku dalam kolom tersebut berubah. Untuk lebih detilnya kita menentukan kondisi awal terjadinya buckling tetapi tidak mengindahkan kejadian buckling itu sendiri. Hal ini dilakukan untuk mempermudah analisa yang dilakukan untuk sebuah kolom yang dapat



mengalami kegagalan. Sehingga kita dapat menggunakan persamaan dasar dari persamaan diferensial untuk menghitung nilai-nilai kecil dari defleksi (y).

$$EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + Py = 0 \quad (2.48)$$

Ketika beban kritis sudah tercapai, akan terjadi dua kemungkinan posisi yang dapat menimpa struktur ini, yaitu:

1. Bentuk lurus
2. keadaan dimana terjadi defleksi yang nilainya kecil sekali (*infinitesimal*)

dua keadaan di atas dapat dikatakan sebagai keadaan instabilitas.

Dengan menggunakan persamaan (2.44) yang dibagi dengan daerah *cross sectional* dan mengganti momen inersia I dengan Ar^2 , r adalah jari-jari girasi maka persamaannya menjadi:

$$\frac{PE}{A} = \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2} \quad (2.49)$$

dimana L/r adalah slenderness ratio.

Persamaan (2.40) hanya berlaku apabila:

1. Modulus elastisitas E tidak berubah nilainya seperti sebelum terjadinya buckling



2. hanya berlaku selama P_E/A berada di bawah batas elastisitas bahan tersebut pada kelengkungan stress strain
3. Kondisi batas harus berada pada batas-batas elastis dari buckling dan batas validitas dari persamaan ini juga tergantung pada slenderness ratio batas yang tergantung dari propertis material kolom tersebut.

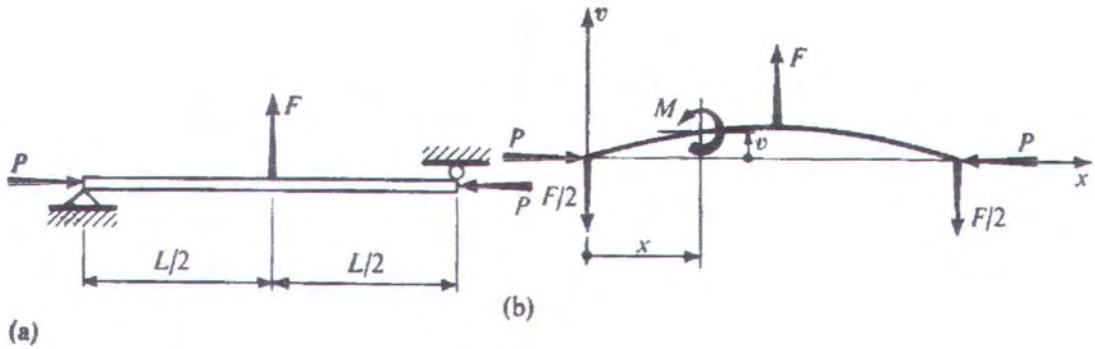
Persamaan (2.49) dapat dituliskan menjadi bentuk umum dengan menggunakan simbol σ_c (*Critical Stress*) untuk P_c / A (P_c adalah beban kritis atau beban buckling).

$$\sigma_c = \frac{\pi^2 E}{(kL/r)^2} \quad (2.50)$$

Dimana k adalah faktor dimensional yang diindikasikan dengan pengaruh kondisi akhir sampai beban kritis, kL disebut juga panjang efektif atau panjang dari ujung ke ujung.

2.2.7 Perhitungan Defleksi Maksimum Pipa

Untuk mengetahui berapa besarnya lendutan yang dialami oleh pipa yang disebabkan oleh beban aksial yang diberikan dapat dilihat dengan menggunakan persamaan berikut (Popov, 1991).



Gambar 2.10. a).Beban aksial P dan beban transversal ke atas F pada tengah bentangan
 b).Diagram bendabebas untuk balok-kolom berdefleksi

Syarat-syarat batas membentuk persamaan defleksi adalah sebagai berikut:

$$EIv'' = M - Pv - (F/2)x \quad (2.51)$$

$$EIv'' + Pv - (F/2)x \quad (2.52)$$

Persamaan diferensial yang dipakai adalah:

$$\frac{d^2V}{dx^2} + \lambda^2 V = -\frac{\lambda^2 Fx}{2P} \quad (2.53)$$

Dengan membagi ruas kanan dengan $\lambda^2 \left(\frac{P}{EI} \right)$ penyelesaiannya menjadi

$$v = C_1 \sin \lambda x + C_2 \cos \lambda x - (F/2P)x \quad (2.54)$$

Tetapan C1 dan C2 di dapat dari sarat batas $v(0) = 0$ dan syarat simetri

$$v'(L/2) = 0$$

Maka:

$$C_2 = 0$$



$$C_1 = \frac{F}{2P\lambda \cos(\lambda L / 2)}$$

Dengan memasukkan syarat batas tersebut maka persamaan yang menentukan defleksi kolom adalah :

$$v = \frac{F}{2P\lambda} \frac{1}{\cos \lambda L / 2} \sin \lambda x - \frac{F}{2P} x \quad (2.55)$$

Dengan memasukkan nilai $x = L / 2$ dengan asumsi defleksi maksimum yang terjadi di tengah pipa maka persamaan defleksi maksimum pipa adalah:

$$V_{\max} = \left[\frac{F}{2P\lambda} \right] (\tan \lambda L / 2 - \lambda L / 2) \quad (2.56)$$

dimana :

V_{\max} : defleksi maksimum

F : gaya berat pipa

P : beban aksial

L : panjang pipa

2.2.8 Buckling Pada Pipa

Buckling pada pipa dapat didefinisikan sebagai perataan (*flattening*) atau berubahnya bentuk pipa menjadi oval. Jika pipa tidak bocor, maka kejadian ini dikatakan *dry buckle* dan jika pipa bocor dan dipenuhi oleh air dikatakan sebagai *wet buckle*.



DnV (1976) dalam Mousselli (1981) memberikan rumusan dalam menghitung tekanan kritis *buckle* sebagai berikut :

$$P_c = 2 \sigma_e \frac{t}{D} \text{ untuk } \sigma_e \leq \frac{2}{3} Y \quad (2.57)$$

$$P_c = 2Y \frac{t}{D} \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2Y}{3\sigma_e} \right)^2 \right] \text{ untuk } \sigma_e \geq \frac{2}{3} Y \quad (2.58)$$

Keterangan :

$$\sigma_e : \sigma_e = E \left(\frac{t}{D-t} \right)^2$$

Y : *Yeild Stress* pipa (sama dengan 0.005 *strain*)

Untuk memprediksi tekanan kegagalan pipa yang terkait dengan beban kombinasi seperti tekanan, gaya aksial dan momen bending, DnV memberikan rumusan berikut ini :

$$\left(\frac{M}{M_c} \right)^\alpha + \frac{P}{P_c} = 1 \quad (2.59)$$

Keterangan :

M_c : Momen bending kritis ketika $P = 0$

P_c : Tekanan luar kritis ketika $M = 0$

$$\alpha = 1 + \frac{300}{D/t} \frac{P}{P_c}$$

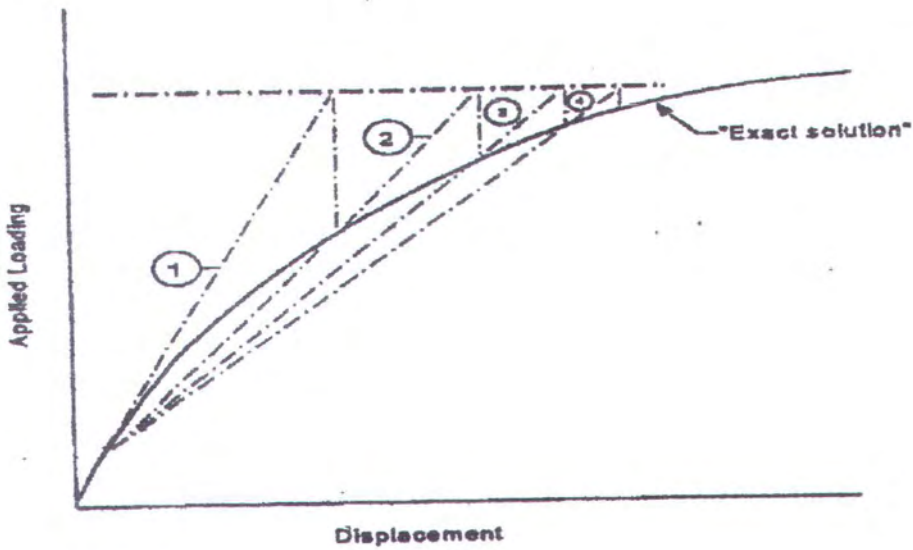


2.2.9 Analisa Nonlinear

Tinjauan dalam melakukan beberapa analisis apakah sebuah struktur tersebut akan mengalami perilaku nonlinear analisis atau tidak bergantung pada perilaku struktur, material dan perilaku lain yang menjadikan sebuah struktur dapat dianalisa secara nonlinear.

Beberapa nonlinear material ditunjukkan oleh perilaku material dalam tegangan yang kecil. Beberapa efek dari nonlinear dapat terjadi secara simultan dalam sebuah analisis. Analisis dapat menjadi statis, *quasi static (creep)* atau *transient dynamic*.

Perumusan Newton Raphson didasarkan pada *tangent stiffness* yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan nonlinear yang disebabkan adanya nonlinear material. Teknik ini digambarkan pada gambar 2.11. Pada gambar respon yang bernilai *exact* digambarkan melalui garis sambung dan setiap iterasi dari persamaan nonlinear digambarkan dengan garis putus-putus. Iterasi ini berlangsung sampai terjadi konverginitas atau banyak iterasi yang ditentukan sebelumnya telah tercapai.



Gambar 2.11. prosedur iterasi dalam analisa nonlinear

2.2.10 Tegangan Ijin

Untuk mengetahui suatu tegangan yang mampu diterima pipa dari beban bending dan gaya aksial pada persamaan (2.33) di atas selama menerima beban internal pressure dan internal temperatur perlu didefinisikan tegangan equivalent (*intensity of stress*). Tegangan ijin yang diperbolehkan berdasarkan DNV 1996 adalah:

$$\sigma_e \leq \eta \cdot \text{SMYS}$$

$$\sigma_l \leq \eta \cdot \text{SMYS}$$

dimana:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_l^2 - \sigma_h \cdot \sigma_l + 3 \cdot \tau_{lh}^2} \quad (2.60)$$

$$\sigma_l = \text{Tegangan longitudinal}$$



η = Faktor untuk cek tegangan equivalent

τ_{th} = Tangensial shear stress

Tabel 2.1 Faktor untuk cek tegangan equivalent (DNV 1996)

Material requirement	Safety class		
	Low	Normal	High
Normal	0.96	0.87	0.77
Fulfilling C404	1.00	0.90	0.80

Berdasarkan DNV 1996 tegangan yang diterima pipa perlu dibandingkan dengan tegangan ijin. Pada dasarnya perbandingan ini dapat digunakan untuk menentukan batasan tegangan dan tingkat yang membahayakan di daerah kritis pipa pada saat beroperasi.

2.2.11 Ovalitas

Ovalitas pipa adalah kerusakan bentuk penampang melintang geometri pipa. Dalam kejadian ini penampang melintang pipa dapat berubah menjadi bentuk elips. Untuk menilai besarnya ovalitas pada cross section pipeline kita menggunakan pendekatan perhitungan ovalitas berdasarkan teori dinding tipis (Goldenveiser A.L. 1965 dalam Tcherni V.P and Kharionovsky V.V 1996). Kelengkungan pipa dapat mengakibatkan ovalitas pada pipa. Ovalitas pipa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:



$$\theta = [(d_{\max} - d_{\min}) / d_{\text{rat}}] * 100\% \quad (2.61)$$

$$\theta \leq 2\% \quad \text{Berdasarkan DNV 1996}$$

dimana:

θ : ovalitas

d_{\max} : diameter maksimum

d_{\min} : diameter minimum

d_{rat} : diameter rata-rata



BAB III

METODE PENELITIAN



BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang mempunyai validitas, dalam penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan dengan metode atau langkah-langkah pelaksanaan penelitian yang terstruktur, selain itu perlu pula didukung dengan pengetahuan yang harus dikuasai mengenai hal yang bersangkutan dengan apa yang akan diteliti tersebut.

Garis besar dari penyusunan Tugas Akhir ini meliputi langkah-langkah sebagai berikut:

1. Identifikasi masalah

Di lapangan *marginal field* banyak sekali penggunaan pipeline untuk mentransportasikan hidrokarbon dengan internal pressure dan internal temperatur yang tinggi dari *wellhead* satu ke *wellhead* yang lain. Hal ini tentu akan menyebabkan perubahan kedudukan pada pipeline dan akan menyebabkan kegagalan pada struktur pipa. Perubahan kedudukan ini dipicu pula oleh kelengkungan awal yang dialami oleh pipeline sehingga memberi dampak yang cukup berarti terhadap terjadinya upheaval buckle.



2. Studi literature

Studi literatur dilakukan dengan mengambil bahan acuan teori baik dari buku literature, jurnal dan bahan bacaan yang berkaitan dengan pengaruh internal pressure dan internal temperature terhadap upheaval buckle pada pipa.

3. Penyiapan data-data

Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data-data yang berkaitan dengan property material pipa dan besarnya beban yang diterima oleh pipeline yaitu internal pressure dan internal temperature baik pada keadaan normal maupun maksimum yang bekerja pada pipa serta kelengkungan awal (*radius curvature*) dari pipa saat di instalasi.

4. Perangkat lunak

Untuk menganalisa permasalahan yang dialami oleh pipeline ini diperlukan bantuan berupa perangkat lunak untuk memudahkan dalam menganalisa pengaruh yang ditimbulkan oleh internal pressure dan internal temperatur terhadap upheaval buckle pada pipeline. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah software MSC NASTRAN.



5. Membuat permodelan

Permodelan pipeline dibuat sedemikian rupa sehingga dapat mewakili bentuk pipa sesungguhnya. Permodelan ini dibuat sesuai dengan data propertis material beserta ketebalannya yang sudah ada dengan panjang pipa yang telah ditentukan dan juga kelengkungan awal yang bervariasi yaitu pipa lurus ($v_{om} = 0$ m), $v_{om} = 0.1$ m, $v_{om} = 0.2$ m, $v_{om} = 0.3$ m dan dengan panjang pipa bervariasi sesuai dengan kelengkungan awal dari pipa. Model pipa kemudian dimeshing dan diberi konstraint. Meshing ini diperlukan untuk melihat respon yang diterima oleh pipa akibat pembebanan yang diterima oleh pipa tersebut.

6. Analisa

Setelah model dikombinasikan dengan beban yang bekerja, selanjutnya akan diketahui respon yang ditimbulkan oleh beban tersebut. Hasil ini dapat dilihat dalam bentuk gambar deformasi atau berupa print out. Dari hasil ini dapat diteliti apakah internal pressure dan internal temperature serta kelengkungan awal pada pipeline pada kondisi tertentu dapat menyebabkan upheaval bukle pada pipa dan berapa besar tegangan yang diakibatkan oleh internal pressure dan internal temperatur masih diijinkan dalam operasional pipa.

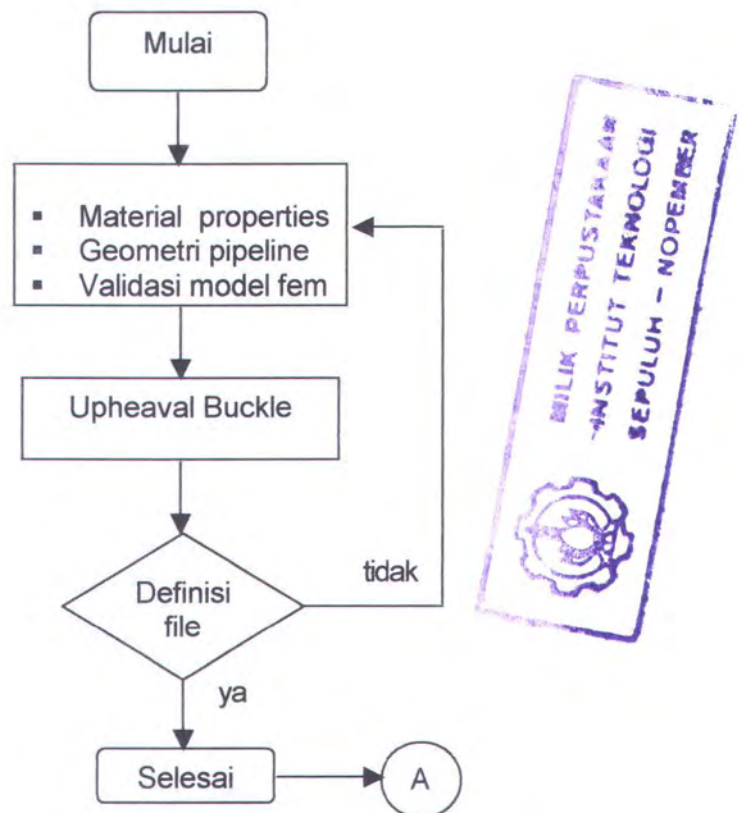
7. Kesimpulan

Dari hasil running program dan juga dari hasil analisa dapat disimpulkan beberapa hal mengenai pengaruh dari internal pressure dan internal temperatur terhadap upheaval buckle.

3.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian

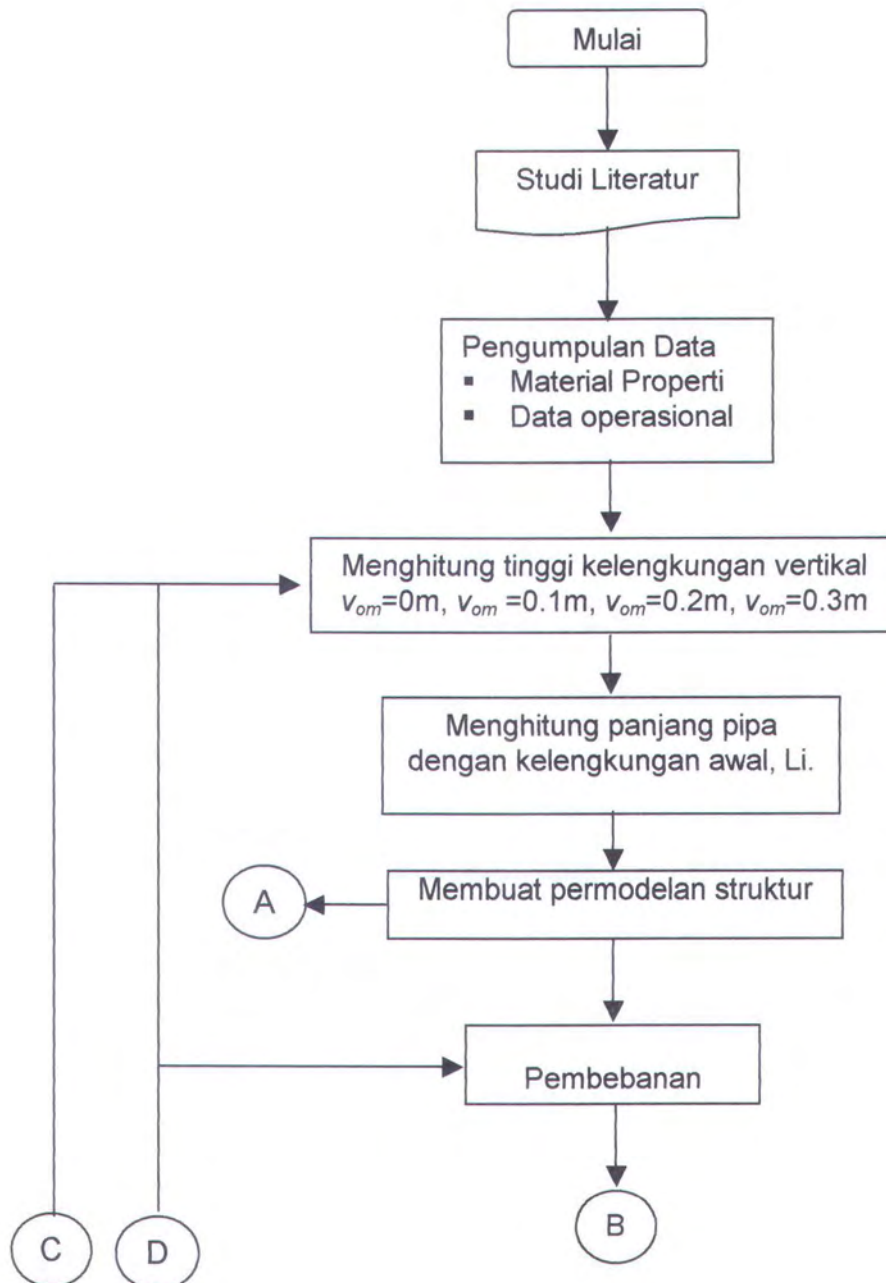
Langkah-langkah pengerjaan Tugas Akhir ini dapat disajikan dalam diagram alir (*flow chart*) berikut ini:

- Diagram alir permodelan dengan menggunakan software nastran.

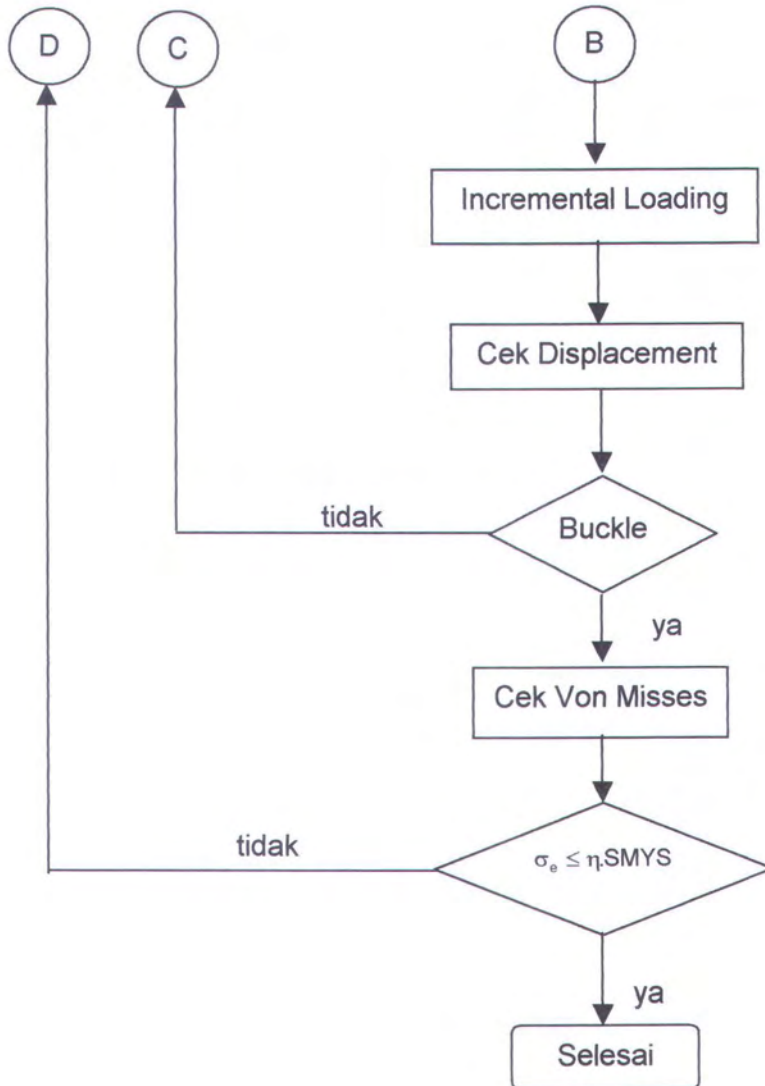


Gambar 3.1 Diagram alir permodelan dengan menggunakan software MSC Nastran

- Langkah-langkah pengerjaan Tugas Akhir ini selengkapnya adalah sebagai berikut :



Gambar 3.2 Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.2 Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan)



BAB IV
ANALISA DAN PEMBAHASAN



BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Dalam suatu pelaksanaan analisis struktur ada beberapa tahapan yang harus dilakukan yaitu permodelan struktur, analisis struktur, uji laboratorium dan yang terakhir adalah mendapatkan hasil yang diinginkan. Ketiga tahapan tersebut ada yang mutlak harus dilakukan dan ada yang bisa dihilangkan, yang mutlak dilakukan adalah permodelan sedangkan uji laboratorium tidak mutlak untuk dilakukan. Tahapan tersebut dapat dilakukan dengan jalur permodelan yang kemudian dilakukan analisis yang akan didapatkan suatu hasil, begitu pula untuk pelaksanaan dengan menggunakan uji laboratorium. Permodelan ini dapat juga dilaksanakan analisis dan uji laboratorium secara bersamaan sehingga diperoleh hasil yang lebih akurat.

Pada penyelesaian tugas akhir ini, penelitian dilakukan dengan membuat suatu model dan kemudian dianalisis, tanpa menggunakan uji laboratorium. Analisis yang digunakan berdasarkan pada metode elemen hingga (*finite element method*).

Metode elemen hingga merupakan suatu metode pemodelan dan analisis struktur yang lebih kompleks dan detail. Metode ini menjadikan bentuk



fisik model struktur sebagai suatu sistem linier yang berkesinambungan dengan jalan membagi (*discrete*) bentuk fisik struktur menjadi kelompok elemen yang lebih kecil. Elemen-elemen ini dihubungkan dengan simpul-simpul (*nodes*) sehingga menjadi suatu sistem yang kontinyu. Sebagai acuan perhitungan dalam metode elemen hingga biasanya adalah *displacement method*, yaitu perpindahan dari simpul-simpul yang dianalisis dinyatakan sebagai parameter yang belum diketahui. Struktur pipa yang dianalisis lebih kepada displacemen dan stress yang ditimbulkan akibat beban-beban yang bekerja pada struktur pipa.

4.2 Pengumpulan Data

Struktur pipa dalam tugas akhir ini merupakan struktur pipa, yang berfungsi untuk mendistribusikan gas dari satu platform ke platform lain yang berada pada ladang (*marginal field*) yang dimiliki oleh TOTAL E & P, yang sedang mengalami perbaikan berkaitan dengan fenomena upheaval buckle pada pipa oleh PT Komaritim. Peta lokasi dapat dilihat pada Lampiran I.

Adapun data-data yang dipergunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah :

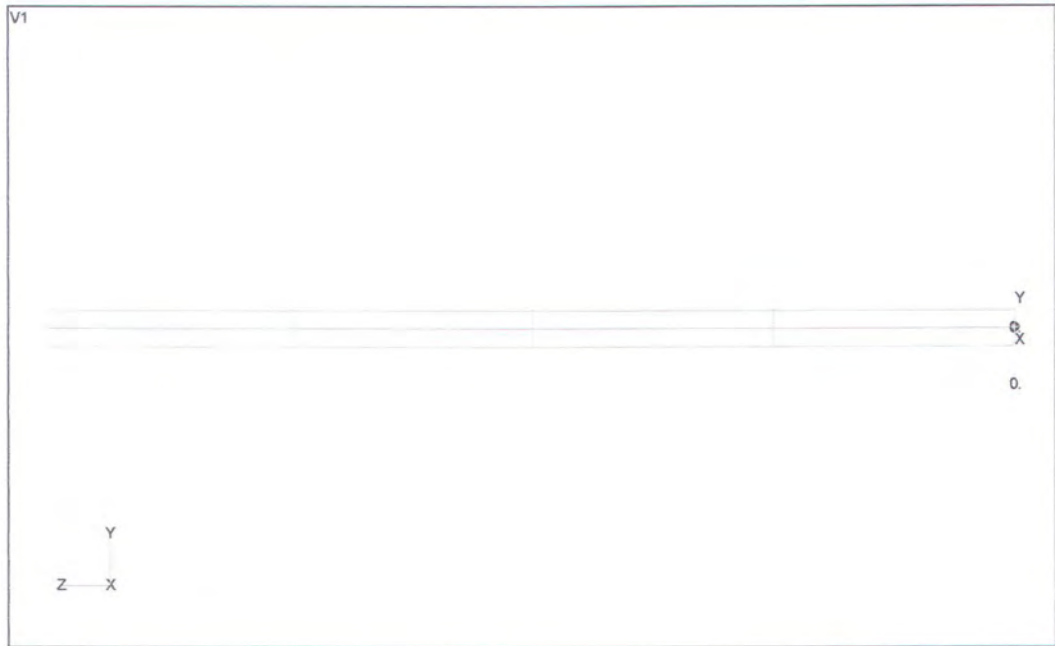
Grade	: API 5L X-52
Diameter luar pipa	: 0.4064 m



Tebal pipa	: 0.01588 m
Young Modulus	: 207000 MPa
Steel density	: 7850 kg/m ³
Poisson ratio	: 0.3
Linear thermal expansion	: 1.1 x 10 ⁻⁵ m/m °C
Pressure maksimum pada saat operasi	: 92 barg
Temperatur maksimum pada saat operasi	: 90 °C
Berat jenis fluida	: 65 kg/m ³
Coating thickness (Coaltar enamel 120/5 S)	: 5 mm
Specified minimum yield stress	: 358 MPa

4.3 Permodelan Struktur

Permodelan struktur ini dilakukan sesuai dengan data yang diperoleh. Permodelan struktur ini dilakukan dengan menggunakan bantuan software MSC Nastran. Software ini merupakan software struktur berdasarkan finite elemen method (FEM). Dalam Tugas Akhir ini struktur pipa dimodelkan dengan kelengkungan awal yang berbeda-beda. Pembuatan model struktur dimulai dengan membuat model sesuai dengan geometris struktur pipa yang diinginkan. Pipa dapat dimodelkan dalam bentuk silinder yang mempunyai volume. Bentuk model dapat ditunjukkan pada gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 Permodelan pipa

Pipa dalam model ini berupa pelat (*elemen shell*). Setelah model dibuat, lalu diberikan material propertisnya dengan cara sebagai berikut:



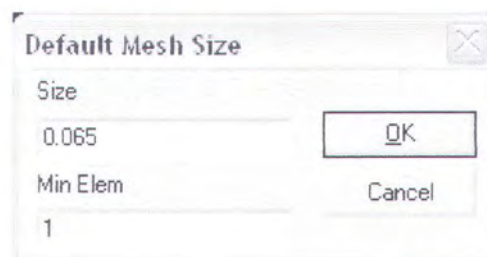
Gambar 4.2 Menentukan material properties pipa

- Setelah diberikan material propertis langkah selanjutnya adalah memberikan properti pipa, properti pipa ini meliputi jenis elemen pipa dan ketebalan pipa.

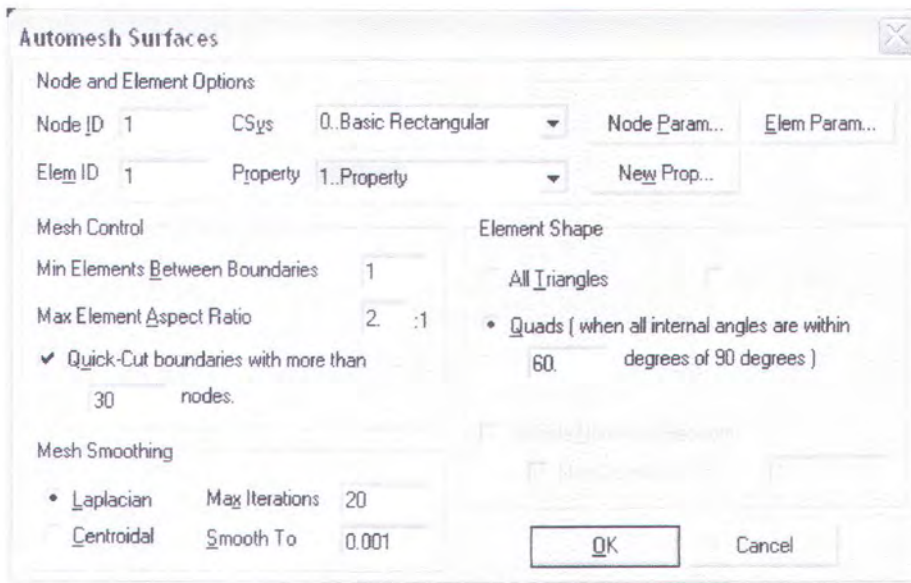


Gambar 4.3 Menentukan propertis pipa

- Selanjutnya dilakukan meshing pipa, yaitu pembagian elemen-elemen pipa menjadi bagian-bagian yang lebih kecil yang berhingga.

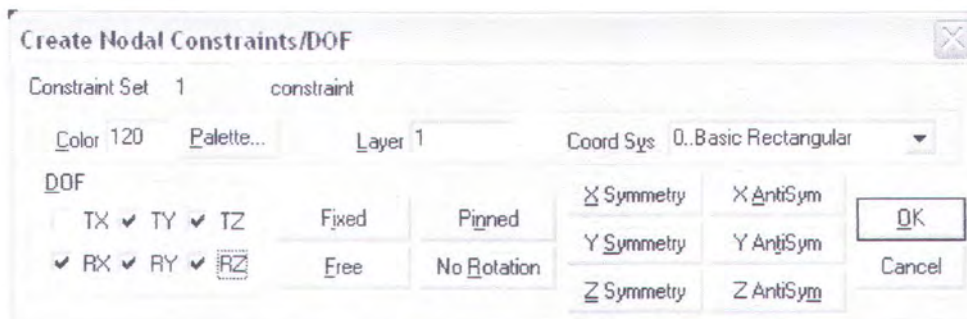


Gambar 4.4 menentukan ukuran elemen mesh pipa

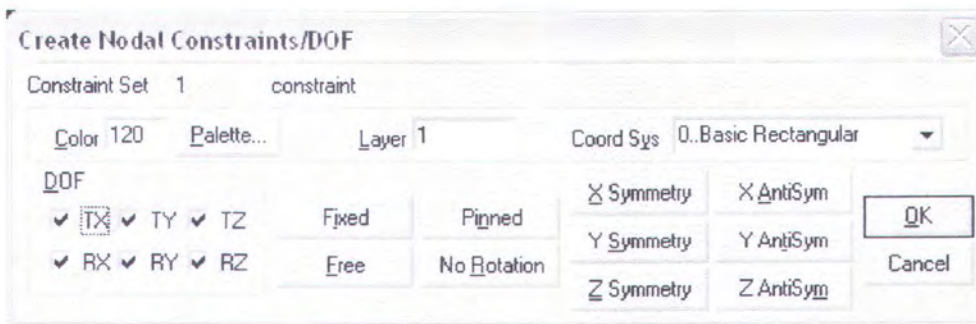


Gambar 4.5 Membuat meshing pada pipa

- Setelah diberikan meshing pipa kemudian diberikan *boundary condition* yaitu dengan memberikan constraint pada ujung-ujung pipa. Constraint ini menunjukkan syarat batas yang digunakan untuk mendefinisikan gerak dari elemen-elemen yang mengalami deformasi. Pada salah satu ujung pipa diberi kondisi fixed agar model tidak bergerak terus setelah menerima beban, sementara pada bagian lain diberi kondisi dimana elemen hanya dapat bergerak berupa roll kearah memanjang pipa.

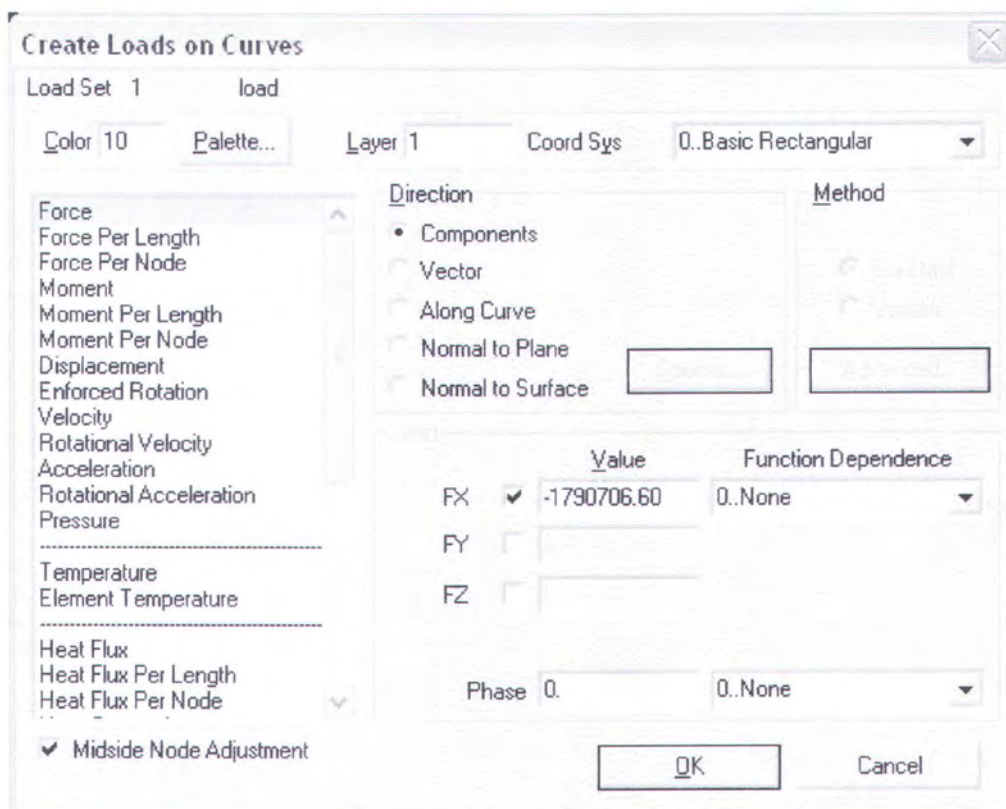


Gb. 4.6 Pemberian konstrain roll pada ujung pipa



Gambar 4.7 Pemberian konstraint fix pada ujung pipa

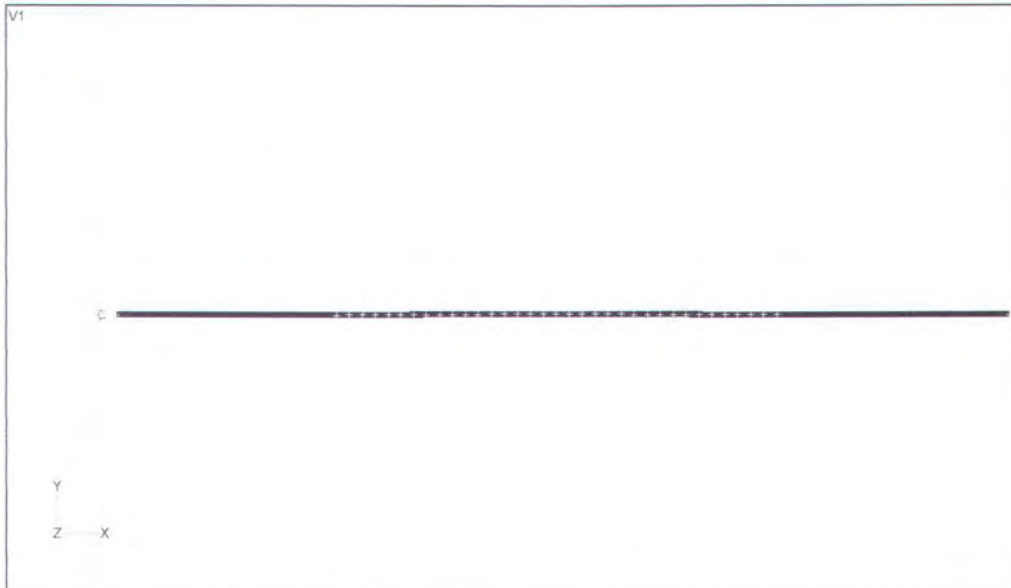
- Langkah selanjutnya yaitu dengan memberikan beban yang diperoleh dari perhitungan manual dengan menggunakan rumus 2.33. Pembebanan pada ujung pipa diaplikasikan dengan menggunakan perintah sebagai berikut:



Gambar 4.8 Pemberian pembebanan pada ujung pipa



Bentuk model dapat disajikan pada gambar 4.9 berikut:



Gambar 4.9 Permodelan struktur pipa dengan menggunakan software nastran

4.4 Efek Pembebanan Pada Pipa

Beban yang digunakan dalam permodelan struktur pipa ini berupa beban aksial yang diakibatkan oleh internal pressure dan internal temperature. Beban aksial ini dimodelkan sebagai beban merata pada penampang melintang (*cross section*) pipa.

Besarnya beban aksial yang digunakan pada permodelan ini untuk masing-masing analisis berbeda-beda, yaitu dengan mengkombinasikan beban internal pressure antara 70 bars hingga 90 bars dan internal

temperatur 60 °C hingga 90 °C. Aplikasi beban pada permodelan pipeline dapat diilustrasikan pada gambar 4.10 berikut ini:



Gambar 4.10 Ilustrasi pembebanan pressure dan temperatur pada pipa

Dengan adanya pembebanan yang bekerja pada pipeline maka akan diperoleh besarnya deformasi yang dialami oleh pipeline dengan kelengkungan awal tertentu. Pipa yang digunakan dalam model pembebanan ini memiliki amplitudo kelengkungan awal $v_{om} = 0.1$ m. Dengan menggunakan rumus (II.33) akan didapat panjang pipa dengan kelengkungan awal pipa, $L_i = 49$ m. Deformasi dan tegangan (vonmises) yang diakibatkan oleh pembebanan dan kelengkungan awal 0.1 meter ini dapat disajikan pada tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Deformasi dan tegangan pipa pada tekanan 70 bars

Pressure (bars)	Temperature (°C)	Deformasi (m)	Vonmises (Mpa)
70	90	0.275	296.1
70	80	0.223	240.2
70	70	0.171	184.3
70	60	0.119	128.4



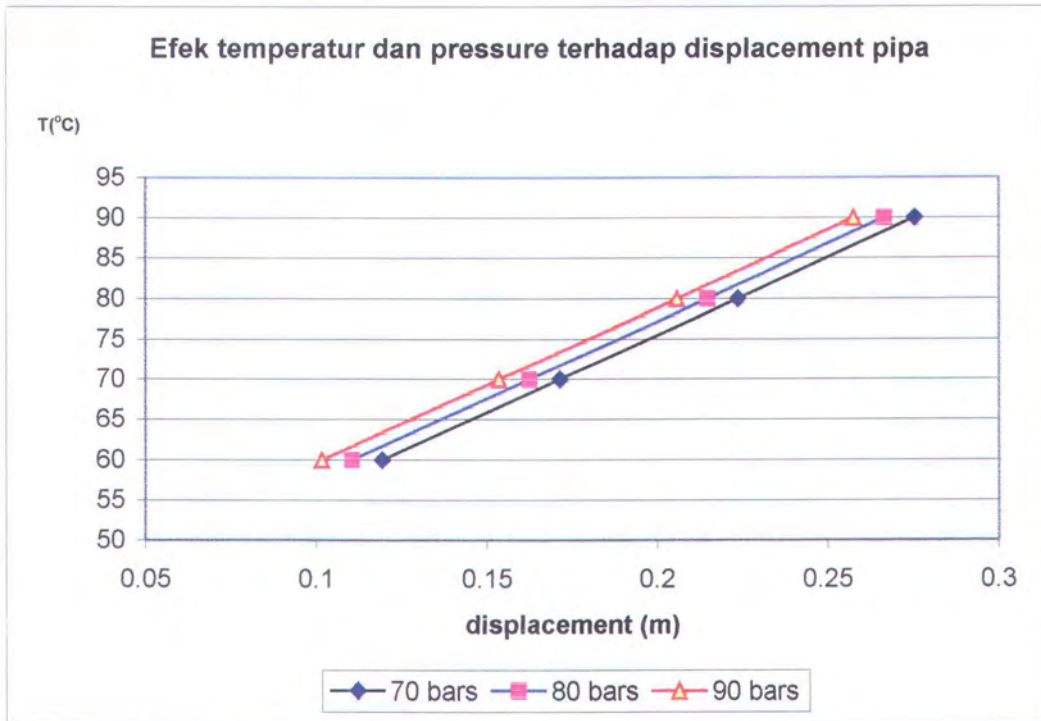
Tabel 4.2 Deformasi dan tegangan pipa pada tekanan 80 bars

Pressure (bars)	Temperature (°C)	Deformasi (m)	Vonmises (Mpa)
80	90	0.266	286.5
80	80	0.214	230.6
80	70	0.162	174.7
80	60	0.110	118.8

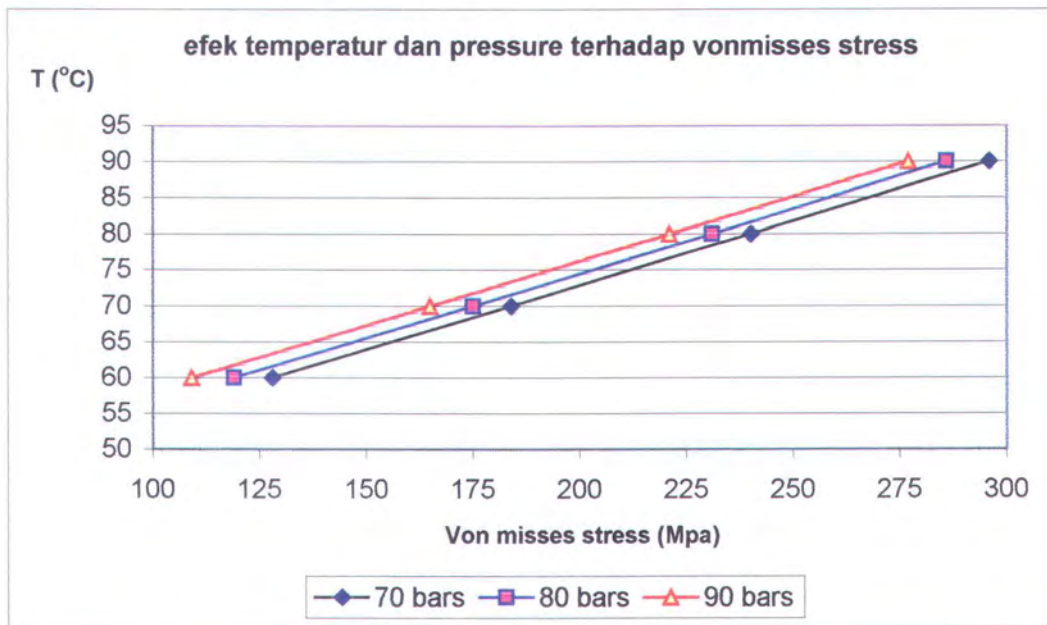
Tabel 4.3 Deformasi dan tegangan pipa pada tekanan 90 bars

Pressure (bars)	Temperature (°C)	Deformasi (m)	Vonmises (Mpa)
90	90	0.257	276.8
90	80	0.206	220.9
90	70	0.154	165.1
90	60	0.102	109.1

Dari hasil running dengan menggunakan bantuan Software Nastran output deformasi dan stress pada dinding pipa dapat dilihat pada Lampiran III. Dan print out output analisis dapat dilihat pada Lampiran IV dan V, juga dapat disajikan ke dalam bentuk grafik pada gambar 4.11 dan gambar 4.12 sebagai berikut:



Gambar 4.11 Grafik efek pressure dan internal temperatur terhadap displacement pipa



Gambar 4.12 Grafik pressure dan internal temperatur terhadap tegangan equivalen pipa



Dari hasil ini dapat diketahui bahwa temperatur fluida yang mengalir di dalam pipa sangat berpengaruh terhadap upheaval buckle. Untuk analisa selanjutnya perlu memvariasikan tinggi kelengkungan awal secara vertikal.

4.5 Beban Operasional Pada Pipa

4.5.1 Bentuk pipa lurus

Pada analisa ini pipa dimodelkan sebagai pipa yang lurus kemudian pipa tersebut diberikan beban secara aksial. Dari hasil runing program pemberian beban aksial pada pipa lurus maka pipa tersebut tidak mengalami displacement/deformasi secara lateral (buckle), hal ini diakibatkan karena tidak adanya momen pengganggu yang bekerja pada pipa tersebut. Deformasi pada pipa lurus dapat ditunjukkan pada gambar 4.13. Hal ini sesuai dengan hukum Euler di mana pada struktur lurus apabila diberikan beban aksial padanya yang besarnya di bawah beban kritis maka struktur kolom tidak mengalami deformasi (buckle). Deformasi pada pipa dapat disajikan dalam gambar berikut ini:



Gambar 4.13. Efek internal pressure dan temperatur pada pipa lurus

4.5.2 Pipa Dengan Kelengkungan Awal

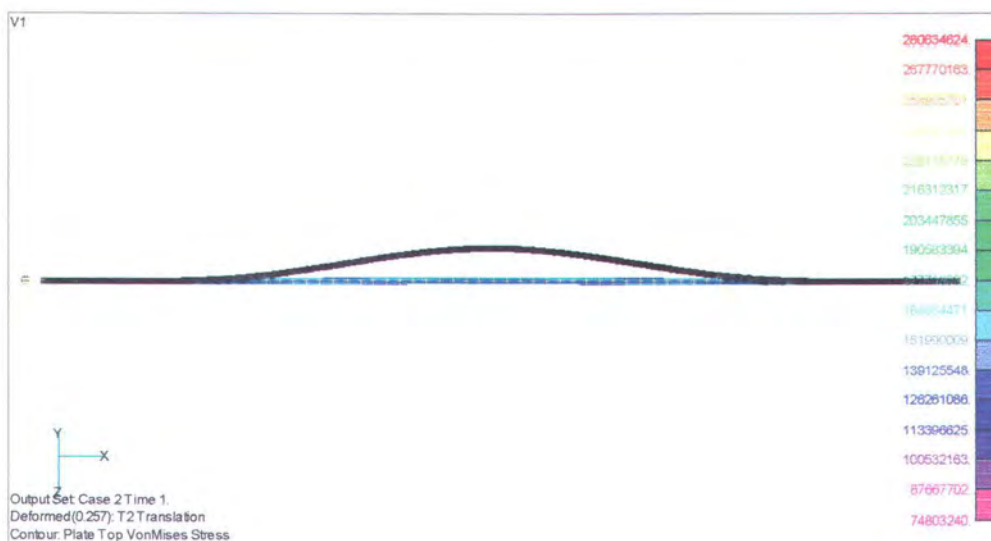
Untuk simulasi kondisi kelengkungan awal yang terjadi pada pipa dengan pembebanan operasional dilakukan dengan menggunakan tiga alternatif yaitu:

- Alternatif I: struktur pipa dengan amplitudo kelengkungan awal 0.1 m dengan sehingga membentuk kelengkungan awal dengan panjang pipa dengan kelengkungan awal $L_i = 49$ m, kemudian pipa diberikan beban aksial yang diakibatkan oleh beban internal pressure dan internal temperature sesuai dengan kondisi operasional pipa di lapangan.
- Alternatif II: Struktur pipa dengan amplitudo kelengkungan awal 0.2 m, panjang kelengkungan awal L_i , 58 meter, pipa pada alternatif II ini akan diberikan kondisi yang sama seperti pada alternatif I.

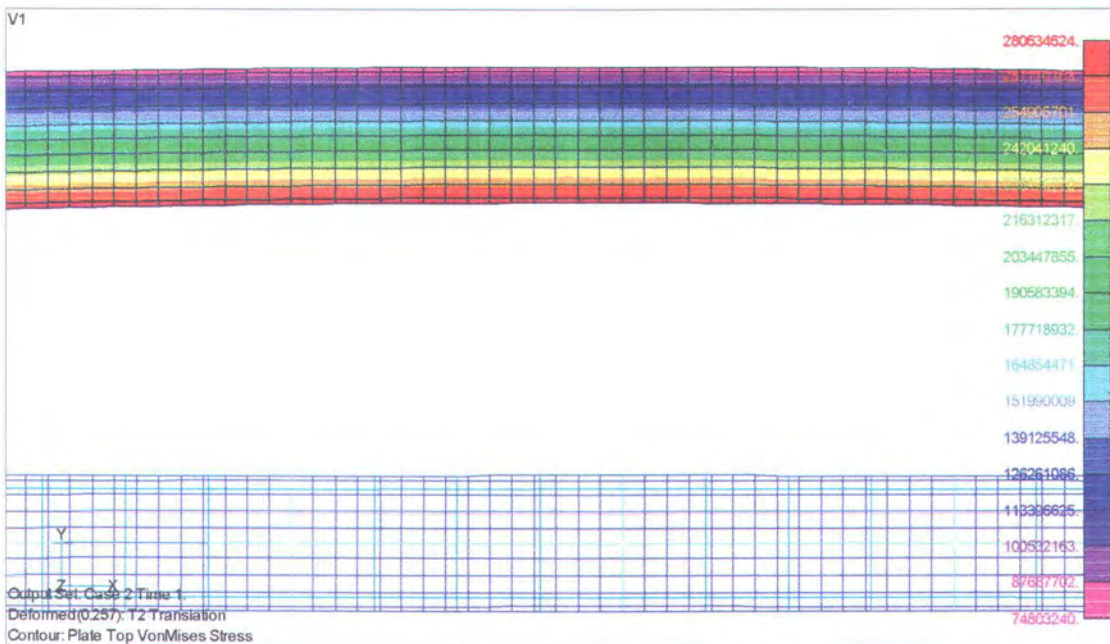
- Alternatif III: Struktur pipa dengan kelengkungan awal 0.3 m, dengan panjang kelengkungan awal L_i , 65 meter, pipa pada alternatif II ini juga akan diberikan kondisi yang sama seperti pada alternatif I.

Dengan membuat model dengan kelengkungan awal yang berbeda-beda seperti dipaparkan pada ketiga alternatif di atas, tiap-tiap alternatif diberikan beban yang bervariasi sesuai dengan pembebanan yang terjadi di lapangan yang kemudian akan dapat diketahui berapa besar tingkat perubahan deformasi dan stress pada dinding pipa yang timbul akibat kelengkungan awal, beban internal pressure dan internal temperature tersebut.

Kecenderungan perubahan deformasi pada pipa ini dapat dilihat pada gambar 4.14 di bawah ini dan pada Lampiran III.



Gambar 4.14 Deformasi yang diakibatkan internal pressure dan internal temperature



Gambar 4.15 kontur distribusi tegangan pada upheaval buckle pipeline

Hasil dari simulasi ketiga alternatif di atas dapat disajikan dalam tabel di bawah ini.

- Deformasi dan stress yang terjadi pada pipa dengan kelengkungan awal 0.1 meter.

Tabel 4.4. Efek beban operasional pada amplitudo kelengkungan awal 0.1 meter

Pressure (bar)	Temperatur (deg C)	Displacement (m)	Vonmises (Mpa)
90	75	0.1179	193
100	75	0.1706	183
90	90	0.2574	277
120	105	0.3087	332
90	84	0.2628	283

Sumber Assessment of Upheaval Buckling; Andrew Palmer and Associates dalam Dokument Control PT Komaritim



Dari hasil simulasi (pada tabel 4.4) tersebut dapat diketahui bahwa deformasi yang diakibatkan oleh internal pressure dan internal temperature 120 bars dan 105 °C. Deformasi terbesar yang terjadi pada amplitudo kelengkungan awal 0.1 m pada alternatif I adalah 0.3087 meter dengan tegangan yang diterima oleh dinding pipa sebesar 332 Mpa.

- Deformasi dan stress yang terjadi pada pipa dengan amplitudo kelengkungan awal 0.2 meter.

Tabel 4.5. Efek beban operasional pada amplitudo kelengkungan awal 0.2 meter

Pressure (bar)	Temperatur (deg C)	Displacement (m)	Vonmises (Mpa)
90	75	0.4994	262
100	75	0.4745	249
90	90	0.7164	375
120	105	0.8587	449
90	84	0.6296	329

Sumber Assessment of Upheaval Buckling; Andrew Palmer and Associates dalam Dokument Control PT Komaritim

Untuk pipa dengan kelengkungan awal 0.2 m pada alternatif II dengan beban yang terima sebesar 120 bar, 105 °C akan menimbulkan deformasi terbesar yaitu 0.8587 m dan tegangan pada dinding pipa sebesar 449 Mpa.



- Deformasi dan stress yang terjadi pada pipa dengan kelengkungan awal 0.3 meter.

Tabel 4.6. Efek beban operasional pada amplitudo kelengkunga awal 0.3 meter

Pressure (bar)	Temperatur (deg C)	Displacement (m)	Vonmises (Mpa)
90	75	0.956	333
100	75	0.908	316
90	90	1.370	478
120	105	1.644	573
90	84	1.205	420

Sumber Assessment of Upheaval Buckling; Andrew Palmer and Associates dalam Dokument Control PT Komaritim

Untuk pipa dengan kelengkungan awal 0.3 m pada alternatif III deformasi yang ditimbulkan oleh pembebanan sebesar 120 bar, 105 °C relatif besar yaitu 1.644 m hal ini berpengaruh pula pada tegangan dinding pipa yaitu sebesar 573 Mpa. Hal ini terjadi akibat kelengkungan awal pipa dan pembebanan yang besar sehingga menjadi pemicu terjadi deformasi pipa dan konsentrasi tegangan pipa yang besar pula.

Besarnya deformasi dan tegangan pada dinding pipa akibat beban operasional selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran IV dan V.



4.5.3 Bentuk Permodelan Pipa Dengan Berbagai Kelengkungan

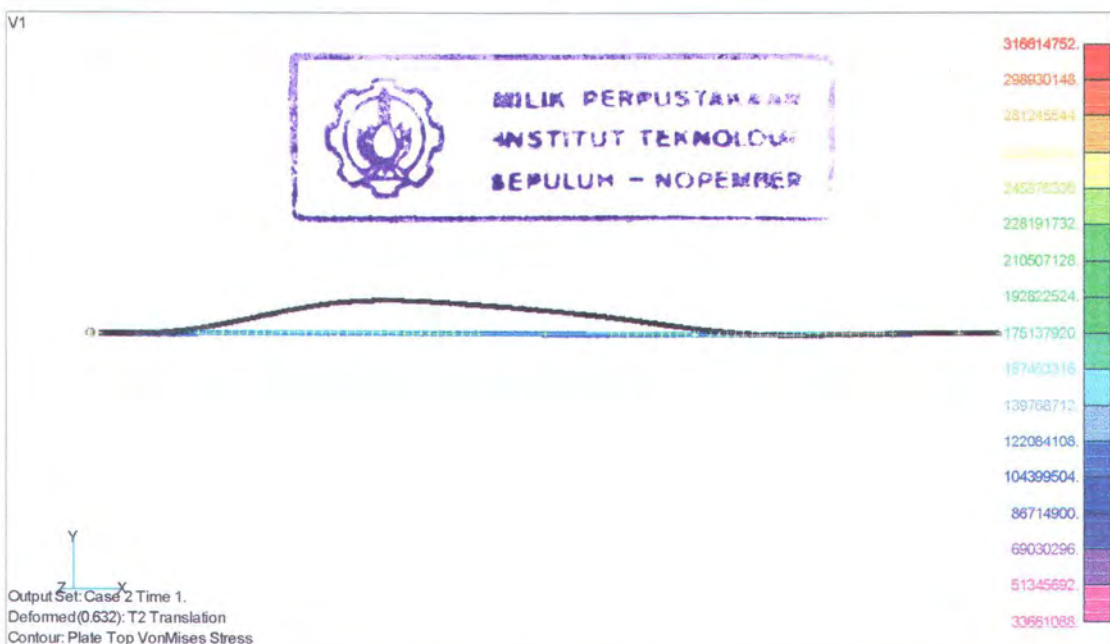
Simulasi permodelan ketidakrataan dasar parit yang bergelombang untuk simulasi kelengkungan ini divariasikan dengan mengambil kelengkungan awal pada simulasi I pada sub bab 4.5.2. Pada simulasi tersebut tegangan pada dinding pipa $\sigma_e \leq \eta \cdot \text{SMYS}$, maka data tinggi kelengkungan awal tersebut dapat dipergunakan untuk permodelan selanjutnya. Pada simulasi ini juga akan dilakukan dengan memvariasikan jumlah puncak dan lembah gelombang. Karena pada analisa ini kita hanya ingin mendapatkan suatu keadaan pipa yang dipengaruhi oleh beban internal pressure dan internal temperature mengalami upheaval buckle maka pada kondisi lembah gelombang, pipa diberi penumpu (*gap elemen*) sehingga pipa tidak dapat melendut ke bawah. Sehingga dari permodelan ini hanya dapat dilihat deformasi pipa yang melendut ke atas saja.

Untuk membuktikan bahwa gap elemen tidak memberikan efek terhadap deformasi pipa secara vertikal, maka perlu dilakukan simulasi gap elemen yang diaplikasikan pada pipa dengan amplitudo kelengkungan awal. Sehingga dapat diketahui apakah gap elemen berpengaruh terhadap deformasi pipa secara vertikal atau tidak. Dari hasil running diketahui bahwa gap elemen tidak berpengaruh terhadap hasil akhir deformasi dan tegangan yang dialami oleh pipa. Hasil simulasi yang berupa perbandingan antara pipa yang diberi gap elemen dan pipa yang tidak diberi gap elemen dapat dilihat pada Lampiran III.

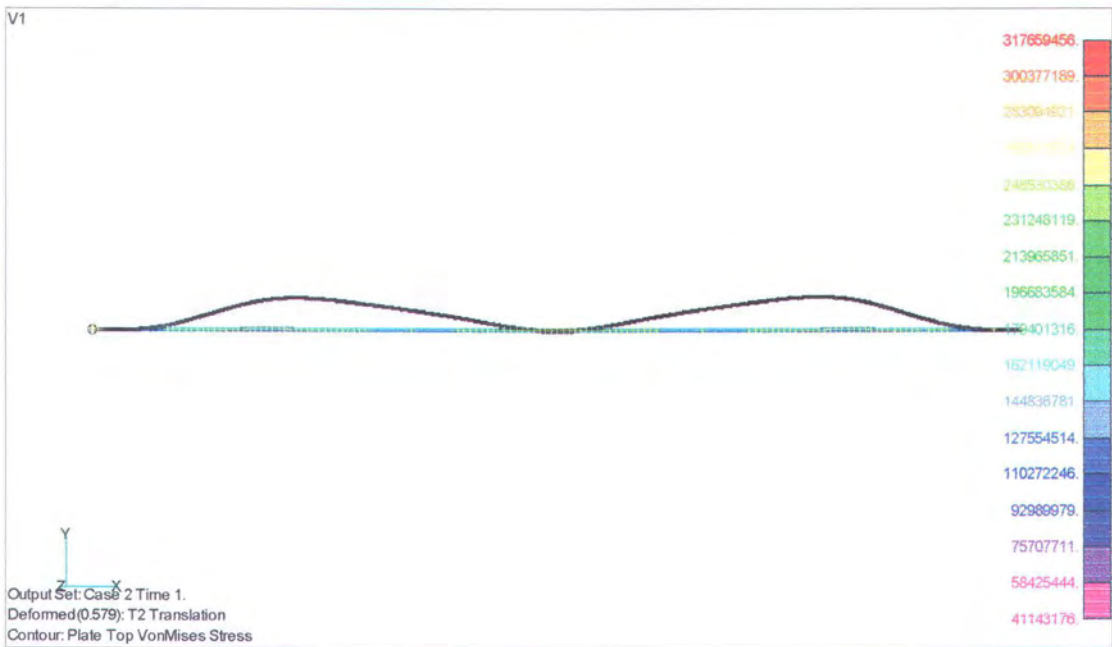
Simulasi permodelan ketidakteraturan dasar parit ini dilakukan dengan menggunakan tiga alternatif yaitu:

- Alternatif I: kelengkungan awal pipa dengan amplitudo 0.1 meter pada posisi puncak gelombang dan pada -0.1 meter pada lembah gelombang.
- Alternatif II: kelengkungan pipa pada alternatif II ini dibuat dengan amplitudo kelengkungan awal 0.1 meter, divariasikan dengan dua puncak gelombang dan satu lembah gelombang.
- Alternatif III: kelengkungan pipa pada alternatif III dibuat dengan amplitudo kelengkungan awal 0.1 meter, divariasikan dengan dua puncak gelombang dan dua lembah gelombang.

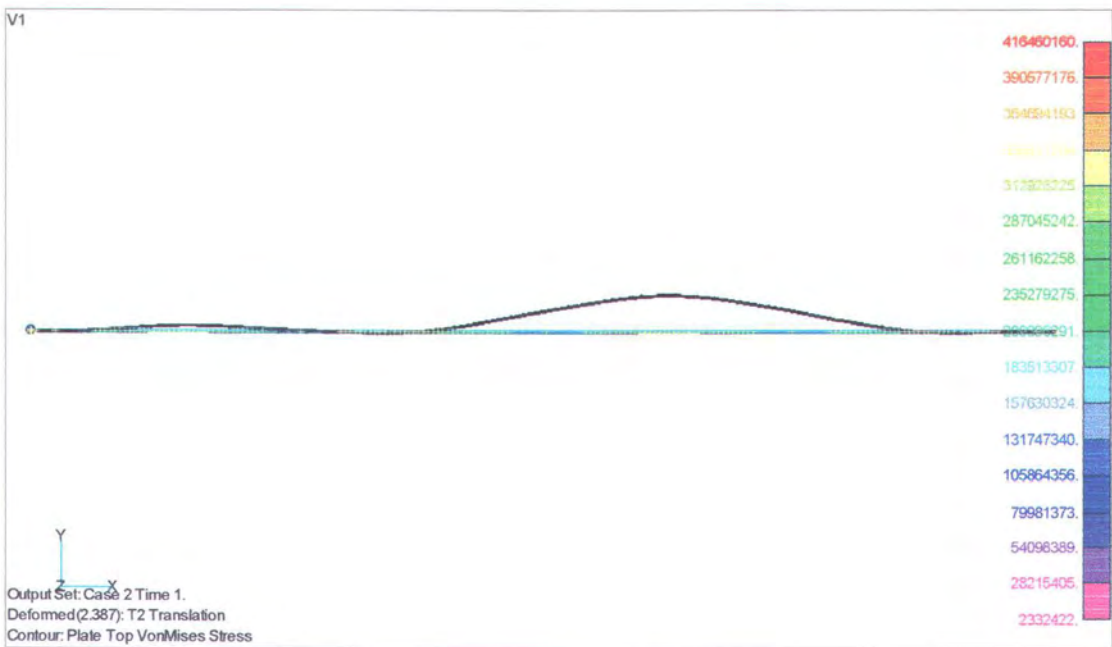
Dari hasil runing komputer deformasi yang terjadi pada alternatif I, alternatif II dan alternatif III dapat ditampilkan dalam gambar berikut:



Gambar 4.16 Deformasi pada pipa dengan kelengkungan satu panjang gelombang



Gambar 4.17 Deformasi pada pipa dengan kelengkungan satu setengah panjang gelombang



Gambar 4.18 Deformasi pada pipa dengan kelengkungan dua panjang gelombang



Dari hasil ini dapat diketahui bahwa pengaruh ketidakrataan parit dengan pembebanan menghasilkan deformasi pada pipa. Tegangan dan displacement yang terjadi pada dinding pipa dapat ditampilkan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 4.7 Efek variasi kelengkungan pada pipa

Alternatif	Displacement (m)	Vonmises (Mpa)
Alternatif I	0.63	327
Alternatif II	0.58	306
Alternatif III	2.38	445

Dari gambar 4.15, 4.16, dan 4.17 dan tabel 4.7 di atas perbedaan displacement yang terjadi pada alternatif I, alternatif II, dan alternatif III lebih disebabkan oleh panjang pipa yang bebas bergerak. Pada alternatif I puncak gelombang pipa akan bergerak ke atas, karena pada bagian pipa yang membentuk lembah gelombang tidak memiliki konstrain yang cukup untuk menahan pergerakan pipa ke atas maka pada bagian pipa ini akan ikut melendut ke atas sehingga akan menambah amplitudo kelengkungan akhir pipa. Pada pipa yang membentuk lembah gelombang, pipa tidak dapat bergerak ke bawah karena dasar tanah dianggap cukup keras. Karakteristik yang sama juga akan dialami oleh pipa pada alternatif II dan alternatif III, di mana panjang pipa yang membentuk lembah gelombang pipa akan ikut terangkat membentuk amplitudo gelombang akhir pipa sehingga akan dihasilkan suatu deformasi yang lebih besar.

Deformasi pipa dan output pada analisa ini dapat dilihat pada Lampiran III.



4.6 Analisa Tegangan Pada Pipa

Dari hasil simulasi di atas dapat diketahui tegangan ijin yang harus dipenuhi oleh struktur pipa yang diinstalasi agar memenuhi standar yang diperlukan serta aman dalam operasionalnya. Berdasarkan DNV 1996, syarat sebuah pipa dapat beroperasi dengan aman, dengan beban internal pressure dan internal temperature harus memenuhi tegangan equivalen ijin yaitu:

$$\sigma_e \leq \eta \cdot \text{SMYS}$$

dimana:

σ_e = tegangan equivalen

η = faktor untuk tegangan equivalent

SMYS = Specified minimum yield stress

Dari *Specified Minimum Yield Stress* (SMYS) untuk pipa dengan Grade API 5L X-52 yaitu sebesar 358 Mpa dengan mengalikan dengan faktor untuk cek tegangan equivalent (DNV 1996) sebesar 0.96 (pada tabel 2.1), maka akan didapat tegangan ijin equivalen pipa yaitu sebesar:

$$\begin{aligned}\sigma_e &= 0.96 \times 358 \text{ MPa} \\ &= 343.68 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Dari hasil runing MSC Nastran yang dirangkum pada tabel 4.4 hingga tabel 4.6 di atas maka dapat diketahui besarnya kelengkungan awal pipa dan pembebanan yang diijinkan dalam operasional sebuah pipa.



1. Untuk pipa dengan kelengkungan awal pipa lurus tegangan pada dinding pipa sebesar $213 \text{ Mpa} < \sigma_e$.
2. Pipa dengan kelengkungan awal 0.1 meter, tegangan pada dinding pipa sebesar $332 \text{ Mpa} < \sigma_e$.
3. pipa dengan kelengkungan awal 0.2 meter.
 - Pada pembebanan internal pressure 90 bars dan internal temperatur 90°C tegangan sebesar $375 \text{ Mpa} > \sigma_e$
 - Pada pembebanan internal pressure 120 bars dan internal temperatur 105°C tegangan pada dinding pipa sebesar $449 \text{ Mpa} > \sigma_e$
4. Pipa dengan kelengkungan awal 0.3 meter.
 - Pada pembebanan internal pressure 90 bars dan internal temperatur 90°C tegangan pada dinding pipa sebesar $478 \text{ Mpa} > \sigma_e$.
 - Pada pembebanan internal pressure 120 bars dan internal temperatur 105°C tegangan pada dinding pipa sebesar $573 \text{ Mpa} > \sigma_e$.
 - Pada pembebanan internal pressure 90 bars dan internal temperatur 84°C tegangan pada dinding pipa sebesar $420 \text{ Mpa} > \sigma_e$.

Dari hasil pengelompokkan tegangan di atas dan sesuai dengan peraturan DNV 1996 tentang tegangan equivalen dinding pipa yang diijinkan, maka:



- Pipa lurus sangat dianjurkan karena selama proses operasi pipa lurus tidak mengalami buckle.
- Kelengkungan awal pipa 0.1 dapat dinyatakan aman untuk beroperasi.
- Kelengkungan awal pipa 0.2 dengan pembebanan internal pressure 90 bars dan internal temperatur 90 °C dan internal pressure 120 bars: dan internal temperatur 105 °C dinyatakan tidak aman.
- Kelengkungan awal pipa 0.3 dengan pembebanan internal pressure 90 bars dan internal temperatur 90 °C , internal pressure 120 bars dan internal temperatur 105 °C serta pembebanan internal pressure 90 bars dan internal temperatur 84 °C dinyatakan tidak aman.

4.7 Analisa Ovalitas

Dalam analisa ovalitas ini pipa yang dianalisa adalah pipa yang memiliki deformasi terbesar pada masing-masing amplitudo kelengkungan awal. Ovalitas pipa akibat buckle dapat disajikan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 4.8 Ovalitas pipa akibat buckle

Amplitudo awal (m)	Pressure (bars)	Temperatur (oC)	Deformasi (m)	Ovalitas (%)
0.1	120	105	0.3	0.002
0.2	120	105	0.85	0.025
0.2	90	84	0.63	0.018
0.3	120	105	1.64	0.025
0.3	90	75	1.21	0.015



Dari perhitungan di atas deformasi yang terjadi pada pipa masih dapat diijinkan. Perbedaan tingkat ovalitas pipa bila dibandingkan dengan besarnya deformasi yang terjadi pada pipa sangat dipengaruhi oleh panjang pipa yang melendut. Semakin panjang pipa yang melendut maka akan semakin kecil pula tingkat ovalitas yang dialami oleh pipa.

4.8 Validasi Model Finite Elemen Method

Dalam permodelan metode elemen hingga keakuratan dalam analisa ditentukan oleh ukuran meshing yang ditunjukkan oleh aspek rasio dan bentuk dari elemen. Untuk mengetahui apakah besarnya elemen yang digunakan cukup baik dalam melakukan analisa maka perlu dilakukan validasi dari ukuran meshing.

Perhitungan tegangan pada elemen :

p	: 120 bars	ν	: 0.3
r	: 0.2032	E	: 2.07×10^7
T	: 105°C	D	: 0.4064 m
t	: 0.01588 m	I	: 3.72×10^4
α	: 1.1×10^{-5} m/m $^\circ\text{C}$		

Ambient temperature : 5°C

- Tegangan longitudinal:

$$\begin{aligned}\sigma_T &= E\alpha T \\ &= 2.07 \times 10^7 \times 1.1 \times 10^{-5} \times (105-5) \\ &= 239 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$



$$\sigma_h = pr / 2t$$

$$= 120 \text{ bars} \times 0.2032 / 0.01588$$

$$= 78 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{LT} = \sigma_h + \sigma_T$$

$$= 317 \text{ N/mm}^2$$

- Circumference stress

$$\sigma_h = pr / t$$

$$= 120 \text{ bars} \times 0.2032 / 0.01588$$

$$= 157 \text{ N/mm}^2$$

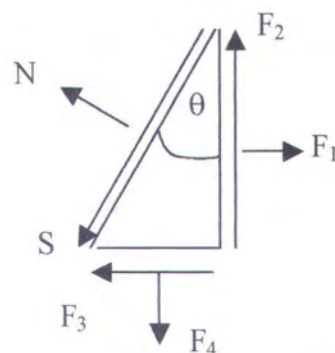
$$\tau_{th} = -\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \tan 2\theta$$

$$= 3.4 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan Pada Elemen

Jika diambil satu bagian elemen pada nastran maka dapat diketahui tegangan dengan cara:

Luas elemen (a) : 0.065 m^2



Gambar 4.19 Tegangan yang bekerja pada elemen

Untuk menentukan tegangan pada elemen maka:



$$F_1 = \sigma_{LT} \cdot a \cos \theta = 14.8 \text{ N/mm}^2 \quad F_2 = \tau_{lh} \cdot a \cdot \cos \theta = 2.71 \text{ N/mm}^2$$

$$F_3 = \tau_{lh} \cdot a \sin \theta = 1.12 \text{ N/mm}^2 \quad F_4 = \sigma_{LT} \cdot a \cdot \sin \theta = 6.14 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \Sigma F_N = 0 &= F_1 \cos \theta - F_2 \sin \theta - F_3 \cos \theta + F_4 \sin \theta \\ &= 14.8 \cos \theta - 2.71 \sin \theta - 1.12 \cos \theta + 6.14 \sin \theta \\ &= 225 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

- Tegangan Geser

$$\begin{aligned} \Sigma F_s = 0 &= F_1 \sin \theta + F_2 \sin \theta - F_3 \cos \theta - F_4 \cos \theta \\ &= 225 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Deformasi pada pelat dapat dicari dengan menggunakan gaya normal pada arah x,y.

Pada arah x dan y regangan yang terjadi adalah:

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x - \nu \sigma_y}{E}$$

σ_x = gaya normal arah x

σ_y = gaya normal arah y

ν = poisson ratio

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{317 - 0,3 \cdot 1.57}{2.07 \times 10^{11}} \\ &= 6.28 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

- Deformasi pada arah x = x' $\quad \quad \quad = x (1 + \varepsilon_x)$



$$\begin{aligned} &= 0.065 (1 + 6.28 \times 10^{-5}) \\ &= 6.51 \times 10^{-2} \\ \text{Deformasi pada arah x dan y adalah} &= 6.51 \times 10^{-2} - 0.065 \\ &= 6.77 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

Koreksi

▪ Tegangan :

$$\text{Tegangan teori} = 14 \text{ N/mm}^2 / 0.065 = 225 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Tegangan Nastran} = 213 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maka} = \frac{(225 - 213)}{225} \text{ N/mm}^2$$

$$= 5.3\%$$

Tegangan terbesar terjadi pada node dengan ID 25397

▪ Regangan

$$\text{Regangan teori} = 225 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Tegangan Nastran} = 212 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maka} = \frac{(225 - 212)}{225} \text{ N/mm}^2$$

$$= 5,8\%$$

▪ Deformasi

$$\text{Deformasi teori} = 6.77 \times 10^{-5}$$

$$\text{Deformasi Nastran} = 6.5 \times 10^{-5}$$

$$\text{Maka} = \frac{(6.77 - 6.5)}{6.77}$$



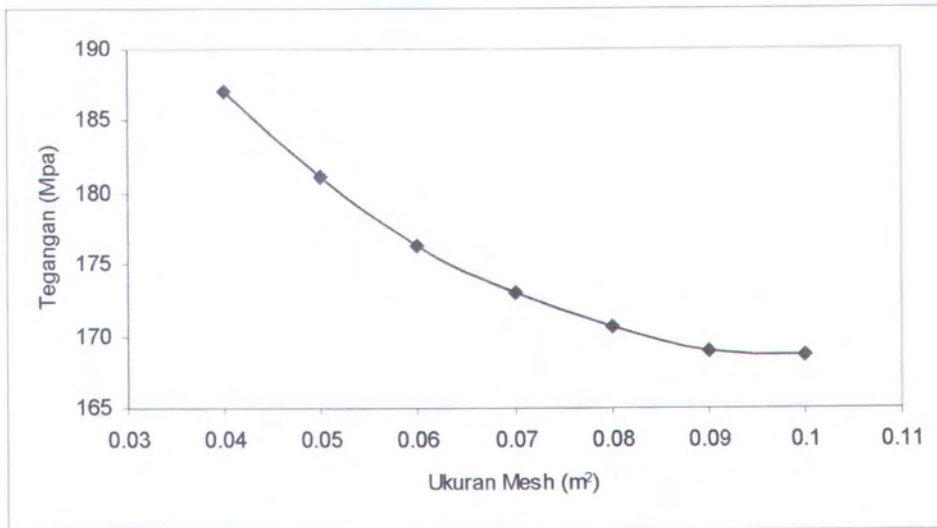
$$\begin{aligned} \text{Maka} &= \frac{(6.77 - 6.5)}{6.77} \\ &= 4.15 \% \end{aligned}$$

Deformasi terbesar terjadi pada node dengan ID 11573

Validasi dari permodelan nastran ini juga dapat dilihat dari grafik 4.20 yang diperoleh dengan memberikan pembebanan pada struktur pipa, sehingga dapat dilihat suatu perbedaan antara ukuran meshing dan tegangan yang terjadi pada dinding pipa.

Tabel 4.9 Penentuan ukuran meshing model pipa

Ukuran Mesh (m ²)	Tegangan (Mpa)
0.04	187.00
0.05	181.10
0.06	176.30
0.07	173.00
0.08	170.70
0.09	169.00
0.1	168.70



Gambar 4.20 Grafik pebandingan tegangan dan ukuran mesh

Berdasarkan perhitungan di atas dan melihat kemampuan komputer dalam melakukan analisa maka dalam pengerjaan tugas akhir ini menggunakan meshing permodelan dengan ukuran 0.065.



BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Internal pressure dan internal temperatur serta ketidakteraturan dari permukaan seabed dapat mengakibatkan upheaval buckle pada offshore pipeline.
2. Dari tegangan yang dihasilkan dari hasil runing dengan menggunakan program MSC NASTRAN selama proses operasi pipa bahwa:
 - Pipa dengan amplitudo kelengkungan awal 0.1 meter dapat dinyatakan aman.
 - Pada amplitudo kelengkungan awal 0.2 m pipa dinyatakan tidak aman pada beban internal pressure 90 bars dan internal temperatur 90 °C, dan beban internal pressure 120 bars dan internal temperatur 105 °C.
 - Pada pipa dengan amplitudo kelengkungan awal 0.3 meter pipa dapat dioperasikan pada beban internal pressure 90 bars dan internal temperatur 75 °C, dan beban internal pressure 100 bars internal temperatur 75 °C.
3. Pipeline yang mengalami upheaval buckle dapat mengalami ovalitas. Pada analisa ini ovalitas pipa yang mengalami buckle masih diijinkan.



5.2 Saran

Berdasarkan analisa yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini ada beberapa saran dalam penelitian lebih lanjut adalah:

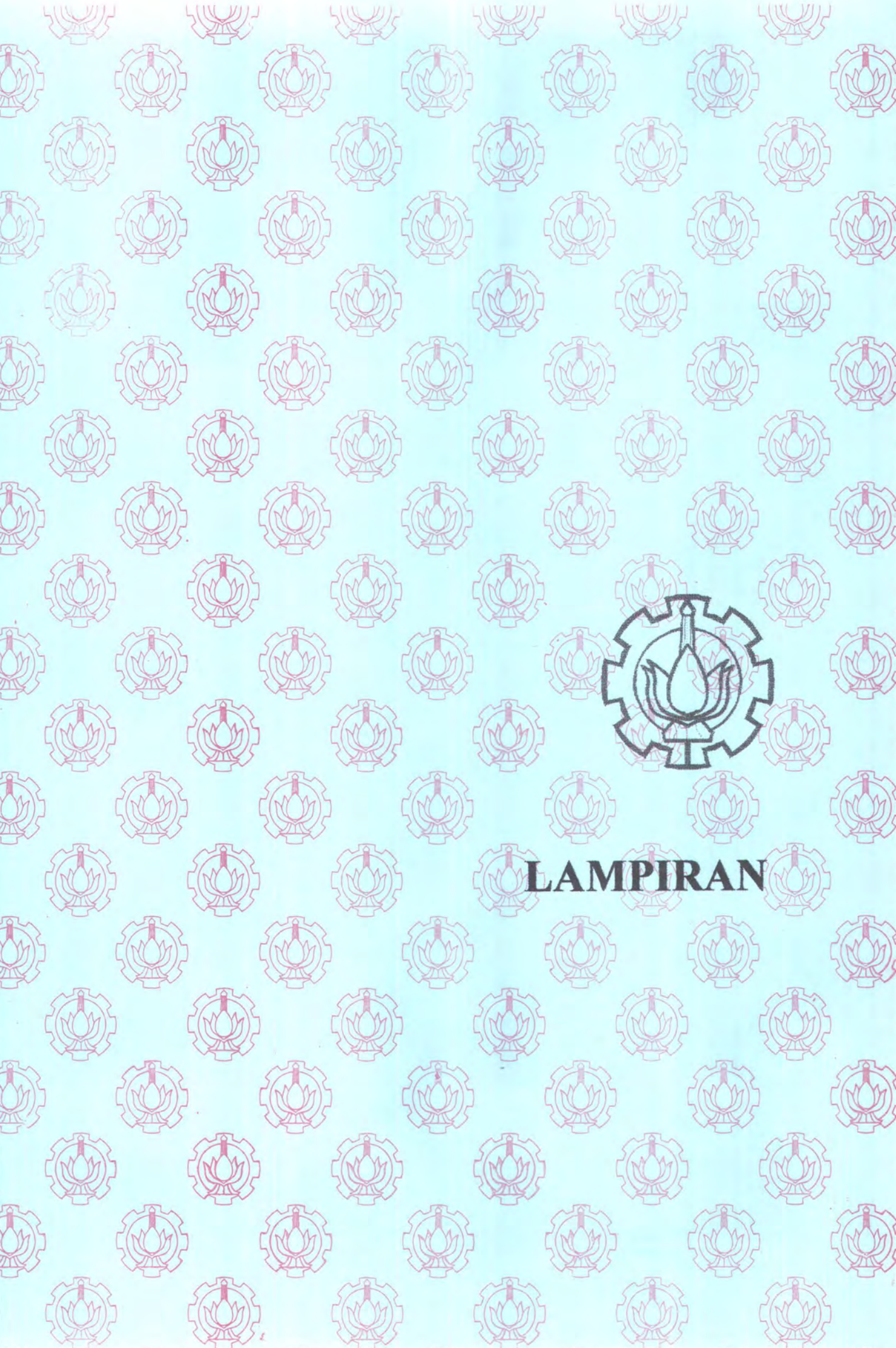
1. Untuk analisa phenomena upheaval buckle lebih lanjut sesuai realita di lapangan, maka perlu adanya penyelidikan mengenai pengaruh tanah baik berat cover tanah maupun gaya gesek tanah terhadap phenomena upheaval buckle ini.
2. Setelah mengetahui efek internal pressure dan internal temperature terhadap upheaval buckle pada pipeline yang di tanam di dalam tanah maka perlu dicarikan sebuah solusi untuk menanggulangi terjadinya upheaval buckle pada offshore pipeline.
3. Pada kondisi riil perlu diperhitungkan juga efek tegangan sisa pipa setelah pipa diinstalasi.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- API 1111.1993. **Design, Construction, Operation, And Maintenance Of Offshore Hydrocarbon Pipelines.** API Washington D.C.
- DNV 1996. **Rules For Submarine Pipeline System**
- Grigory, Steve C., and Smith, Marina Q.,1996,"Residual Strength Of 48 – Inch Diameter Corroded Pipe Determined By Full Scale Combine Loading Experiment". **International pipeline conference**, Vol 1. pp 377-382
- Gerstein, Mark.,1996,"Rehabilitation Of Pipeline In Seismic Regions", **International Pipeline conference**, Vol 2.
- Kharionovsky V.V and Tcherni V.P. 1996,"stress and strain state of a gas pipeline in conditions of stress-corrosion", **International Pipeline conference**, Vol 1,pp 479-483.
- Mousseli, A. H.,1981,**Offshore Pipeline Design, Analysis And Method.** Tulsa, Oklahoma:Pennwell Publishing company.
- Popov E.P.,1996,**Mekanika Teknik.**Jakarta:Erlangga
- Smith, Paul R. 1987,**Piping And Pipe Support System.**New York: McGraw Hill Book Company.
- Shell, Norske and Guijijt, J.1990,"Upheaval Buckling Of Offshore Pipelines:Overview And Introduction", **Offshore Technology Conference.**, Paper No. OTC 6487, Houston.
- Taylor,N and Tran,V.C.,1992,"Prop Imperfection Subsea Pipeline Buckling", **Marine Structures**,Vol 6,pp 325-358.



LAMPIRAN

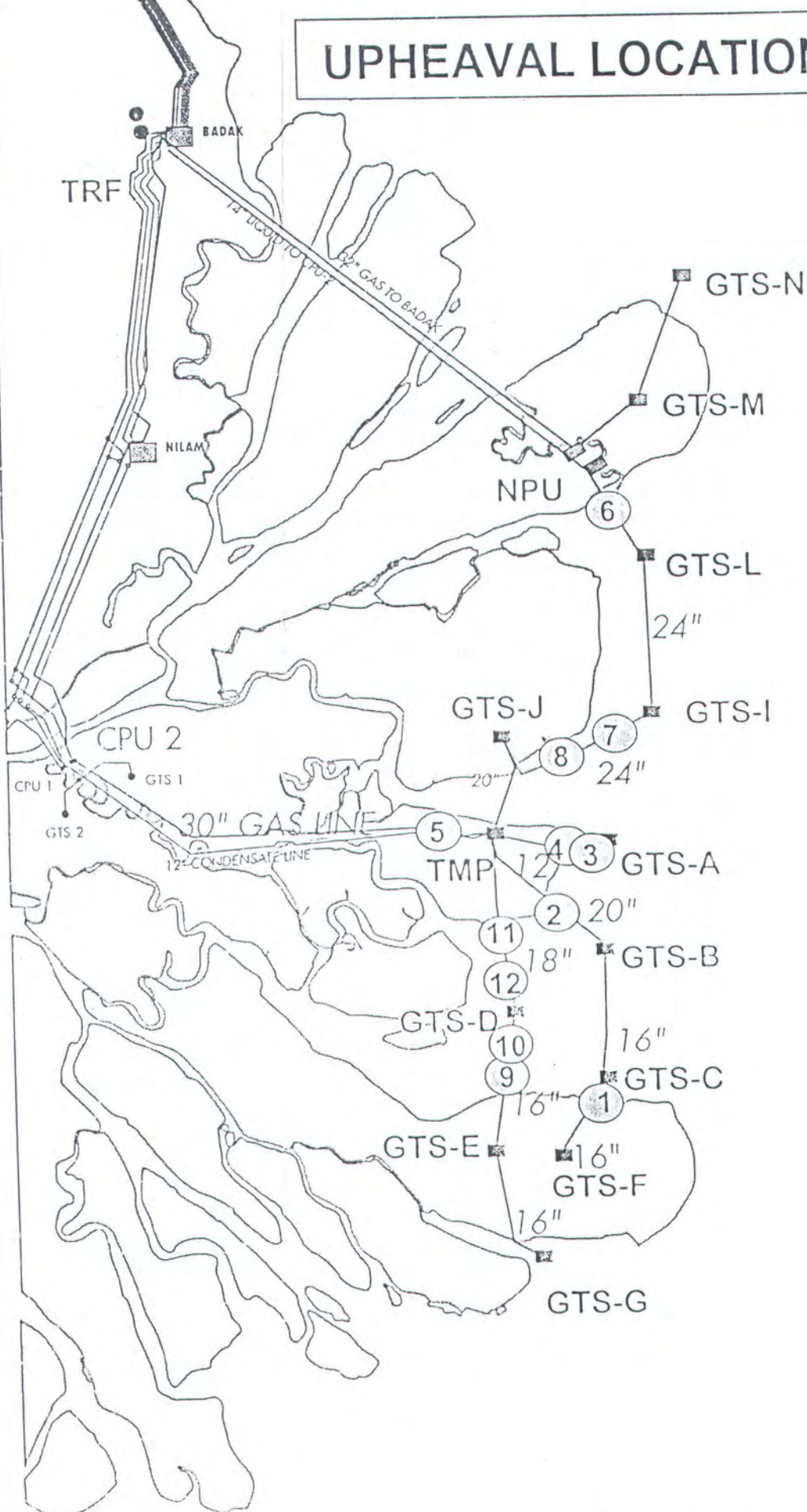


BAB I
PENDAHULUAN



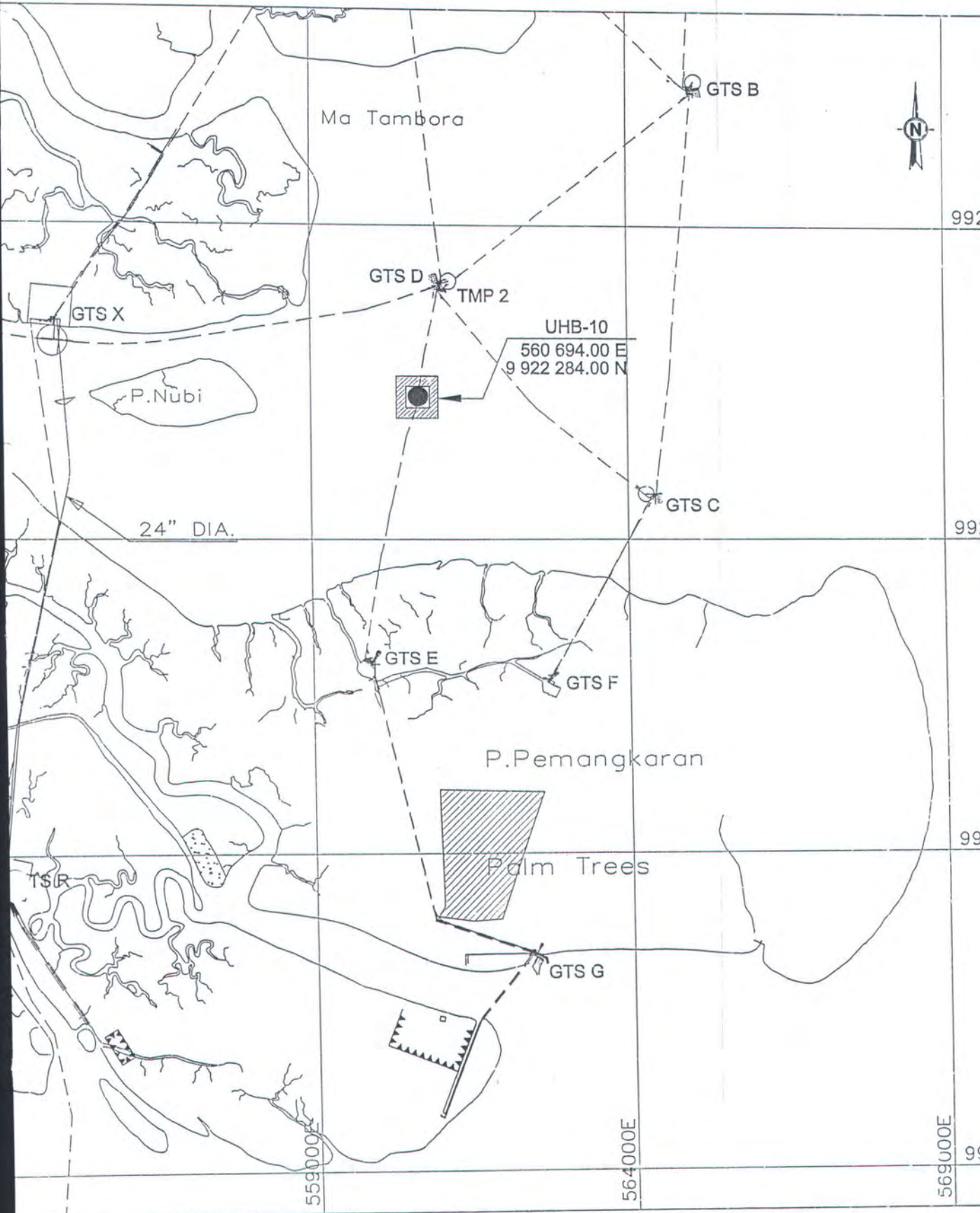
LAMPIRAN I
PETA LOKASI

UPHEAVAL LOCATION MAP



MARCH 98

TOTAL INDONESIA



UHB #10 16" PIPELINE FROM GTS D TO GTS E
(LOCATION MAP)



LAMPIRAN II
INPUT DATA UNTUK PERMODELAN



Lampiran II : Input Permodelan

```
$ *****
$   Written by : MSC.Nastran for Windows
$   Version   : 4.5
$   Modeller  : 7.00
$   Translator : MSC.Nastran
$   From Model : D:\hADI nASTRAN\pipa 2 glb analisa\dua glb.MOD
$   Date      : Sat Jun 12 11:07:49 2004
$   Output To : D:\hADI nASTRAN\pipa 2 jpg glb analisa\dua g000
$ *****
CORD2C      1      0      0.      0.      0.      0.      0.      1.+MSC.NC1
+MSC.NC1    1.      0.      1.
CORD2S      2      0      0.      0.      0.      0.      0.      1.+MSC.NC2
+MSC.NC2    1.      0.      1.
$ MSC.Nastran for Windows Load Set 1 : load
FORCE      1      46407      0      1.-183390.      0.      0.
FORCE      1      46408      0      1.-227160.      0.      0.
FORCE      1      46409      0      1.-264273.      0.      0.
.
.
$ MSC.Nastran for Windows Constraint Set 1 : load
SPC        1      1      123456      0.
SPC        1      2      123456      0.
SPC        1      3      123456      0.
.
.
SPC        1      12      23456      0.
SPC        1      13      23456      0.
SPC        1      18      23456      0.
.
```




```
BEGIN BULK
$ *****
$   Written by : MSC.Nastran for Windows
$   Version   : 4.5
$   Modeller  : 7.00
$   Translator : MSC.Nastran
$   From Model : C:\Mscn4w45\data\PANJANG GELOMBANG 1,5 \2 L.MOD
$   Date      : Fri Jun 11 21:46:02 2004
$ *****
CORD2C      1      0      0.      0.      0.      0.      0.      1.+MSC.NC1
+MSC.NC1    1.      0.      1.
CORD2S      2      0      0.      0.      0.      0.      0.      1.+MSC.NC2
+MSC.NC2    1.      0.      1.
$ MSC.Nastran for Windows Load Set 1 : load
FORCE      1  27320      0      1.      0.5.82E+18      0.
FORCE      1  27321      0      1.      0.6.75E+18      0.
FORCE      1  27323      0      1.      0.6.75E+18      0.
.
.
SPC         1      12  23456      0.
SPC         1      13  23456      0.
SPC         1      18  23456      0.
.
.
$ MSC.Nastran for Windows Constraint Set 1 : CONSTRAINT
SPC         1      1  123456      0.
SPC         1      2  123456      0.
SPC         1      3  123456      0.
.
.
$ MSC.Nastran for Windows Property 1 : PROPERTY
```



```

$ *****
$ Written by : MSC.Nastran for Windows
$ Version : 4.5
$ Modeller : 7.00
$ Translator : MSC.Nastran
$ From Model : C:\Mscn4w45\data\Pipa 1 gelombang\pipa 1 gelombang 2 analisa.MOD
$ Date : Fri Jun 04 18:07:21 2004
$ Output To : C:\Mscn4w45\data\Pipa 1 gelombang\pipa 000
$ *****
NLPARM      1      2      AUTO      5      25      PW      YES+
+           0.001  0.001  1.E-7      3      25      4      0.2      0.5+
+           5
CORD2C      1      0      0.      0.      0.      0.      0.      1.+MSC.NC1
+MSC.NC1    1.      0.      1.
CORD2S      2      0      0.      0.      0.      0.      0.      1.+MSC.NC2
+MSC.NC2    1.      0.      1.
$ MSC.Nastran for Windows Load Set 1 : load
FORCE      1      36300      0      1.-125271.      0.      0.
FORCE      1      36301      0      1.-138662.      0.      0.
FORCE      1      36302      0      1.-166548.      0.      0.
.
.
$ MSC.Nastran for Windows Constraint Set 1 : constraint
SPC        1      1      123456      0.
SPC        1      2      123456      0.
SPC        1      3      123456      0.
.
.
SPC        1      14      23456      0.
SPC        1      18      23456      0.
SPC        1      25      23456      0.

```





```

BEGIN BULK
$ *****
$   Written by : MSC.Nastran for Windows
$   Version    : 4.5
$   Modeller   : 7.00
$   Translator : MSC.Nastran
$   From Model : D:\hADI nASTRAN\imp 0.3\9075\9075 imp 03.MOD
$   Date       : Mon Jun 07 17:23:43 2004
$   Output To  : D:\hADI nASTRAN\imp 0.3\9075\9075 000
$ *****
$
$
NLPARM      1      2      AUTO      5      25      PW      YES+
+           0.001  0.001  1.E-7      3      25      4      0.2      0.5+
+           5
CORD2C      1      0      0.      0.      0.      0.      0.      1.+MSC.NC1
+MSC.NC1    1.      0.      1.
CORD2S      2      0      0.      0.      0.      0.      0.      1.+MSC.NC2
+MSC.NC2    1.      0.      1.
$ MSC.Nastran for Windows Load Set 1 : load
FORCE      1      23870      0      1.-87938.9      0.      0.
FORCE      1      23871      0      1.-97339.3      0.      0.
FORCE      1      23872      0      1.-116915.      0.      0.
.
.
.
$ MSC.Nastran for Windows Constraint Set 1 : constraint
SPC        1      2      123456      0.
SPC        1      3      123456      0.
SPC        1      4      123456      0.
.
.
.

```



```
BEGIN BULK
$ *****
$   Written by : MSC.Nastran for Windows
$   Version   : 4.5
$   Modeller  : 7.00
$   Translator : MSC.Nastran
$   From Model : D:\hADI nASTRAN\imperfection 02\90 bars 75 drjt\90 bars 75 drjt.MOD
$   Date      : Sun Jun 06 19:48:42 2004
$   Output To : D:\hADI nASTRAN\imperfection 02\90 bars 75 drjt\90 ba000
$ *****
$
$
NLPARM      1      2      AUTO      5      25      PW      YES+
+           0.001  0.001  1.E-7      3      25      4      0.2      0.5+
+           5
CORD2C      1      0      0.      0.      0.      0.      0.      1.+MSC.NC1
+MSC.NC1    1.      0.      1.
CORD2S      2      0      0.      0.      0.      0.      0.      1.+MSC.NC2
+MSC.NC2    1.      0.      1.
$ MSC.Nastran for Windows Load Set 1 : load
FORCE      1      19835      0      1.-87938.9      0.      0.
FORCE      1      19836      0      1.-97339.3      0.      0.
FORCE      1      19837      0      1.-116915.      0.      0.
.
.
.
$ MSC.Nastran for Windows Constraint Set 1 : constraint
SPC        1      2      123456      0.
SPC        1      3      123456      0.
.
.
SPC        1      14      23456      0.
```

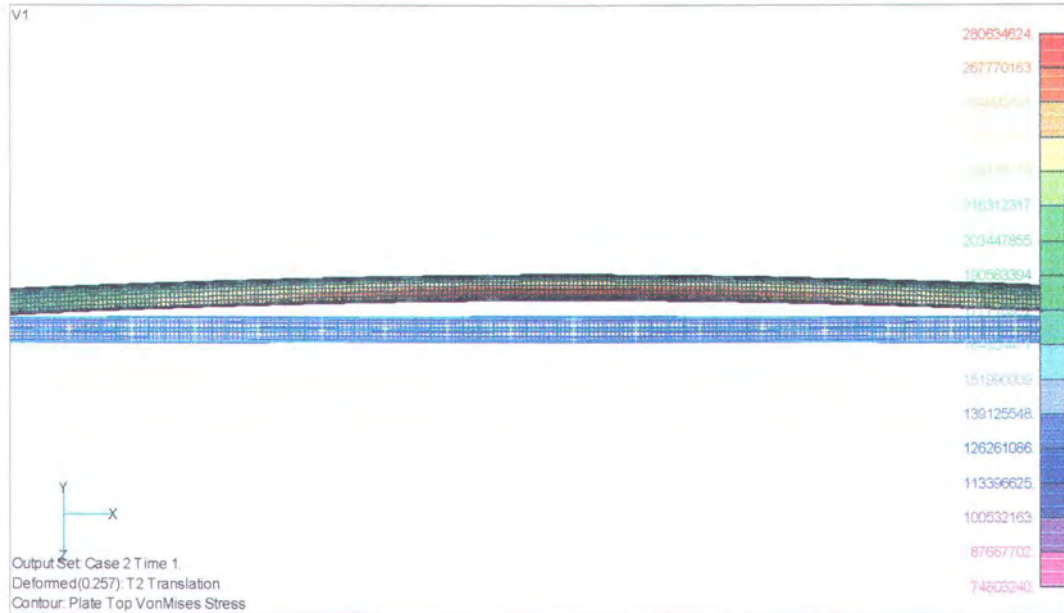


Lampiran II : Input Permodelan

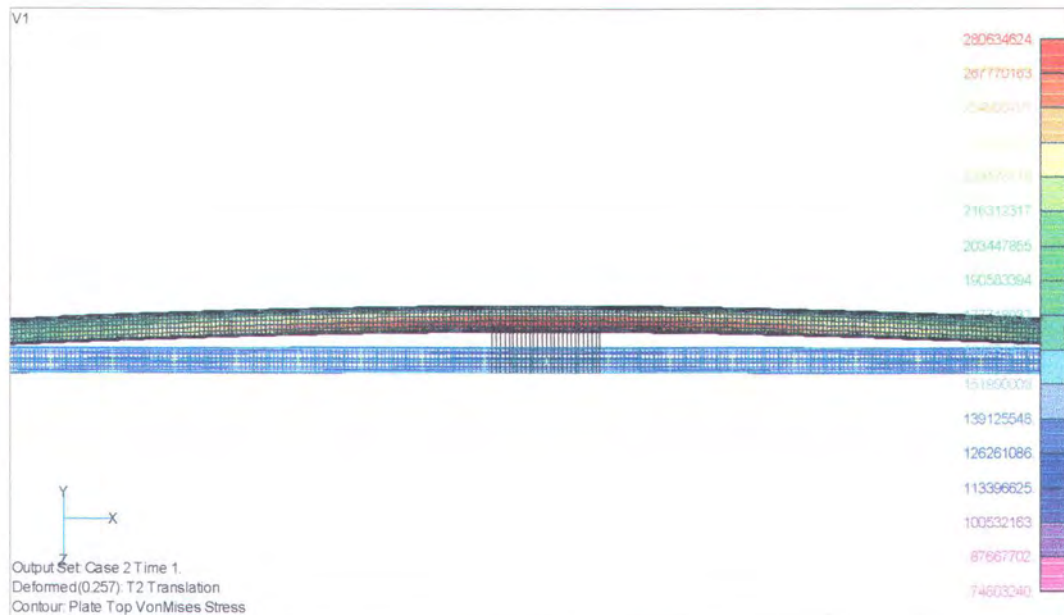
```
BEGIN BULK
$ *****
$   Written by : MSC.Nastran for Windows
$   Version   : 4.5
$   Modeller  : 7.00
$   Translator : MSC.Nastran
$   From Model : D:\hADI nASTRAN\imperfection 01\84 bars 90 drjt\84 bars 90 drjt.MOD
$   Date      : Sun Jun 06 19:20:24 2004
$   Output To : D:\hADI nASTRAN\imperfection 01\84 bars 90 drjt\84 ba000
$ *****
$
$
NLPARM      1      2      AUTO      5      25      PW      YES+
+           0.001  0.001  1.E-7      3      25      4      0.2      0.5+
+           5
CORD2C      1      0      0.      0.      0.      0.      0.      1.+MSC.NC1
+MSC.NC1    1.      0.      1.
CORD2S      2      0      0.      0.      0.      0.      0.      1.+MSC.NC2
+MSC.NC2    1.      0.      1.
$ MSC.Nastran for Windows Load Set 1 : load
FORCE      1      18043      0      1.-142541.      0.      0.
FORCE      1      18044      0      1.-171207.      0.      0.
FORCE      1      18045      0      1.-199597.      0.      0.
.
.
.
$ MSC.Nastran for Windows Constraint Set 1 : constraint
SPC        1      1      123456      0.
SPC        1      2      123456      0.
SPC        1      3      123456      0.
.
.
.
SPC        1      1      123456      0.
```



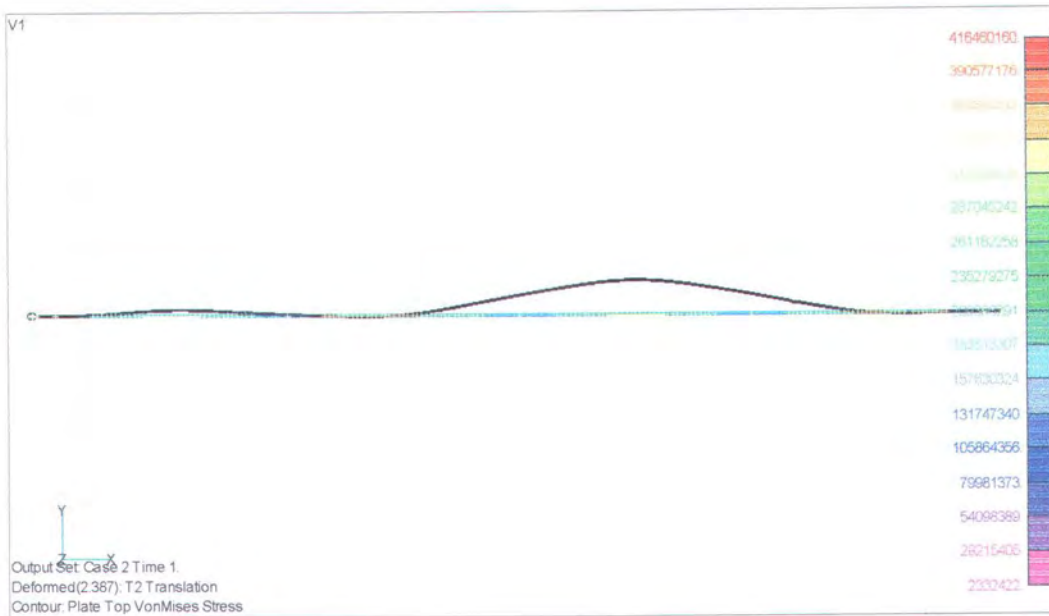
LAMPIRAN III
GAMBAR DEFORMASI PIPA



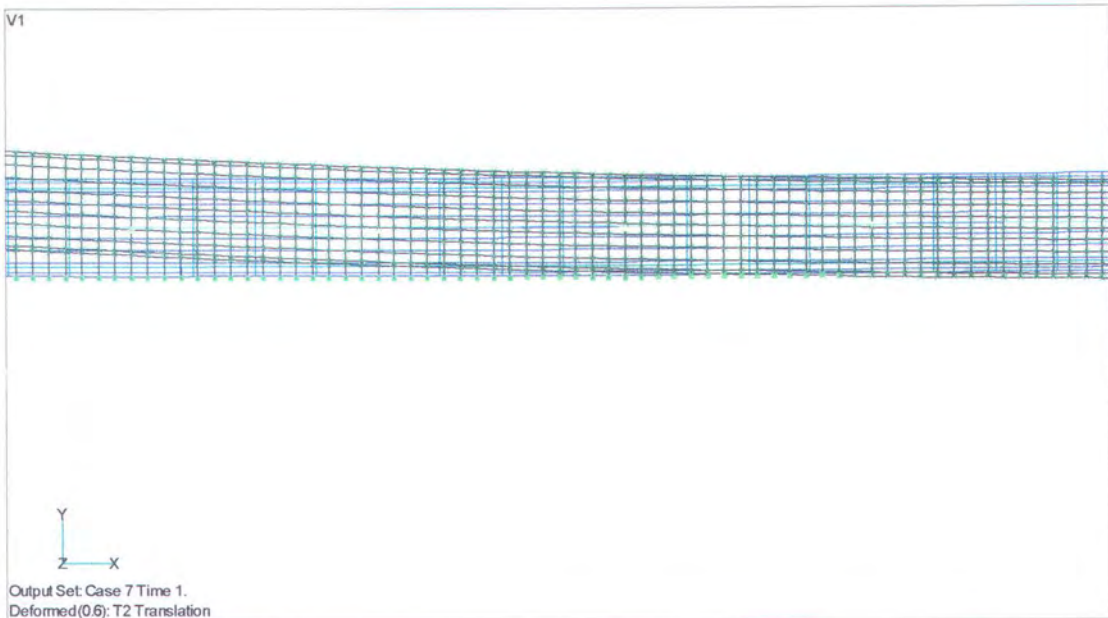
Gambar 7a. Deformasi pipa tanpa menggunakan gap elemen



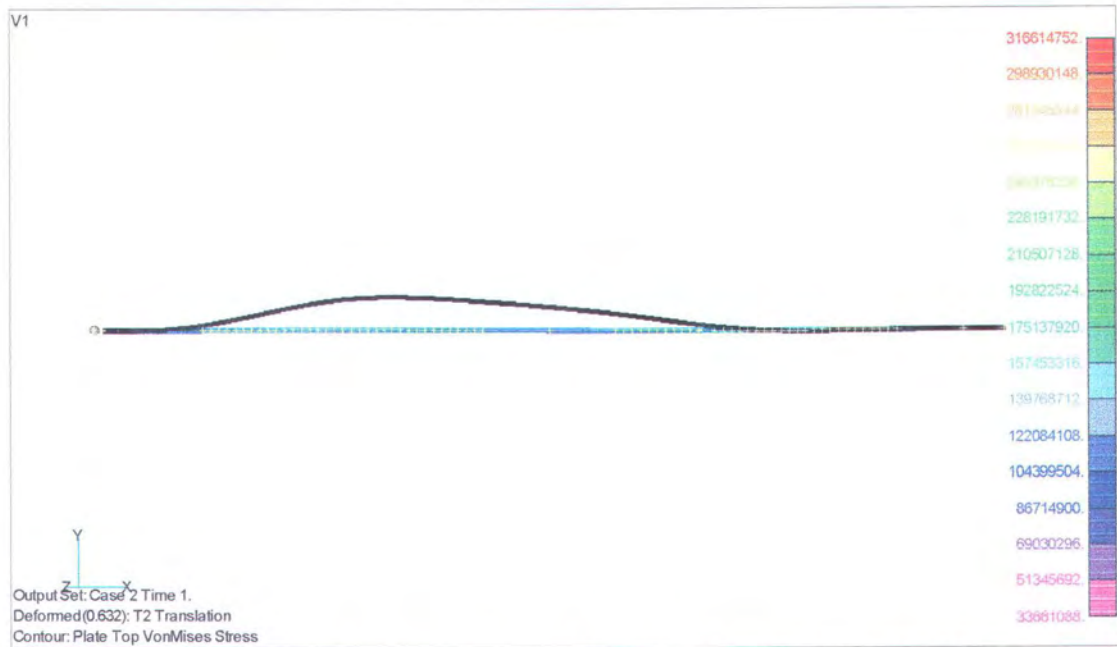
Gambar 7b. Deformasi pipa menggunakan gap elemen



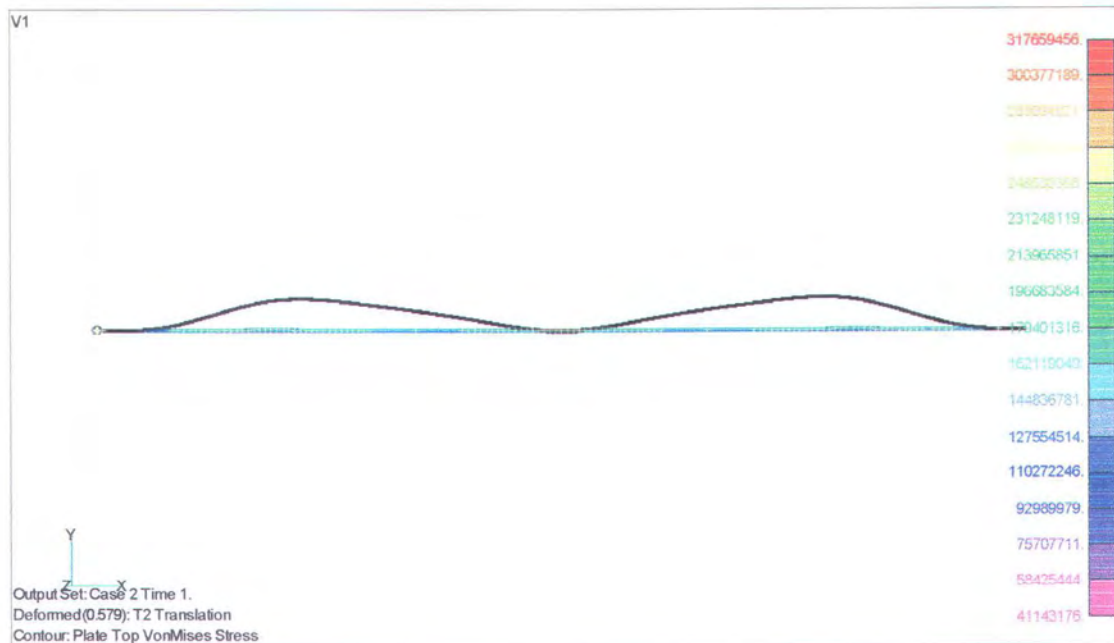
Gambar 5. Deformasi pada pipa dengan kelengkungan dua panjang gelombang



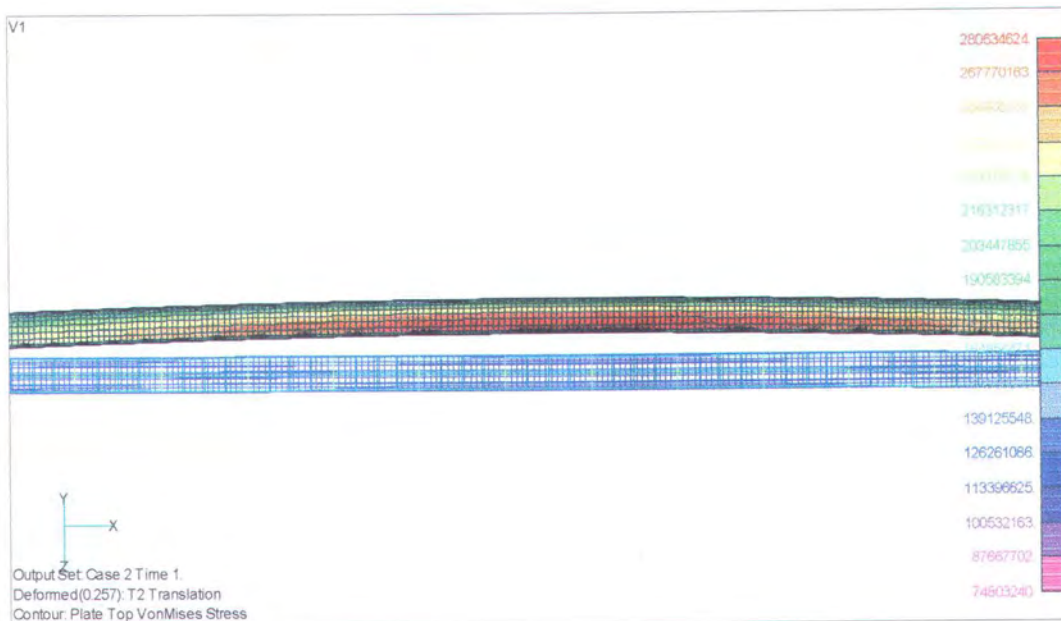
Gambar 6. Gap elemen pipa dengan kelengkungan awal ganda 0.1m dan -0,1 m, pembebanan 90 bars 90 derajat



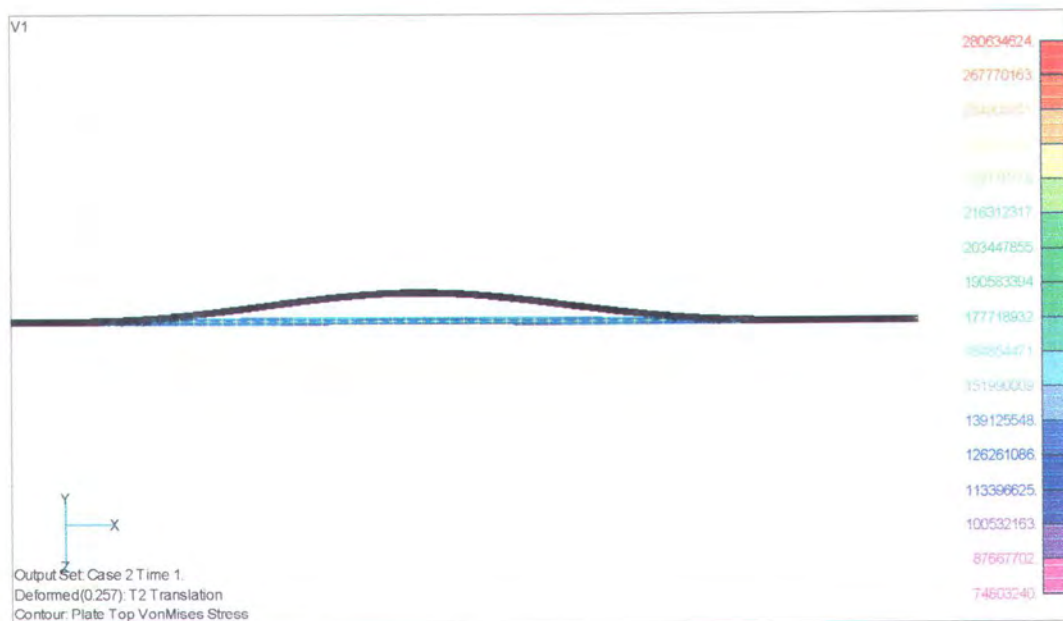
Gambar 3. Deformasi pipa dengan kelengkungan awal ganda 0.1m dan -0,1 m, pembebanan 90 bars 90 derajat



Gambar 4 Deformasi pada pipa dengan kelengkungan satu setengah panjang gelombang



Gambar 1. Contur deformasi pipa dengan kelengkungan awal



Gambar 2. Deformasi pipa dengan kelengkungan awal 0.1m, pembebanan 90 bars 90 derajat



LAMPIRAN IV
OUTPUT DEFORMASI PADA
PERMODELAN PIPA



Lampiran IV : Output Deformasi Pada Permodelan Pipa

Deformasi pipa akibat pembebanan internal pressure dan internal temperature

Displacemet 90 bars 90 oC

LOAD STEP = 1.00000E+00

DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
11573	G	-2.962038E-02	2.574145E-01	-9.178403E-06	9.011048E-05	5.004873E-07	2.233093E-04
11574	G	-2.961142E-02	2.574168E-01	-2.213158E-05	1.497491E-04	1.309369E-06	2.239492E-04
11575	G	-2.959997E-02	2.574147E-01	-3.695040E-05	1.722530E-04	2.434277E-06	2.244784E-04
11576	G	-2.958859E-02	2.574075E-01	-4.957609E-05	1.698003E-04	3.262804E-06	2.245540E-04
11577	G	-2.963816E-02	2.574169E-01	4.975289E-05	-1.706127E-04	-2.965539E-06	5.531865E-05
11578	G	-2.964089E-02	2.574240E-01	3.706475E-05	-1.738252E-04	-2.369521E-06	5.533190E-05
11579	G	-2.964362E-02	2.574261E-01	2.217768E-05	-1.507019E-04	-1.290747E-06	5.488003E-05
11580	G	-2.964574E-02	2.574237E-01	9.188532E-06	-9.056828E-05	-3.877096E-07	5.404497E-05
11581	G	-2.964656E-02	2.574218E-01	1.793048E-09	-1.138633E-08	-3.493795E-10	5.361107E-05
11582	G	-2.964574E-02	2.574237E-01	-9.189986E-06	9.059969E-05	3.872916E-07	5.404297E-05
11583	G	-2.964362E-02	2.574261E-01	-2.217384E-05	1.507043E-04	1.290822E-06	5.487963E-05
11584	G	-2.964089E-02	2.574240E-01	-3.706117E-05	1.738320E-04	2.370463E-06	5.533220E-05

Displacemet 90 bars 80 oC

LOAD STEP = 1.00000E+00

DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
11574	G	-3.065174E-02	2.664604E-01	-2.290915E-05	1.550101E-04	1.355369E-06	2.318171E-04
11575	G	-3.063988E-02	2.664583E-01	-3.824860E-05	1.783046E-04	2.519799E-06	2.323649E-04
11576	G	-3.062811E-02	2.664509E-01	-5.131786E-05	1.757658E-04	3.377434E-06	2.324431E-04
11577	G	-3.067942E-02	2.664606E-01	5.150079E-05	-1.766067E-04	-3.069726E-06	5.726214E-05
11578	G	-3.068225E-02	2.664680E-01	3.836688E-05	-1.799321E-04	-2.452769E-06	5.727585E-05
11579	G	-3.068508E-02	2.664701E-01	2.295679E-05	-1.559964E-04	-1.336094E-06	5.680811E-05
11580	G	-3.068727E-02	2.664676E-01	9.511306E-06	-9.375016E-05	-4.013313E-07	5.594370E-05
11581	G	-3.068811E-02	2.664656E-01	1.813960E-09	-1.178592E-08	-3.621845E-10	5.549456E-05
11582	G	-3.068727E-02	2.664676E-01	-9.512893E-06	9.378268E-05	4.008976E-07	5.549456E-05
11583	G	-3.068508E-02	2.664701E-01	-5.131786E-05	1.757658E-04	3.377434E-06	2.324431E-04
11584	G	-3.068225E-02	2.664680E-01	3.824860E-05	1.783046E-04	2.519799E-06	2.323649E-04



Lampiran IV : Output Deformasi Pada Permodelan Pipa

Displacement 90 bars 70 oC

LOAD STEP = 1.00000E+00

DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
11574	G	-3.168033E-02	2.754022E-01	-2.367792E-05	1.602118E-04	1.400852E-06	2.395963E-04
11575	G	-3.166808E-02	2.753999E-01	-3.953212E-05	1.842881E-04	2.604356E-06	2.401625E-04
11576	G	-3.165591E-02	2.753923E-01	-5.303995E-05	1.816640E-04	3.490771E-06	2.402433E-04
11577	G	-3.170894E-02	2.754023E-01	5.322902E-05	-1.825332E-04	-3.172738E-06	5.918371E-05
11578	G	-3.171187E-02	2.754099E-01	3.965438E-05	-1.859702E-04	-2.535078E-06	5.919788E-05
11579	G	-3.171479E-02	2.754121E-01	2.372717E-05	-1.612312E-04	-1.380930E-06	5.871444E-05
11580	G	-3.171705E-02	2.754095E-01	9.830484E-06	-9.689617E-05	-4.147992E-07	5.782102E-05
11581	G	-3.171793E-02	2.754075E-01	1.879070E-09	-1.218074E-08	-3.745960E-10	5.735681E-05
11582	G	-3.171705E-02	2.754095E-01	-9.832117E-06	9.692978E-05	4.143504E-07	5.781889E-05
11583	G	-3.171479E-02	2.754121E-01	-2.372314E-05	1.612338E-04	1.381010E-06	5.871400E-05
11584	G	-3.171187E-02	2.754099E-01	-3.965062E-05	1.859774E-04	2.536083E-06	5.919819E-05

Displacement 90 bars 60 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
11574	G	-1.167821E-02	1.015205E-01	-8.728295E-06	5.905833E-05	5.163911E-07	8.832153E-05
11575	G	-1.167369E-02	1.015197E-01	-1.457257E-05	6.793346E-05	9.600346E-07	8.853024E-05
11576	G	-1.166921E-02	1.015169E-01	-1.955192E-05	6.696617E-05	1.286791E-06	8.856003E-05
11577	G	-1.168876E-02	1.015206E-01	1.962164E-05	-6.728657E-05	-1.169555E-06	2.181668E-05
11578	G	-1.168983E-02	1.015234E-01	1.461767E-05	-6.855353E-05	-9.344968E-07	2.182190E-05
11579	G	-1.169091E-02	1.015242E-01	8.746477E-06	-5.943411E-05	-5.090476E-07	2.164370E-05
11580	G	-1.169175E-02	1.015233E-01	3.623791E-06	-3.571849E-05	-1.529060E-07	2.131436E-05
11581	G	-1.169207E-02	1.015225E-01	7.065165E-10	-4.490347E-09	-1.381225E-10	2.114324E-05
11582	G	-1.169175E-02	1.015233E-01	-3.624365E-06	3.573088E-05	1.527405E-07	2.131357E-05
11583	G	-1.169091E-02	1.015242E-01	-8.744963E-06	5.943504E-05	5.090767E-07	2.164354E-05
11584	G	-1.168983E-02	1.015234E-01	-1.461626E-05	6.855621E-05	9.348674E-07	2.182202E-05



Lampiran IV : Output Deformasi Pada Permodelan Pipa

Displacement 80 bars 90 oC

LOAD STEP = 1.00000E+00

DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
11574	G	-2.364146E-02	2.055190E-01	-1.766966E-05	1.195581E-04	1.045386E-06	1.787988E-04
11575	G	-2.363232E-02	2.055173E-01	-2.950086E-05	1.375250E-04	1.943502E-06	1.792213E-04
11576	G	-2.362323E-02	2.055116E-01	-3.958109E-05	1.355669E-04	2.604990E-06	1.792816E-04
11577	G	-2.366281E-02	2.055191E-01	3.972218E-05	-1.362155E-04	-2.367657E-06	4.416586E-05
11578	G	-2.366499E-02	2.055248E-01	2.959209E-05	-1.387803E-04	-1.891803E-06	4.417644E-05
11579	G	-2.366717E-02	2.055264E-01	1.770641E-05	-1.203189E-04	-1.030520E-06	4.381567E-05
11580	G	-2.366886E-02	2.055245E-01	7.336002E-06	-7.230880E-05	-3.095441E-07	4.314896E-05
11581	G	-2.366951E-02	2.055229E-01	1.402592E-09	-9.089893E-09	-2.795801E-10	4.280254E-05
11582	G	-2.366886E-02	2.055245E-01	-7.337221E-06	7.233388E-05	3.092091E-07	4.314736E-05
11583	G	-2.366717E-02	2.055264E-01	-1.770340E-05	1.203208E-04	1.030579E-06	4.381534E-05
11584	G	-2.366499E-02	2.055248E-01	-2.958929E-05	1.387857E-04	1.892553E-06	4.417667E-05

Displacement 80 bars 80 oC

LOAD STEP = 1.00000E+00

DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
11574	G	-2.467008E-02	2.144610E-01	-1.843846E-05	1.247600E-04	1.090871E-06	1.865782E-04
11575	G	-2.466054E-02	2.144592E-01	-3.078443E-05	1.435087E-04	2.028063E-06	1.870191E-04
11576	G	-2.465107E-02	2.144533E-01	-4.130324E-05	1.414653E-04	2.718331E-06	1.870821E-04
11577	G	-2.469237E-02	2.144611E-01	4.145045E-05	-1.421421E-04	-2.470672E-06	4.608749E-05
11578	G	-2.468461E-02	2.144630E-01	2.827660E-05	-1.448160E-04	-1.874113E-06	4.608852E-05
11579	G	-2.468461E-02	2.144630E-01	2.827660E-05	-1.448160E-04	-1.874113E-06	4.608852E-05
11580	G	-2.468461E-02	2.144630E-01	2.827660E-05	-1.448160E-04	-1.874113E-06	4.608852E-05
11581	G	-2.468461E-02	2.144630E-01	2.827660E-05	-1.448160E-04	-1.874113E-06	4.608852E-05
11582	G	-2.468461E-02	2.144630E-01	2.827660E-05	-1.448160E-04	-1.874113E-06	4.608852E-05
11583	G	-2.468461E-02	2.144630E-01	2.827660E-05	-1.448160E-04	-1.874113E-06	4.608852E-05
11584	G	-2.468461E-02	2.144630E-01	2.827660E-05	-1.448160E-04	-1.874113E-06	4.608852E-05



Lampiran IV : Output Deformasi Pada Permodelan Pipa

Displacement 80 bars 70 °C
LOAD STEP = 1.00000E+00

DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
11574	G	-2.569872E-02	2.234031E-01	-1.920727E-05	1.299620E-04	1.136355E-06	1.943578E-04
11575	G	-2.568879E-02	2.234013E-01	-3.206802E-05	1.494924E-04	2.112624E-06	1.948171E-04
11576	G	-2.567891E-02	2.233951E-01	-4.302542E-05	1.473638E-04	2.831674E-06	1.948826E-04
11577	G	-2.572194E-02	2.234032E-01	4.317877E-05	-1.480689E-04	-2.573689E-06	4.800915E-05
11578	G	-2.572431E-02	2.234094E-01	3.216717E-05	-1.508569E-04	-2.056426E-06	4.802064E-05
11579	G	-2.572667E-02	2.234112E-01	1.924720E-05	-1.307889E-04	-1.120195E-06	4.762848E-05
11580	G	-2.572852E-02	2.234091E-01	7.974365E-06	-7.860107E-05	-3.364802E-07	4.690376E-05
11581	G	-2.572922E-02	2.234074E-01	1.512274E-09	-9.881163E-09	-3.036473E-10	4.652719E-05
11582	G	-2.572852E-02	2.234091E-01	-7.975714E-06	7.862833E-05	3.361165E-07	4.690202E-05
11583	G	-2.572667E-02	2.234112E-01	-1.924395E-05	1.307910E-04	1.120260E-06	4.762813E-05
11584	G	-2.572431E-02	2.234094E-01	-3.216415E-05	1.508628E-04	2.057242E-06	4.802090E-05

Displacement 80 bars 60 °C
LOAD STEP = 1.00000E+00

DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
11574	G	-1.270682E-02	1.104624E-01	-9.497102E-06	6.426017E-05	5.618749E-07	9.610087E-05
11575	G	-1.270191E-02	1.104615E-01	-1.585614E-05	7.391702E-05	1.044594E-06	9.632796E-05
11576	G	-1.269703E-02	1.104585E-01	-2.127407E-05	7.286453E-05	1.400131E-06	9.636037E-05
11577	G	-1.271830E-02	1.104625E-01	2.134989E-05	-7.321314E-05	-1.272569E-06	2.373829E-05
11578	G	-1.271947E-02	1.104655E-01	1.590517E-05	-7.459171E-05	-1.016807E-06	2.374397E-05
11579	G	-1.272064E-02	1.104664E-01	9.516843E-06	-6.466905E-05	-5.538841E-07	2.355007E-05
11580	G	-1.272155E-02	1.104654E-01	3.942952E-06	-3.886457E-05	-1.663737E-07	2.319172E-05
11581	G	-1.272190E-02	1.104646E-01	7.475593E-10	-4.885140E-09	-1.500927E-10	2.300553E-05
11582	G	-1.272155E-02	1.104654E-01	-3.943619E-06	3.887805E-05	1.661940E-07	2.319087E-05
11583	G	-1.272064E-02	1.104664E-01	-9.515237E-06	6.467006E-05	5.539162E-07	2.354989E-05
11584	G	-1.271947E-02	1.104655E-01	-1.590367E-05	7.459462E-05	1.017210E-06	2.374410E-05



Lampiran IV : Output Deformasi Pada Permodelan Pipa

Displacement 70 bars 90 °C
LOAD STEP = 1.00000E+00

DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
11574	G	-1.765984E-02	1.535198E-01	-1.319900E-05	8.930828E-05	7.808891E-07	1.335602E-04
11575	G	-1.765301E-02	1.535186E-01	-2.203674E-05	1.027293E-04	1.451769E-06	1.338758E-04
11576	G	-1.764623E-02	1.535143E-01	-2.956653E-05	1.012666E-04	1.945891E-06	1.339209E-04
11577	G	-1.767579E-02	1.535199E-01	2.967190E-05	-1.017511E-04	-1.768607E-06	3.299128E-05
11578	G	-1.767742E-02	1.535241E-01	2.210487E-05	-1.036670E-04	-1.413150E-06	3.299918E-05
11579	G	-1.767905E-02	1.535254E-01	1.322643E-05	-8.987653E-05	-7.697840E-07	3.272969E-05
11580	G	-1.768031E-02	1.535239E-01	5.479879E-06	-5.401367E-05	-2.312250E-07	3.223167E-05
11581	G	-1.768080E-02	1.535228E-01	1.034994E-09	-6.790287E-09	-2.087122E-10	3.197290E-05
11582	G	-1.768031E-02	1.535239E-01	-5.480815E-06	5.403240E-05	2.309750E-07	3.223048E-05
11583	G	-1.767905E-02	1.535254E-01	-1.322421E-05	8.987794E-05	7.698283E-07	3.272945E-05
11584	G	-1.767742E-02	1.535241E-01	-2.210280E-05	1.036710E-04	1.413711E-06	3.299936E-05

Displacemen 70 bars 80 °C
LOAD STEP = 1.00000E+00

DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
11574	G	-1.868846E-02	1.624618E-01	-1.396779E-05	9.451015E-05	8.263731E-07	1.413396E-04
11575	G	-1.868123E-02	1.624604E-01	-2.332030E-05	1.087129E-04	1.536329E-06	1.416736E-04
11576	G	-1.867406E-02	1.624559E-01	-3.128867E-05	1.071650E-04	2.059232E-06	1.417213E-04
11577	G	-1.870534E-02	1.624619E-01	3.140019E-05	-1.076777E-04	-1.871621E-06	3.491290E-05
11578	G	-1.870706E-02	1.624663E-01	2.339240E-05	-1.097052E-04	-1.495461E-06	3.492126E-05
11579	G	-1.870879E-02	1.624676E-01	1.399683E-05	-9.511150E-05	-8.146209E-07	3.463608E-05
11580	G	-1.871013E-02	1.624661E-01	5.799069E-06	-5.715977E-05	-2.446929E-07	3.410905E-05
11581	G	-1.871064E-02	1.624649E-01	1.102705E-09	-7.185883E-09	-2.207809E-10	3.383520E-05
11582	G	-1.871013E-02	1.624661E-01	-5.800044E-06	5.717959E-05	2.444285E-07	3.410778E-05
11583	G	-1.870879E-02	1.624676E-01	-1.399446E-05	9.511299E-05	8.146679E-07	3.463582E-05



Lampiran IV : Output Deformasi Pada Permodelan Pipa

Displacement 70 bars 70 °C
LOAD STEP = 1.00000E+00

DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
11574	G	-1.971706E-02	1.714035E-01	-1.473656E-05	9.971191E-05	8.718562E-07	1.491188E-04
11575	G	-1.970943E-02	1.714021E-01	-2.460383E-05	1.146964E-04	1.620888E-06	1.494712E-04
11576	G	-1.970186E-02	1.713974E-01	-3.301077E-05	1.130632E-04	2.172571E-06	1.495215E-04
11577	G	-1.973487E-02	1.714036E-01	3.312843E-05	-1.136042E-04	-1.974634E-06	3.683448E-05
11578	G	-1.973669E-02	1.714084E-01	2.467990E-05	-1.157433E-04	-1.577769E-06	3.684330E-05
11579	G	-1.973850E-02	1.714097E-01	1.476720E-05	-1.003464E-04	-8.594567E-07	3.654242E-05
11580	G	-1.973992E-02	1.714081E-01	6.118246E-06	-6.030580E-05	-2.581604E-07	3.598638E-05
11581	G	-1.974046E-02	1.714069E-01	1.163736E-09	-7.581684E-09	-2.326879E-10	3.569747E-05
11582	G	-1.973992E-02	1.714081E-01	-6.119274E-06	6.032671E-05	2.578819E-07	3.598505E-05
11583	G	-1.973850E-02	1.714097E-01	-1.476470E-05	1.003479E-04	8.595069E-07	3.654215E-05
11584	G	-1.973669E-02	1.714084E-01	-2.467758E-05	1.157478E-04	1.578396E-06	3.684350E-05

Displacemen 70 bars 60 °C
LOAD STEP = 1.00000E+00

DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
11574	G	-1.373543E-02	1.194043E-01	-1.026589E-05	6.946198E-05	6.073583E-07	1.038802E-04
11575	G	-1.373012E-02	1.194033E-01	-1.713969E-05	7.990055E-05	1.129154E-06	1.041256E-04
11576	G	-1.372484E-02	1.194000E-01	-2.299619E-05	7.876287E-05	1.513471E-06	1.041607E-04
11577	G	-1.374784E-02	1.194044E-01	2.307814E-05	-7.913970E-05	-1.375583E-06	2.565988E-05
11578	G	-1.374910E-02	1.194076E-01	1.719267E-05	-8.062985E-05	-1.099116E-06	2.566603E-05
11579	G	-1.375037E-02	1.194086E-01	1.028722E-05	-6.990396E-05	-5.987205E-07	2.545643E-05
11580	G	-1.375135E-02	1.194075E-01	4.262127E-06	-4.201063E-05	-1.798414E-07	2.506908E-05
11581	G	-1.375173E-02	1.194066E-01	8.040624E-10	-5.281268E-09	-1.620783E-10	2.486781E-05
11582	G	-1.375135E-02	1.194075E-01	-4.262856E-06	4.202520E-05	1.796475E-07	2.506815E-05



Lampiran IV : Output Deformasi Pada Permodelan Pipa

Internal Pressure dan Internal Temperatur Pada Beban Operasional

Beban operasional pada amplitudo kelengkungan awal 0.3 meter

90 bars 75 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
12645	G	-3.248695E-02	9.563841E-01	1.967052E-05	-4.249061E-04	8.049250E-06	4.324059E-04
12646	G	-3.250955E-02	9.563671E-01	-9.974108E-07	-3.887081E-04	3.006545E-06	4.355090E-04
12647	G	-3.252736E-02	9.563434E-01	-8.509643E-06	-2.411502E-04	-3.084282E-07	4.408565E-04
12648	G	-3.253426E-02	9.563316E-01	-5.905663E-09	-1.437057E-08	-1.217597E-09	4.437651E-04
12649	G	-3.252736E-02	9.563435E-01	8.503358E-06	2.412539E-04	3.052362E-07	4.408495E-04
12650	G	-3.250955E-02	9.563671E-01	9.852004E-07	3.887063E-04	-3.009395E-06	4.355063E-04
12651	G	-3.248695E-02	9.563841E-01	-1.968280E-05	4.249098E-04	-8.050282E-06	4.324047E-04
12652	G	-3.246468E-02	9.563885E-01	-4.187549E-05	3.896991E-04	-1.128552E-05	4.320032E-04
12653	G	-3.248848E-02	9.564054E-01	4.114103E-05	-3.869401E-04	1.143004E-05	7.497024E-05
12654	G	-3.249254E-02	9.564011E-01	1.913738E-05	-4.201705E-04	8.317524E-06	7.529409E-05

90 bars 84 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
12646	G	-4.098457E-02	1.205686E+00	-1.257470E-06	-4.900417E-04	3.790232E-06	5.490433E-04
12647	G	-4.100703E-02	1.205656E+00	-1.072809E-05	-3.040165E-04	-3.888981E-07	5.557849E-04
12648	G	-4.101574E-02	1.205641E+00	-7.485074E-09	-1.811027E-08	-1.541144E-09	5.594518E-04
12649	G	-4.100703E-02	1.205656E+00	1.072009E-05	3.041472E-04	3.848618E-07	5.557761E-04
12650	G	-4.098457E-02	1.205686E+00	1.241996E-06	4.900396E-04	-3.793838E-06	5.490399E-04
12651	G	-4.095608E-02	1.205707E+00	-2.481402E-05	5.356810E-04	-1.014884E-05	5.451298E-04
12652	G	-4.092802E-02	1.205713E+00	-5.279220E-05	4.912912E-04	-1.422750E-05	5.446237E-04
12653	G	-4.095822E-02	1.205734E+00	5.186619E-05	-4.878129E-04	1.440976E-05	9.451449E-05
12654	G	-4.098848E-02	1.205734E+00	5.186619E-05	-4.878129E-04	1.440976E-05	9.451449E-05



Lampiran IV : Output Deformasi Pada Permodelan Pipa

90 bars 90 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
12646	G	-4.663453E-02	1.371896E+00	-1.429995E-06	-5.575967E-04	4.312642E-06	6.247320E-04
12647	G	-4.666007E-02	1.371862E+00	-1.220619E-05	-3.459268E-04	-4.425677E-07	6.324030E-04
12648	G	-4.666999E-02	1.371845E+00	-7.693290E-09	-2.060856E-08	-1.748325E-09	6.365753E-04
12649	G	-4.666007E-02	1.371862E+00	1.219874E-05	3.460756E-04	4.379855E-07	6.323929E-04
12650	G	-4.663453E-02	1.371896E+00	1.414035E-06	5.575942E-04	-4.316734E-06	6.247281E-04
12651	G	-4.660210E-02	1.371921E+00	-2.823394E-05	6.095276E-04	-1.154780E-05	6.202790E-04
12652	G	-4.657017E-02	1.371927E+00	-6.006908E-05	5.590184E-04	-1.618873E-05	6.197031E-04
12653	G	-4.660431E-02	1.371951E+00	5.901705E-05	-5.550606E-04	1.639622E-05	1.075438E-04
12654	G	-4.661014E-02	1.371945E+00	2.745311E-05	-6.027291E-04	1.193134E-05	1.080084E-04

100 bars 75 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
12647	G	-3.090716E-02	9.087077E-01	-8.085736E-06	-2.291384E-04	-2.930584E-07	4.188973E-04
12648	G	-3.091372E-02	9.086965E-01	-5.572598E-09	-1.365388E-08	-1.156343E-09	4.216610E-04
12649	G	-3.090716E-02	9.087077E-01	8.079842E-06	2.292370E-04	2.900267E-07	4.188906E-04
12650	G	-3.089023E-02	9.087301E-01	9.361662E-07	3.693448E-04	-2.859505E-06	4.138135E-04
12651	G	-3.086876E-02	9.087463E-01	-1.870235E-05	4.037449E-04	-7.649305E-06	4.108665E-04
12652	G	-3.084761E-02	9.087505E-01	-3.978962E-05	3.702881E-04	-1.072340E-05	4.104850E-04
12653	G	-3.087022E-02	9.087665E-01	3.909182E-05	-3.676665E-04	1.086071E-05	7.123596E-05
12654	G	-3.087408E-02	9.087624E-01	1.818418E-05	-3.992416E-04	7.903227E-06	7.154368E-05

120 bars 105 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

DISPLACEMENT VECTOR



Lampiran IV : Output Deformasi Pada Permodelan Pipa

Beban operasional pada amplitudo kelengkungan awal 0.2 meter

90 bars 75 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
11694	G	-2.431311E-02	4.993998E-01	-2.206547E-05	2.625771E-04	4.651522E-06	2.314409E-04
11695	G	-2.430144E-02	4.993993E-01	-3.715132E-05	2.474487E-04	6.272547E-06	2.315736E-04
11696	G	-2.433068E-02	4.994069E-01	3.751505E-05	-2.485091E-04	-5.452870E-06	-3.080432E-06
11697	G	-2.433040E-02	4.994074E-01	2.233909E-05	-2.649190E-04	-4.558177E-06	-2.924016E-06
11698	G	-2.433008E-02	4.994000E-01	7.196426E-06	-2.383794E-04	-1.958208E-06	-4.183854E-06
11699	G	-2.432980E-02	4.993879E-01	-9.176487E-07	-1.465909E-04	1.514884E-07	-7.206171E-06
11700	G	-2.432969E-02	4.993816E-01	-8.655396E-10	-1.160205E-08	4.529004E-10	-9.071189E-06
11701	G	-2.432980E-02	4.993879E-01	9.168499E-07	1.466510E-04	-1.507847E-07	-7.204726E-06

90 bars 84 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
11694	G	-3.065138E-02	6.295900E-01	-2.781756E-05	3.310293E-04	5.864156E-06	2.917761E-04
11695	G	-3.063667E-02	6.295894E-01	-4.683619E-05	3.119570E-04	7.907771E-06	2.919433E-04
11696	G	-3.067353E-02	6.295991E-01	4.729522E-05	-3.132938E-04	-6.874397E-06	-3.883489E-06
11697	G	-3.067318E-02	6.295996E-01	2.816299E-05	-3.339816E-04	-5.746463E-06	-3.686295E-06
11698	G	-3.067278E-02	6.295903E-01	9.072724E-06	-3.005234E-04	-2.468699E-06	-5.274565E-06
11699	G	-3.067243E-02	6.295751E-01	-1.156637E-06	-1.848062E-04	1.909821E-07	-9.084781E-06
11700	G	-3.067228E-02	6.295671E-01	-8.543369E-10	-1.462399E-08	5.723548E-10	-1.143600E-05
11701	G	-3.067243E-02	6.295751E-01	1.156104E-06	1.848820E-04	-1.900921E-07	-9.082959E-06

100 bars 75 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

DISPLACEMENT VECTOR



Lampiran IV : Output Deformasi Pada Permodelan Pipa

120 bars 105 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
11694	G	-4.180745E-02	8.587396E-01	-3.794212E-05	4.515128E-04	7.998553E-06	3.979727E-04
11695	G	-4.178738E-02	8.587388E-01	-6.388288E-05	4.254988E-04	1.078597E-05	3.982008E-04
11696	G	-4.183766E-02	8.587519E-01	6.450918E-05	-4.273221E-04	-9.376450E-06	-5.296950E-06
11697	G	-4.183718E-02	8.587527E-01	3.841346E-05	-4.555396E-04	-7.837986E-06	-5.027985E-06
11698	G	-4.183663E-02	8.587399E-01	1.237499E-05	-4.099038E-04	-3.367227E-06	-7.194331E-06
11699	G	-4.183615E-02	8.587191E-01	-1.577514E-06	-2.520694E-04	2.604880E-07	-1.239134E-05
11700	G	-4.183595E-02	8.587083E-01	-1.065669E-09	-1.994367E-08	7.747264E-10	-1.559831E-05
11701	G	-4.183615E-02	8.587191E-01	1.576986E-06	2.521728E-04	-2.592860E-07	-1.238885E-05

Beban Operasional pada kelengkungan awal 0.1 meter

90 bars 75 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
11577	G	-2.066932E-02	1.795196E-01	3.469708E-05	-1.189833E-04	-2.068134E-06	3.857860E-05
11578	G	-2.067122E-02	1.795246E-01	2.584851E-05	-1.212237E-04	-1.652478E-06	3.858784E-05
11579	G	-2.067313E-02	1.795260E-01	1.546644E-05	-1.050978E-04	-9.001532E-07	3.827271E-05
11580	G	-2.067460E-02	1.795243E-01	6.407955E-06	-6.316129E-05	-2.703853E-07	3.769034E-05
11581	G	-2.067517E-02	1.795230E-01	1.228197E-09	-7.940139E-09	-2.446869E-10	3.738775E-05
11582	G	-2.067460E-02	1.795243E-01	-6.409013E-06	6.318319E-05	2.700917E-07	3.768895E-05
11583	G	-2.067313E-02	1.795260E-01	-1.546381E-05	1.050994E-04	9.002037E-07	3.827243E-05
11584	G	-2.067122E-02	1.795246E-01	-2.584606E-05	1.212285E-04	1.653133E-06	3.858804E-05

90 bars 84 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

DISPLACEMENT VECTOR



Lampiran IV : Output Deformasi Pada Permodelan Pipa

Deformasi pada permodelan pipa bergelombang

Displacemen dua gelombang

LOAD STEP = 1.00000E+00

D I S P L A C E M E N T V E C T O R

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
29182	G	-1.222260E-01	2.386778E+00	1.903673E-05	-3.313880E-04	-3.882553E-06	6.814447E-05
29183	G	-1.222296E-01	2.386761E+00	4.476744E-07	-2.199989E-04	-2.358156E-07	6.488428E-05
29184	G	-1.222311E-01	2.386750E+00	2.005779E-08	1.207728E-08	-3.253777E-08	6.221185E-05
29185	G	-1.222296E-01	2.386761E+00	-4.080452E-07	2.199686E-04	1.707246E-07	6.488425E-05
29186	G	-1.222260E-01	2.386778E+00	-1.899729E-05	3.313920E-04	3.816338E-06	6.814393E-05

Displacemen 1,5 panjang gelombang

LOAD STEP = 1.00000E+00

D I S P L A C E M E N T V E C T O R

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
27978	G	-1.120482E-01	5.790082E-01	-4.339871E-05	1.444332E-04	7.116589E-06	1.742511E-04
27979	G	-1.121080E-01	5.790156E-01	4.344237E-05	-1.457391E-04	-7.664206E-06	-2.177971E-05
27980	G	-1.121065E-01	5.790236E-01	2.830302E-05	-1.265717E-04	-1.065965E-05	-1.868078E-05
27981	G	-1.121050E-01	5.790253E-01	1.241496E-05	-7.794068E-05	-8.147062E-06	-1.391519E-05
27982	G	-1.121043E-01	5.790244E-01	-1.797623E-09	7.197562E-09	8.256226E-10	-1.152678E-05
27983	G	-1.121050E-01	5.790253E-01	-1.241580E-05	7.793627E-05	8.145845E-06	-1.391485E-05

Displacement 1 gelombang

LOAD STEP = 1.00000E+00

D I S P L A C E M E N T V E C T O R

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
11285	G	-3.156762E-02	6.247067E-01	8.450931E-06	-7.765958E-05	4.846228E-06	6.236497E-03
11286	G	-3.166525E-02	6.247052E-01	6.732912E-09	-1.025575E-08	6.235975E-10	6.234916E-03
11287	G	-3.156761E-02	6.247067E-01	-8.442136E-06	7.768802E-05	-4.848912E-06	6.236497E-03
11288	G	-3.131516E-02	6.247084E-01	-2.032907E-05	1.330309E-04	-6.849367E-06	6.239673E-03



LAMPIRAN V
OUTPUT TEGANGAN PADA
PERMODELAN PIPA



Lampiran V : Output Tegangan

Vonmises 90 bars 90 °C

0 LOAD STEP = 1.00000E+00

S T R E S S E S I N Q U A D R I L A T E R A L E L E M E N T S (Q U A D R)

ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	10316	CEN/4	-7.940000E-03	-2.872715E+05	-2.841988E+08	2.383525E+04	0.0048	-2.872695E+05	-2.841988E+08	2.840552E+08
			7.940000E-03	8.564183E+05	-2.763287E+08	2.047610E+05	0.0423	8.565696E+05	-2.763289E+08	2.767582E+08
	11748		-7.940000E-03	-6.231542E+05	-2.885157E+08	3.913218E+05	0.0779	-6.226223E+05	-2.885162E+08	2.882054E+08
			7.940000E-03	5.205356E+05	-2.806457E+08	5.722476E+05	0.1166	5.217002E+05	-2.806468E+08	2.809081E+08
	11749		-7.940000E-03	3.270080E+05	-2.798391E+08	4.527630E+05	0.0926	3.277397E+05	-2.798398E+08	2.800038E+08
			7.940000E-03	1.470698E+06	-2.719691E+08	6.336888E+05	0.1328	1.472166E+06	-2.719706E+08	2.727096E+08
	11758		-7.940000E-03	4.531744E+04	-2.798853E+08	-3.434448E+05	-0.0703	4.573880E+04	-2.798858E+08	2.799086E+08
			7.940000E-03	1.189007E+06	-2.720154E+08	-1.625191E+05	-0.0341	1.189104E+06	-2.720155E+08	2.726119E+08
	11757		-7.940000E-03	-9.060451E+05	-2.885636E+08	-4.042321E+05	-0.0805	-9.054771E+05	-2.885642E+08	2.881125E+08
			7.940000E-03	2.376446E+05	-2.806937E+08	-2.233064E+05	-0.0455	2.378221E+05	-2.806938E+08	2.808128E+08

Von mises 90 bars 80°C

LOAD STEP = 1.00000E+00

S T R E S S E S I N Q U A D R I L A T E R A L E L E M E N T S (Q U A D R)

ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	10316	CEN/4	-7.940000E-03	-2.973640E+05	-2.941833E+08	2.467264E+04	0.0048	-2.973619E+05	-2.941833E+08	2.940348E+08
			7.940000E-03	8.865063E+05	-2.860368E+08	2.119547E+05	0.0423	8.866629E+05	-2.860370E+08	2.864813E+08
	11748		-7.940000E-03	-6.450471E+05	-2.986519E+08	4.050699E+05	0.0779	-6.444965E+05	-2.986525E+08	2.983308E+08
			7.940000E-03	5.388233E+05	-2.905054E+08	5.923520E+05	0.1166	5.400288E+05	-2.905066E+08	2.907770E+08
	11749		-7.940000E-03	3.384966E+05	-2.896705E+08	4.686697E+05	0.0926	3.392540E+05	-2.896713E+08	2.898411E+08
			7.940000E-03	1.522367E+06	-2.815240E+08	6.559518E+05	0.1328	1.523887E+06	-2.815255E+08	2.822906E+08



Lampiran V : Output Tegangan

Von missis 90 bar 70 °C
LOAD STEP = 1.00000E+00

STRESSES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUADR)

ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	10316	CEN/4	-7.940000E-03	-3.073428E+05	-3.040553E+08	2.550059E+04	0.0048	-3.073406E+05	-3.040553E+08	3.039018E+08
			7.940000E-03	9.162551E+05	-2.956355E+08	2.190673E+05	0.0423	9.164169E+05	-2.956356E+08	2.960949E+08
	11748		-7.940000E-03	-6.666932E+05	-3.086739E+08	4.186630E+05	0.0779	-6.661241E+05	-3.086745E+08	3.083419E+08
			7.940000E-03	5.569047E+05	-3.002540E+08	6.122298E+05	0.1166	5.581508E+05	-3.002553E+08	3.005347E+08
	11749		-7.940000E-03	3.498557E+05	-2.993911E+08	4.843970E+05	0.0926	3.506385E+05	-2.993919E+08	2.995674E+08
			7.940000E-03	1.573454E+06	-2.909712E+08	6.779638E+05	0.1328	1.575025E+06	-2.909728E+08	2.917635E+08
	11758		-7.940000E-03	4.848371E+04	-2.994406E+08	-3.674409E+05	-0.0703	4.893452E+04	-2.994410E+08	2.994655E+08
			7.940000E-03	1.272082E+06	-2.910207E+08	-1.738741E+05	-0.0341	1.272185E+06	-2.910208E+08	2.916590E+08
	11757		-7.940000E-03	-9.693493E+05	-3.087252E+08	-4.324753E+05	-0.0805	-9.687416E+05	-3.087258E+08	3.082426E+08
			7.940000E-03	2.542485E+05	-3.003053E+08	-2.389085E+05	-0.0455	2.544384E+05	-3.003055E+08	3.004328E+08

Von mises 90 bars 60 °C
LOAD STEP = 1.00000E+00

STRESSES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUADR)

ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	10316	CEN/4	-7.940000E-03	-1.132947E+05	-1.120829E+08	9.400195E+03	0.0048	-1.132939E+05	-1.120829E+08	1.120262E+08
			7.940000E-03	3.377559E+05	-1.089791E+08	8.075403E+04	0.0423	3.378156E+05	-1.089791E+08	1.091484E+08
	11748		-7.940000E-03	-2.457608E+05	-1.137854E+08	1.543303E+05	0.0779	-2.455510E+05	-1.137856E+08	1.136630E+08
			7.940000E-03	2.052898E+05	-1.106816E+08	2.256841E+05	0.1166	2.057492E+05	-1.106820E+08	1.107851E+08
	11749		-7.940000E-03	1.289661E+05	-1.103635E+08	1.785616E+05	0.0926	1.292546E+05	-1.103638E+08	1.104285E+08
			7.940000E-03	5.800167E+05	-1.072597E+08	2.499154E+05	0.1328	5.805958E+05	-1.072603E+08	1.075518E+08
	11758		-7.940000E-03	1.787238E+04	-1.103817E+08	-1.354484E+05	-0.0703	1.802855E+04	-1.103819E+08	1.103909E+08
			7.940000E-03	1.272082E+06	-2.910207E+08	-1.738741E+05	-0.0341	1.272185E+06	-2.910208E+08	2.916590E+08



Lampiran V : Output Tegangan

Vonmisses 80 bar 90 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

STRESSES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUADR)

ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	10316	CEN/4	-7.940000E-03	-2.293547E+05	-2.269014E+08	1.902983E+04	0.0048	-2.293530E+05	-2.269014E+08	2.267868E+08
			7.940000E-03	6.837558E+05	-2.206181E+08	1.634791E+05	0.0423	6.838765E+05	-2.206182E+08	2.209609E+08
	11748		-7.940000E-03	-4.975200E+05	-2.303480E+08	3.124274E+05	0.0779	-4.970954E+05	-2.303484E+08	2.301003E+08
			7.940000E-03	4.155904E+05	-2.240647E+08	4.568767E+05	0.1166	4.165202E+05	-2.240656E+08	2.242742E+08
	11749		-7.940000E-03	2.610799E+05	-2.234207E+08	3.614814E+05	0.0926	2.616641E+05	-2.234213E+08	2.235523E+08
			7.940000E-03	1.174190E+06	-2.171374E+08	5.059307E+05	0.1328	1.175363E+06	-2.171386E+08	2.177286E+08
	11758		-7.940000E-03	3.618098E+04	-2.234576E+08	-2.742029E+05	-0.0703	3.651740E+04	-2.234580E+08	2.234762E+08
			7.940000E-03	9.492914E+05	-2.171743E+08	-1.297536E+05	-0.0341	9.493686E+05	-2.171744E+08	2.176506E+08
	11757		-7.940000E-03	-7.233773E+05	-2.303863E+08	-3.227349E+05	-0.0805	-7.229238E+05	-2.303868E+08	2.300262E+08
			7.940000E-03	1.897331E+05	-2.241030E+08	-1.782856E+05	-0.0455	1.898748E+05	-2.241031E+08	2.241981E+08

Vonmisses 80 bars 80 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

STRESSES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUADR)

ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	10316	CEN/4	-7.940000E-03	-2.393337E+05	-2.367737E+08	1.985780E+04	0.0048	-2.393320E+05	-2.367737E+08	2.366542E+08
			7.940000E-03	7.135055E+05	-2.302170E+08	1.705920E+05	0.0423	7.136316E+05	-2.302172E+08	2.305748E+08
	11748		-7.940000E-03	-5.191668E+05	-2.403703E+08	3.260209E+05	0.0779	-5.187237E+05	-2.403707E+08	2.401118E+08
			7.940000E-03	4.336724E+05	-2.338136E+08	4.767551E+05	0.1166	4.346428E+05	-2.338146E+08	2.340322E+08
	11749		-7.940000E-03	2.724393E+05	-2.331416E+08	3.772093E+05	0.0926	2.730489E+05	-2.331422E+08	2.332789E+08
			7.940000E-03	1.225279E+06	-2.265849E+08	5.279434E+05	0.1328	1.226502E+06	-2.265861E+08	2.272019E+08





Lampiran V : Output Tegangan

Von mises 80 bars 70 °C
LOAD STEP = 1.00000E+00

S T R E S S E S I N Q U A D R I L A T E R A L E L E M E N T S (Q U A D R)

ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	10316	CEN/4	-7.940000E-03	-2.493130E+05	-2.466462E+08	2.068579E+04	0.0048	-2.493112E+05	-2.466462E+08	2.465217E+08
			7.940000E-03	7.432558E+05	-2.398161E+08	1.777050E+05	0.0423	7.433871E+05	-2.398163E+08	2.401888E+08
	11748	CEN/4	-7.940000E-03	-5.408139E+05	-2.503928E+08	3.396147E+05	0.0779	-5.403523E+05	-2.503932E+08	2.501235E+08
			7.940000E-03	4.517548E+05	-2.435627E+08	4.966338E+05	0.1166	4.527656E+05	-2.435637E+08	2.437904E+08
	11749	CEN/4	-7.940000E-03	2.837990E+05	-2.428627E+08	3.929373E+05	0.0926	2.844340E+05	-2.428633E+08	2.430056E+08
			7.940000E-03	1.276368E+06	-2.360326E+08	5.499565E+05	0.1328	1.277642E+06	-2.360338E+08	2.366752E+08
	11758	CEN/4	-7.940000E-03	3.932943E+04	-2.429028E+08	-2.980638E+05	-0.0703	3.969513E+04	-2.429032E+08	2.429230E+08
			7.940000E-03	1.031898E+06	-2.360727E+08	-1.410447E+05	-0.0341	1.031982E+06	-2.360728E+08	2.365905E+08
	11757	CEN/4	-7.940000E-03	-7.863252E+05	-2.504344E+08	-3.508191E+05	-0.0805	-7.858322E+05	-2.504349E+08	2.500429E+08
			7.940000E-03	2.062435E+05	-2.436043E+08	-1.937999E+05	-0.0455	2.063976E+05	-2.436044E+08	2.437077E+08

Von mises 80 bars 60 °C
LOAD STEP = 1.00000E+00

S T R E S S E S I N Q U A D R I L A T E R A L E L E M E N T S (Q U A D R)

ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	10316	CEN/4	-7.940000E-03	-1.232736E+05	-1.219551E+08	1.022816E+04	0.0048	-1.232728E+05	-1.219551E+08	1.218935E+08
			7.940000E-03	3.675053E+05	-1.185779E+08	8.786682E+04	0.0423	3.675703E+05	-1.185780E+08	1.187622E+08
	11748	CEN/4	-7.940000E-03	-2.674073E+05	-1.238076E+08	1.679236E+05	0.0779	-2.671790E+05	-1.238078E+08	1.236744E+08
			7.940000E-03	2.233717E+05	-1.204304E+08	2.455623E+05	0.1166	2.238715E+05	-1.204309E+08	1.205430E+08
	11749	CEN/4	-7.940000E-03	1.403254E+05	-1.200843E+08	1.942892E+05	0.0926	1.406393E+05	-1.200846E+08	1.201550E+08
			7.940000E-03	6.311044E+05	-1.167071E+08	2.719279E+05	0.1328	6.317346E+05	-1.167077E+08	1.170249E+08



Lampiran V : Output Tegangan

Vonmises 70 bars 90 °C
LOAD STEP = 1.00000E+00

STRESSES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUADR)

ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	10316	CEN/4	-7.940000E-03	-1.713247E+05	-1.694922E+08	1.421502E+04	0.0048	-1.713235E+05	-1.694922E+08	1.694066E+08
			7.940000E-03	5.107560E+05	-1.647986E+08	1.221166E+05	0.0423	5.108463E+05	-1.647987E+08	1.650548E+08
	11748	7.940000E-03	-7.940000E-03	-3.716406E+05	-1.720668E+08	2.333790E+05	0.0779	-3.713233E+05	-1.720671E+08	1.718817E+08
			7.940000E-03	3.104402E+05	-1.673732E+08	3.412805E+05	0.1166	3.111348E+05	-1.673739E+08	1.675297E+08
	11749	7.940000E-03	-7.940000E-03	1.950231E+05	-1.668922E+08	2.700216E+05	0.0926	1.954595E+05	-1.668926E+08	1.669904E+08
7.940000E-03			8.771039E+05	-1.621986E+08	3.779232E+05	0.1328	8.779797E+05	-1.621995E+08	1.626403E+08	
11758	7.940000E-03	-7.940000E-03	2.702669E+04	-1.669198E+08	-2.048258E+05	-0.0703	2.727799E+04	-1.669200E+08	1.669336E+08	
		7.940000E-03	7.091074E+05	-1.622262E+08	-9.692415E+04	-0.0341	7.091651E+05	-1.622263E+08	1.625820E+08	
11757	7.940000E-03	-7.940000E-03	-5.403528E+05	-1.720954E+08	-2.410785E+05	-0.0805	-5.400141E+05	-1.720957E+08	1.718263E+08	
		7.940000E-03	1.417280E+05	-1.674018E+08	-1.331769E+05	-0.0455	1.418338E+05	-1.674019E+08	1.674729E+08	

Vonmises 70 bars 80 °C
LOAD STEP = 1.00000E+00

STRESSES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUADR)

ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	10316	CEN/4	-7.940000E-03	-1.813038E+05	-1.793645E+08	1.504299E+04	0.0048	-1.813025E+05	-1.793645E+08	1.792739E+08
			7.940000E-03	5.405057E+05	-1.743976E+08	1.292294E+05	0.0423	5.406011E+05	-1.743976E+08	1.746686E+08
	11748	7.940000E-03	-7.940000E-03	-3.932872E+05	-1.820890E+08	2.469724E+05	0.0779	-3.929515E+05	-1.820893E+08	1.818932E+08
			7.940000E-03	3.285222E+05	-1.771221E+08	3.611589E+05	0.1166	3.292573E+05	-1.771228E+08	1.772877E+08
	11749	7.940000E-03	-7.940000E-03	2.063825E+05	-1.766130E+08	2.857494E+05	0.0926	2.068442E+05	-1.766135E+08	1.767170E+08
7.940000E-03			9.281919E+05	-1.716461E+08	3.999358E+05	0.1328	9.291187E+05	-1.716470E+08	1.721134E+08	



Lampiran V : Output Tegangan

von mises 70 bars 70 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

S T R E S S E S I N Q U A D R I L A T E R A L E L E M E N T S (Q U A D R)

ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	10316	CEN/4	-7.940000E-03	-1.912826E+05	-1.892366E+08	1.587094E+04	0.0048	-1.912813E+05	-1.892366E+08	1.891410E+08
			7.940000E-03	5.702547E+05	-1.839963E+08	1.363421E+05	0.0423	5.703554E+05	-1.839964E+08	1.842822E+08
	11748		-7.940000E-03	-4.149334E+05	-1.921110E+08	2.605656E+05	0.0779	-4.145793E+05	-1.921114E+08	1.919044E+08
			7.940000E-03	3.466038E+05	-1.868707E+08	3.810368E+05	0.1166	3.473793E+05	-1.868715E+08	1.870454E+08
	11749		-7.940000E-03	2.177416E+05	-1.863337E+08	3.014768E+05	0.0926	2.182288E+05	-1.863341E+08	1.864434E+08
			7.940000E-03	9.792788E+05	-1.810933E+08	4.219480E+05	0.1328	9.802567E+05	-1.810943E+08	1.815864E+08
	11758		-7.940000E-03	3.017507E+04	-1.863645E+08	-2.286862E+05	-0.0703	3.045564E+04	-1.863647E+08	1.863800E+08
			7.940000E-03	7.917123E+05	-1.811241E+08	-1.082150E+05	-0.0341	7.917767E+05	-1.811242E+08	1.815214E+08
	11757		-7.940000E-03	-6.032992E+05	-1.921430E+08	-2.691620E+05	-0.0805	-6.029210E+05	-1.921434E+08	1.918426E+08
			7.940000E-03	1.582380E+05	-1.869027E+08	-1.486908E+05	-0.0455	1.583562E+05	-1.869028E+08	1.869820E+08

Vonmises 70 bars 60 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

S T R E S S E S I N Q U A D R I L A T E R A L E L E M E N T S (Q U A D R)

ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	10316	CEN/4	-7.940000E-03	-1.332526E+05	-1.318273E+08	1.105612E+04	0.0048	-1.332516E+05	-1.318273E+08	1.317607E+08
			7.940000E-03	3.972547E+05	-1.281767E+08	9.497958E+04	0.0423	3.973248E+05	-1.281768E+08	1.283759E+08
	11748		-7.940000E-03	-2.890537E+05	-1.338297E+08	1.815169E+05	0.0779	-2.888070E+05	-1.338299E+08	1.336858E+08
			7.940000E-03	2.414535E+05	-1.301791E+08	2.654404E+05	0.1166	2.419937E+05	-1.301797E+08	1.303008E+08
	11749		-7.940000E-03	1.516846E+05	-1.298050E+08	2.100168E+05	0.0926	1.520240E+05	-1.298053E+08	1.298814E+08
			7.940000E-03	6.821918E+05	-1.261545E+08	2.939402E+05	0.1328	6.828730E+05	-1.261551E+08	1.264980E+08
	11758		-7.940000E-03	2.102076E+04	-1.298265E+08	-1.593089E+05	-0.0703	2.121621E+04	-1.298267E+08	1.298373E+08
			7.940000E-03	5.515228E+05	-1.261752E+08	7.245544E+04	-0.0341	5.515728E+05	-1.261760E+08	1.264527E+08



Lampiran V : Output Tegangan

Tegangan yang terjadi pada elemen pipa

Pembebanan operasional dengan amplitudo kelengkungan awal 0.3 meter

90 bars 75 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

STRESSES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUADR)										
ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	11066	CEN/4	-7.940000E-03	-2.464455E+06	-3.499588E+08	-1.056456E+05	-0.0174	-2.464423E+06	-3.499589E+08	3.487332E+08
			7.940000E-03	2.590982E+06	-3.321152E+08	-2.327309E+05	-0.0398	2.591144E+06	-3.321154E+08	3.334185E+08
	12815		-7.940000E-03	-3.686416E+06	-3.591056E+08	8.357812E+05	0.1347	-3.684451E+06	-3.591075E+08	3.572796E+08
			7.940000E-03	1.369022E+06	-3.412620E+08	7.086959E+05	0.1185	1.370488E+06	-3.412634E+08	3.419507E+08
	12816		-7.940000E-03	-1.795408E+06	-3.410624E+08	5.331174E+05	0.0900	-1.794570E+06	-3.410632E+08	3.401695E+08
			7.940000E-03	3.260030E+06	-3.232188E+08	4.060321E+05	0.0713	3.260535E+06	-3.232193E+08	3.248618E+08
	12825		-7.940000E-03	-1.242495E+06	-3.408121E+08	-1.047072E+06	-0.1767	-1.239266E+06	-3.408154E+08	3.401974E+08
			7.940000E-03	3.812943E+06	-3.229685E+08	-1.174158E+06	-0.2059	3.817162E+06	-3.229727E+08	3.248981E+08
	12824		-7.940000E-03	-3.133503E+06	-3.588553E+08	-7.444086E+05	-0.1199	-3.131945E+06	-3.588569E+08	3.573012E+08
			7.940000E-03	1.921935E+06	-3.410117E+08	-8.714939E+05	-0.1456	1.924149E+06	-3.410139E+08	3.419801E+08

90 bars 84 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

STRESSES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUADR)										
ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	11066	CEN/4	-7.940000E-03	-3.106923E+06	-4.411908E+08	-1.331867E+05	-0.0174	-3.106883E+06	-4.411909E+08	4.396457E+08
			7.940000E-03	3.266435E+06	-4.186955E+08	-2.934023E+05	-0.0398	3.266639E+06	-4.186957E+08	4.203386E+08
	12815		-7.940000E-03	-4.647441E+06	-4.527221E+08	1.053664E+06	0.1347	-4.644963E+06	-4.527245E+08	4.504200E+08
			7.940000E-03	1.725917E+06	-4.302268E+08	8.934484E+05	0.1185	1.727765E+06	-4.302286E+08	4.310951E+08



Lampiran V : Output Tegangan

90 bars 90 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

STRESSES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUADR)

ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	11066	CEN/4	-7.940000E-03	-3.535230E+06	-5.020115E+08	-1.515472E+05	-0.0174	-3.535184E+06	-5.020115E+08	5.002533E+08
			7.940000E-03	3.716731E+06	-4.764150E+08	-3.338495E+05	-0.0398	3.716963E+06	-4.764153E+08	4.782846E+08
	12815		-7.940000E-03	-5.288117E+06	-5.151323E+08	1.198918E+06	0.1347	-5.285297E+06	-5.151351E+08	5.125129E+08
			7.940000E-03	1.963844E+06	-4.895359E+08	1.016615E+06	0.1185	1.965947E+06	-4.895380E+08	4.905239E+08
	12816		-7.940000E-03	-2.575490E+06	-4.892496E+08	7.647499E+05	0.0900	-2.574288E+06	-4.892508E+08	4.879687E+08
			7.940000E-03	4.676471E+06	-4.636532E+08	5.824476E+05	0.0713	4.677196E+06	-4.636539E+08	4.660101E+08
	12825		-7.940000E-03	-1.782343E+06	-4.888906E+08	-1.502012E+06	-0.1767	-1.777712E+06	-4.888952E+08	4.880088E+08
			7.940000E-03	5.469618E+06	-4.632942E+08	-1.684314E+06	-0.2059	5.475669E+06	-4.633002E+08	4.660622E+08
	12824		-7.940000E-03	-4.494970E+06	-5.147733E+08	-1.067844E+06	-0.1199	-4.492735E+06	-5.147756E+08	5.125440E+08
			7.940000E-03	2.756991E+06	-4.891769E+08	-1.250147E+06	-0.1456	2.760168E+06	-4.891801E+08	4.905660E+08

100 bars 75 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

STRESSES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUADR)

ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	11066	CEN/4	-7.940000E-03	-2.341700E+06	-3.325273E+08	-1.003833E+05	-0.0174	-2.341670E+06	-3.325273E+08	3.313627E+08
			7.940000E-03	2.461925E+06	-3.155725E+08	-2.211385E+05	-0.0398	2.462078E+06	-3.155726E+08	3.168108E+08
	12815		-7.940000E-03	-3.502794E+06	-3.412184E+08	7.941507E+05	0.1347	-3.500927E+06	-3.412203E+08	3.394834E+08
			7.940000E-03	1.300830E+06	-3.242636E+08	6.733956E+05	0.1185	1.302223E+06	-3.242650E+08	3.249180E+08
	12816		-7.940000E-03	-1.705978E+06	-3.240740E+08	5.065627E+05	0.0900	-1.705182E+06	-3.240748E+08	3.232255E+08
			7.940000E-03	3.097647E+06	-3.071191E+08	3.858075E+05	0.0713	3.098127E+06	-3.071196E+08	3.086804E+08
	12825		-7.940000E-03	-1.180606E+06	-3.238362E+08	-9.949174E+05	-0.1767	-1.177538E+06	-3.238392E+08	3.232521E+08
			7.940000E-03	2.461925E+06	-3.155725E+08	-2.211385E+05	-0.0398	2.462078E+06	-3.155726E+08	3.168108E+08



Lampiran V : Output Tegangan

120 bars 105 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

STRESSES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUADR)										
ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	11066	CEN/4	-7.940000E-03	-4.237738E+06	-6.017694E+08	-1.816621E+05	-0.0174	-4.237683E+06	-6.017695E+08	5.996618E+08
			7.940000E-03	4.455307E+06	-5.710866E+08	-4.001909E+05	-0.0398	4.455585E+06	-5.710868E+08	5.733276E+08
	12815	12815	-7.940000E-03	-6.338953E+06	-6.174976E+08	1.437162E+06	0.1347	-6.335573E+06	-6.175010E+08	6.143577E+08
				7.940000E-03	2.354093E+06	-5.868147E+08	1.218634E+06	0.1185	2.356613E+06	-5.868173E+08
	12816	12816	-7.940000E-03	-3.087282E+06	-5.864716E+08	9.167182E+05	0.0900	-3.085842E+06	-5.864730E+08	5.849361E+08
				7.940000E-03	5.605763E+06	-5.557887E+08	6.981893E+05	0.0713	5.606631E+06	-5.557896E+08
	12825	12825	-7.940000E-03	-2.136524E+06	-5.860412E+08	-1.800487E+06	-0.1767	-2.130972E+06	-5.860468E+08	5.849842E+08
				7.940000E-03	6.556521E+06	-5.553584E+08	-2.019015E+06	-0.2059	6.563775E+06	-5.553656E+08
	12824	12824	-7.940000E-03	-5.388195E+06	-6.170673E+08	-1.280042E+06	-0.1199	-5.385516E+06	-6.170700E+08	6.143949E+08
				7.940000E-03	3.304850E+06	-5.863844E+08	-1.498571E+06	-0.1456	3.308659E+06	-5.863882E+08

Pembebanan operasional pada amplitudo kelengkungan awal 0,2 meter

90 bars 75 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

STRESSES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUADR)										
ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	10266	CEN/4	-1.299332E+06	-2.724078E+08	7.057527E+04	0.0149	-1.299313E+06	-2.724079E+08	2.717605E+08	
			7.940000E-03	1.356985E+06	-2.608508E+08	1.502921E+05	0.0328	1.357071E+06	-2.608508E+08	2.615320E+08
	11867	11867	-7.940000E-03	-1.743120E+06	-2.782535E+08	4.930528E+05	0.1022	-1.742241E+06	-2.782544E+08	2.773874E+08
				7.940000E-03	9.131971E+05	-2.666964E+08	5.727696E+05	0.1226	9.144230E+05	-2.666976E+08



Lampiran V : Output Tegangan

90 bars 84°C

LOAD STEP = 1.00000E+00

STRESSES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUADR)										
ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	10266	CEN/4	-7.940000E-03	-1.638059E+06	-3.434228E+08	8.897377E+04	0.0149	-1.638036E+06	-3.434228E+08	3.426068E+08
			7.940000E-03	1.710742E+06	-3.288529E+08	1.894723E+05	0.0328	1.710851E+06	-3.288530E+08	3.297117E+08
	11867		-7.940000E-03	-2.197540E+06	-3.507924E+08	6.215884E+05	0.1022	-2.196432E+06	-3.507935E+08	3.497004E+08
			7.940000E-03	1.151262E+06	-3.362224E+08	7.220869E+05	0.1226	1.152807E+06	-3.362240E+08	3.368019E+08
	11868		-7.940000E-03	-6.258641E+05	-3.358475E+08	8.696456E+05	0.1486	-6.236080E+05	-3.358498E+08	3.355384E+08
			7.940000E-03	2.722938E+06	-3.212775E+08	9.701441E+05	0.1716	2.725842E+06	-3.212804E+08	3.226520E+08
	11877		-7.940000E-03	-1.078463E+06	-3.360531E+08	-4.436484E+05	-0.0759	-1.077875E+06	-3.360537E+08	3.355161E+08
			7.940000E-03	2.270339E+06	-3.214832E+08	-3.431499E+05	-0.0607	2.270703E+06	-3.214835E+08	3.226249E+08
	11876		-7.940000E-03	-2.650095E+06	-3.509980E+08	-6.917283E+05	-0.1138	-2.648721E+06	-3.509993E+08	3.496825E+08
			7.940000E-03	6.987070E+05	-3.364280E+08	-5.912298E+05	-0.1005	6.997439E+05	-3.364290E+08	3.367795E+08

100 bars 75°C

LOAD STEP = 1.00000E+00

STRESSES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUADR)										
ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	10266	CEN/4	-7.940000E-03	-1.234612E+06	-2.588391E+08	6.705989E+04	0.0149	-1.234594E+06	-2.588392E+08	2.582241E+08
			7.940000E-03	1.289393E+06	-2.478577E+08	1.428060E+05	0.0328	1.289475E+06	-2.478578E+08	2.485050E+08
	11867		-7.940000E-03	-1.656294E+06	-2.643936E+08	4.684936E+05	0.1022	-1.655459E+06	-2.643944E+08	2.635706E+08
			7.940000E-03	8.677104E+05	-2.534122E+08	5.442395E+05	0.1226	8.688753E+05	-2.534133E+08	2.538489E+08
	11868		-7.940000E-03	-4.717162E+05	-2.531296E+08	6.554553E+05	0.1486	-4.700158E+05	-2.531313E+08	2.528966E+08
			7.940000E-03	2.052289E+06	-2.421481E+08	7.312014E+05	0.1716	2.054478E+06	-2.421503E+08	2.431841E+08
	11877		-7.940000E-03	-8.128415E+05	-2.532846E+08	-3.343795E+05	-0.0759	-8.123986E+05	-2.532850E+08	2.528798E+08
			7.940000E-03	2.270339E+06	-3.214832E+08	-3.431499E+05	-0.0607	2.270703E+06	-3.214835E+08	3.226249E+08



Lampiran V : Output Tegangan

120 bars 105 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

STRESSES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUADR)

ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	10266	CEN/4	-7.940000E-03	-2.234257E+06	-4.684171E+08	1.213572E+05	0.0149	-2.234226E+06	-4.684172E+08	4.673040E+08
			7.940000E-03	2.333395E+06	-4.485442E+08	2.584338E+05	0.0328	2.333543E+06	-4.485443E+08	4.497156E+08
	11867		-7.940000E-03	-2.997370E+06	-4.784690E+08	8.478258E+05	0.1022	-2.995858E+06	-4.784705E+08	4.769796E+08
			7.940000E-03	1.570282E+06	-4.585960E+08	9.849023E+05	0.1226	1.572390E+06	-4.585981E+08	4.593863E+08
	11868		-7.940000E-03	-8.536573E+05	-4.580846E+08	1.186167E+06	0.1486	-8.505801E+05	-4.580877E+08	4.576630E+08
			7.940000E-03	3.713995E+06	-4.382117E+08	1.323244E+06	0.1716	3.717957E+06	-4.382156E+08	4.400864E+08
	11877		-7.940000E-03	-1.470986E+06	-4.583651E+08	-6.051215E+05	-0.0759	-1.470185E+06	-4.583659E+08	4.576326E+08
			7.940000E-03	3.096666E+06	-4.384922E+08	-4.680449E+05	-0.0607	3.097162E+06	-4.384927E+08	4.400494E+08
	11876		-7.940000E-03	-3.614639E+06	-4.787493E+08	-9.434939E+05	-0.1138	-3.612766E+06	-4.787512E+08	4.769551E+08
			7.940000E-03	9.530128E+05	-4.588764E+08	-8.064174E+05	-0.1005	9.544269E+05	-4.588778E+08	4.593558E+08

Pembebanan operasional pada amplitudo kelenkungan awal 0,1 meter

90 bars 75 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

STRESSES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUADR)

ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	10316	CEN/4	-7.940000E-03	-2.003398E+05	-1.981970E+08	1.662244E+04	0.0048	-2.003385E+05	-1.981970E+08	1.980969E+08
			7.940000E-03	5.972564E+05	-1.927085E+08	1.427980E+05	0.0423	5.973618E+05	-1.927086E+08	1.930080E+08
	11748		-7.940000E-03	-4.345806E+05	-2.012075E+08	2.729034E+05	0.0779	-4.342097E+05	-2.012079E+08	2.009912E+08
			7.940000E-03	3.630156E+05	-1.957191E+08	3.990789E+05	0.1166	3.638278E+05	-1.957199E+08	1.959021E+08



Lampiran V : Output Tegangan

90 bars 84 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

STRESSES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUADR)

ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
D	10316	CEN/4	-7.940000E-03	-2.933721E+05	-2.902341E+08	2.434143E+04	0.0048	-2.933700E+05	-2.902341E+08	2.900875E+08
			7.940000E-03	8.746054E+05	-2.821970E+08	2.091093E+05	0.0423	8.747599E+05	-2.821971E+08	2.826355E+08
	11748	7.940000E-03	-7.940000E-03	-6.363877E+05	-2.946427E+08	3.996321E+05	0.0779	-6.358445E+05	-2.946432E+08	2.943258E+08
			7.940000E-03	5.315898E+05	-2.866056E+08	5.344000E+05	0.1166	5.327793E+05	-2.866068E+08	2.868735E+08
	11749	7.940000E-03	-7.940000E-03	3.339525E+05	-2.857819E+08	4.623780E+05	0.0926	3.346997E+05	-2.857826E+08	2.859501E+08
			7.940000E-03	1.501930E+06	-2.777447E+08	6.471459E+05	0.1328	1.503430E+06	-2.777462E+08	2.785010E+08
	11758	7.940000E-03	-7.940000E-03	4.627981E+04	-2.858291E+08	-3.507383E+05	-0.0703	4.671013E+04	-2.858295E+08	2.858529E+08
			7.940000E-03	1.214257E+06	-2.777920E+08	-1.659704E+05	-0.0341	1.214356E+06	-2.777921E+08	2.784012E+08
	11757	7.940000E-03	-7.940000E-03	-9.252862E+05	-2.946917E+08	-4.128165E+05	-0.0805	-9.247061E+05	-2.946923E+08	2.942310E+08
			7.940000E-03	2.426913E+05	-2.866546E+08	-2.280486E+05	-0.0455	2.428726E+05	-2.866547E+08	2.867763E+08

100 bars 75 °C

ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
D	10316	CEN/4	-7.940000E-03	-1.903609E+05	-1.883247E+08	1.579447E+04	0.0048	-1.903595E+05	-1.883247E+08	1.882296E+08
			7.940000E-03	5.675068E+05	-1.831096E+08	1.356852E+05	0.0423	5.676071E+05	-1.831097E+08	1.833942E+08
	11748	7.940000E-03	-7.940000E-03	-4.129340E+05	-1.911853E+08	2.593100E+05	0.0779	-4.125816E+05	-1.911857E+08	1.909797E+08
			7.940000E-03	3.449337E+05	-1.859703E+08	3.792007E+05	0.1166	3.457054E+05	-1.859710E+08	1.861441E+08
	11749	7.940000E-03	-7.940000E-03	2.166924E+05	-1.854358E+08	3.000241E+05	0.0926	2.171772E+05	-1.854363E+08	1.855449E+08
			7.940000E-03	9.745600E+05	-1.802207E+08	4.199148E+05	0.1328	9.755332E+05	-1.802217E+08	1.807114E+08



Lampiran V : Output Tegangan

120 bars 105 °C

LOAD STEP = 1.00000E+00

STRESSES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUADR)

ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	10316	CEN/4	-7.940000E-03	-3.444930E+05	-3.408083E+08	2.358300E+04	0.0048	-3.444907E+05	-3.408083E+08	3.406362E+08
			7.940000E-03	1.027008E+06	-3.313707E+08	2.455473E+05	0.0423	1.027190E+06	-3.313708E+08	3.318856E+08
11748	11748	-7.940000E-03	-7.472803E+05	-3.459851E+08	4.692692E+05	0.0779	-7.466424E+05	-3.459857E+08	3.456130E+08	
			7.940000E-03	6.242210E+05	-3.365475E+08	6.362335E+05	0.1166	6.256177E+05	-3.365489E+08	3.368621E+08
11749	11749	-7.940000E-03	3.921448E+05	-3.355802E+08	5.429489E+05	0.0926	3.930222E+05	-3.355811E+08	3.357778E+08	
			7.940000E-03	1.763646E+06	-3.261426E+08	7.599131E+05	0.1328	1.765407E+06	-3.261444E+08	3.270307E+08
11758	11758	-7.940000E-03	5.434422E+04	-3.356357E+08	-4.118556E+05	-0.0703	5.484952E+04	-3.356362E+08	3.356636E+08	
			7.940000E-03	1.425846E+06	-3.261981E+08	-1.948913E+05	-0.0341	1.425961E+06	-3.261982E+08	3.269135E+08
11757	11757	-7.940000E-03	-1.086520E+06	-3.460426E+08	-4.347511E+05	-0.0805	-1.085839E+06	-3.460433E+08	3.455017E+08	
			7.940000E-03	2.849810E+05	-3.366050E+08	-2.677868E+05	-0.0455	2.851939E+05	-3.366052E+08	3.367479E+08



Lampiran V : Output Tegangan

Tegangan yang dihasilkan pada permodelan bergelombang

Von mises pipa dua panjang gelombang

LOAD STEP = 1.00000E+00

STRESSES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUADR)										
ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	31069	CEN/4	-7.940000E-03	-1.318217E+08	-3.848593E+08	2.350072E+06	0.5321	-1.317999E+08	-3.848812E+08	3.387882E+08
			7.940000E-03	1.559047E+08	-3.436053E+08	-2.492158E+07	-2.8492	1.571450E+08	-3.448457E+08	4.447514E+08
	36980		-7.940000E-03	-1.426001E+08	-3.995178E+08	1.692069E+07	3.7519	-1.414905E+08	-4.006274E+08	3.519047E+08
			7.940000E-03	1.451263E+08	-3.582638E+08	-1.035096E+07	-1.1775	1.453390E+08	-3.584766E+08	4.491431E+08
	36981		-7.940000E-03	-1.427591E+08	-3.953776E+08	-1.250115E+07	-2.8262	-1.421420E+08	-3.959947E+08	3.474603E+08
			7.940000E-03	1.449673E+08	-3.541236E+08	-3.977280E+07	-4.5278	1.481169E+08	-3.572732E+08	4.500011E+08
	36988		-7.940000E-03	-1.210433E+08	-3.702008E+08	-1.222055E+07	-2.8013	-1.204454E+08	-3.707988E+08	3.276245E+08
			7.940000E-03	1.666831E+08	-3.289469E+08	-3.949220E+07	-4.5273	1.698101E+08	-3.320739E+08	4.421516E+08
	36987		-7.940000E-03	-1.208843E+08	-3.743411E+08	1.720129E+07	3.8649	-1.197222E+08	-3.755031E+08	3.322348E+08
			7.940000E-03	1.668421E+08	-3.330871E+08	-1.007036E+07	-1.1535	1.670448E+08	-3.332899E+08	4.412035E+08

Vonmises pipa satu setengah panjang gelombang

LOAD STEP = 1.00000E+00

STRESSES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUADR)										
ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	28597	CEN/4	-7.940000E-03	6.172649E+06	-2.923060E+08	-2.615698E+05	-0.0502	6.172879E+06	-2.923062E+08	2.954411E+08
			7.940000E-03	-9.921584E+05	-3.069180E+08	4.957113E+05	0.0928	-9.913552E+05	-3.069188E+08	3.064243E+08
	34091		-7.940000E-03	1.036788E+07	-2.944128E+08	-4.574091E+06	-0.8596	1.043651E+07	-2.944815E+08	2.998360E+08
			7.940000E-03	3.203071E+06	-3.090248E+08	-3.816810E+06	-0.7003	3.249723E+06	-3.090714E+08	3.107090E+08



Lampiran V : Output Tegangan

vonmises pipa satu panjang gelombang

LOAD STEP = 1.00000E+00

STRESSES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUADR)

ELEMENT ID	GRID-ID	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES	
			NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR		
0	656	CEN/4	-7.940000E-03	-5.033903E+07	-2.482980E+08	4.979618E+05	0.1441	-5.033778E+07	-2.482992E+08	2.273490E+08
			7.940000E-03	-8.325410E+07	-3.611749E+08	1.500359E+06	0.3093	-8.324600E+07	-3.611830E+08	3.275912E+08
	971		-7.940000E-03	-8.610450E+07	-2.538839E+08	2.449126E+06	0.8361	-8.606875E+07	-2.539196E+08	2.236704E+08
			7.940000E-03	-1.190196E+08	-3.667608E+08	3.451524E+06	0.7980	-1.189715E+08	-3.668088E+08	3.241345E+08
	972		-7.940000E-03	-7.847902E+07	-2.408378E+08	4.752296E+06	1.6752	-7.834004E+07	-2.409768E+08	2.129057E+08
			7.940000E-03	-1.113941E+08	-3.537147E+08	5.754693E+06	1.3597	-1.112575E+08	-3.538513E+08	3.134013E+08
	981		-7.940000E-03	-1.457356E+07	-2.427121E+08	-1.453203E+06	-0.3649	-1.456430E+07	-2.427214E+08	2.357768E+08
			7.940000E-03	-4.748863E+07	-3.555890E+08	-4.508053E+05	-0.0838	-4.748797E+07	-3.555897E+08	3.343843E+08
	980		-7.940000E-03	-2.219903E+07	-2.557582E+08	-3.756372E+06	-0.9212	-2.213863E+07	-2.558186E+08	2.454991E+08
			7.940000E-03	-5.511410E+07	-3.686350E+08	-2.753974E+06	-0.5032	-5.508991E+07	-3.686592E+08	3.444345E+08