



TUGAS AKHIR - MO141326

**ANALISA STUDI “PIPELINE WALKING” PADA PIPA LAUT
DALAM DENGAN VARIASI KEMIRINGAN DASAR LAUT**

FAISHAL ABDURRAHMAN LABIB
NRP. 4310100062

Dosen Pembimbing :

Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST., MT., Ph.D

Ir. Hasan Ikhwan, M.Sc

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015



FINAL PROJECT - MO141326

STUDY ANALYSIS “PIPELINE WALKING” AT DEEP
WATER PIPELINE WITH SEABED SLOPE VARIATION

FAISHAL ABDURRAHMAN LABIB

REG. 4310100062

Supervisors :

Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST., MT., Ph.D

Ir. Hasan Ikhwan, M.Sc.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2015

**ANALISA STUDI “PIPELINE WALKING” PADA PIPA LAUT
DALAM DENGAN VARIASI KEMIRINGAN DASAR LAUT**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

FAISHAL ABDURRAHMAN LABIB

NRP. 4310 100 062

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Yoyok Setyo H, ST., MT., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Ir.Hasan Ikhwani, M.Sc (Pembimbing 2)



SURABAYA, 27 JANUARI 2015

Analisa Studi “Pipeline Walking” Pada Pipa Laut Dalam Dengan Variasi Kemiringan Dasar Laut

Nama Mahasiswa : Faishal Abdurrahman Labib
NRP : 4310100062
Jurusan : Teknik Kelautan –FTK ITS
Dosen Pembimbing : Yoyok Setyo H, S.T., M.T., Ph.D
Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

ABSTRAK

Dewasa ini, industri pipa lepas pantai menghadapi kondisi yang lebih kompleks dan menantang dalam desain *pipeline* seiring dengan berpindahnya industri pipa menuju laut dalam. Salah satu tantangannya adalah tingginya tekanan dan temperatur pada pipa pada saat masa *start up* dan *shut down* selama masa operasinya. Salah satu konsekuensi dari tingginya temperatur dan tekanan serta adanya beban siklus menyebabkan pipa bergerak per siklus menuju cold end dimana akan membahayakan pipa. Fenomena bergesernya pipa per siklus menuju cold end dinamakan *pipeline walking*. Dalam tugas akhir ini akan dianalisa peristiwa terjadinya *pipeline walking* pada pipa sepanjang 800 m yang dipengaruhi oleh sudut kemiringan dasar laut yang searah dengan ekspansi yaitu pada sudut 1° , 3° dan 5° serta sudut kemiringan dasar laut yang berlawanan arah ekspansi yaitu pada sudut -1° , -3° dan -5° . Analisa dilakukan dengan menggunakan perhitungan manual untuk menentukan besar perpanjangan pipa secara axial akibat adanya *walking* pada tiap variasi sudut kemiringan. Selanjutnya akan dilakukan pemodelan pipa menggunakan software AUTOPIPE untuk mengetahui besarnya tegangan dan displasemen yang terjadi pada pipa akibat adanya *walking* yang dipengaruhi oleh variasi kemiringan dasar laut. Kondisi batas yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah pipa mengalami 6 siklus yang berarti dalam satu tahun dilakukan perawatan pada pipa setiap dua bulan sekali. Berdasarkan hasil analisa dengan menggunakan metode perhitungan manual didapatkan bahwa untuk sudut kemiringan searah ekspansi besar *walking* pada pipa adalah 0,0073 m untuk kemiringan 1° , 0.0099 m untuk kemiringan 3° dan 0.0128 m untuk kemiringan 5° . Sedangkan untuk kemiringan yang berlawanan arah adalah sebesar 0.0047 m untuk kemiringan -1° , 0.0028 m untuk kemiringan -3° dan 0.0013 m untuk kemiringan -5° dalam tiap siklusnya. Sehingga dalam kurun waktu 10 tahun pipa dengan sudut kemiringan searah telah mengalami *overstress* dengan tegangan paling besar yaitu 317.62 N/mm^2 sedangkan pada pipa yang berlawanan arah baru mengalami *overstress* setelah mengalami *walking* dalam kurun waktu 50 tahun dengan tegangan paling besar sebesar 575.16 N/mm^2 .

Kata Kunci : *Pipeline Walking, Start up, Shut down, Overstress*

Study Analysis “Pipeline Walking” at Deep Water Pipeline With Seabed Slope Variation

Name of Student : Faishal Abdurrahman Labib
NRP : 4310100062
Departement : Teknik Kelautan –FTK ITS
Lecture : Yoyok Setyo H, S.T., M.T., Ph.D
Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

ABSTRACT

Today, the offshore pipeline industry face a more complex and challenging in the design of the pipeline along with the migration to the sea in the pipeline industry. One challenge is the high pressure and temperature in the pipe at the time of start up and shut down during the operation. One consequence of the high temperature and pressure and the presence of load cycles per cycle causes the pipe to move towards the cold end which would endanger the pipe. The phenomenon of the movement of pipe per cycle to the cold end called pipeline walking. In this final project will analyze the incidence of pipeline walking on the pipe along the 800 m which is influenced by the angle of the seabed that is in line with the expansion that is at an angle of 1° , 3° and 5° and the angle of the sea floor in the opposite direction of expansion that is at an angle -1° , -3° and -5° . Analyzes were performed using manual calculations to determine the axial extension of the pipeline due to walking on every variation of the slope angle. Next will be modeling the pipe using software AUTOPIPE to know the size of the stress and displacement that occurs in the pipe due to walking which influenced by variations of seabed slope. Boundary conditions used in this final project are the pipes have 6 cycles, which means in one year do maintenance on the pipe once every two months. Based on the analysis results using manual calculations showed that for a large expansion in the direction of the slope angle of walking on the pipe is 0.0073 m for 1° slope, 0.0099 m for 3° slope and 0.0128 m for 5° slope. As for the slope in the opposite direction is equal to 0.0047 m for -1° slope, 0.0028 m for -3° slope and 0.0013 m for slope -5° slope in each cycle. So that within a period of 10 years at an angle in the direction of the pipe has experience stress is 317.62 N / mm^2 which is more than allowable stress of the pipe, while the pipe opposite direction overstress after experience walking in the next 50 years with the greatest stress of 575.16 N / mm^2 .

Key Words : *Pipeline Walking, Start up, Shut down, Overstress*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisa Studi Pipeline Walking Pada Pipa Laut Dalam Dengan Variasi Kemiringan Dasar Laut**” ini dengan baik.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Tugas akhir ini menganalisis tentang besarnya *walking per cycle* pada struktur pipa bawah laut yang dipengaruhi oleh kemiringan dasar laut.

Saya menyadari bahwa dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini masih belum sempurna, oleh sebab itu penulis mengharapkan saran dan kritik guna penyempurnaan selanjutnya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis maupun pembaca pada umumnya.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMAKASIH	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR NOTASI	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori.....	5
2.2.1 Desain Pipeline	5
2.2.2 <i>Heat Transfer</i>	6
2.2.3 Ekspansi Pipeline	7
2.2.4 <i>Pipeline Walking</i>	8
2.2.5 Perhitungan Berat Terendam Pipa (<i>Submerged Weight</i>)	10
2.2.6 Regangan End Cap.....	11
2.2.7 Regangan Poisson	12
2.2.8 Regangan Temperatur	12
2.2.9 Tahanan Gesek.....	13
2.2.10 Perhitungan <i>Virtual Anchor Point (VAP)</i>	14
2.2.11 <i>Walking Per Cycle</i>	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Metode Penelitian.....	17
3.2 Pengumpulan Data	20
3.2.1 Data Pipeline	20
3.2.2 Data Lingkungan.....	21
3.2.3 Data Fluida.....	22
BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1 Umum.....	23
4.2 Pemodelan Perubahan Termal Menggunakan Software ANSYS	24
4.3 Perhitungan Berat Terendam Pipa	27
4.4 Perhitungan Regangan	28
4.5 Perhitungan Tahanan Gesek.....	30
4.6 Letak <i>Virtual Anchor</i>	31
4.7 <i>Walking per Cycle</i>	32

4.8 Tegangan dan Displasemen Pada Ujung Koneksi Pipa dan Riser	35
4.8.1 Pemodelan Pipa dan Riser	35
4.8.2 Tegangan dan Displasemen Pada Ujung Pipa Akibat Walking Selama 1 Tahun	36
4.8.2.1 Kemiringan Pipa Searah dengan Arah <i>Walking</i> (Kondisi 1)....	36
4.8.2.2 Kemiringan Pipa Berlawanan Arah dengan Arah <i>Walking</i> (Kondisi 2).....	39
4.8.3 Tegangan dan Displasemen Pada Ujung Pipa Akibat Walking Selama 10 Tahun	42
4.8.3.1 Kemiringan Pipa Searah dengan Arah <i>Walking</i> (Kondisi 1)....	42
4.8.3.2 Kemiringan Pipa Berlawanan Arah dengan Arah <i>Walking</i> (Kondisi 2).....	45
4.8.4 Tegangan dan Displasemen Pada Ujung Pipa Akibat Walking Selama 50 Tahun	48
4.8.4.1 Kemiringan Pipa Searah dengan Arah <i>Walking</i> (Kondisi 1)....	48
4.8.4.2 Kemiringan Pipa Berlawanan Arah dengan Arah <i>Walking</i> (Kondisi 2).....	51
BAB V PENUTUP.....	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA	57

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Pipeline	21
Tabel 3.2 Data Lingkungan	21
Tabel 3.3 Data Fluida	22
Tabel 4.1 Perubahan Temperatur pada Pipa 800 m	27
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Berat Terendam Pipa	28
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Regangan Pipa (Kondisi 1)	28
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Regangan Pipa (Kondisi 2)	29
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Tahanan Gesek	31
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Panjang Virtual Anchor	31
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Walking Per Siklus	33
Tabel 4.8 Hasil analisa tegangan selama 1 tahun pada kondisi 1 (searah)	36
Tabel 4.9 Displasemen Pada Pipa Akibat Walking dengan Kemiringan 1°, Kemiringan 3° dan Kemiringan 5° Selama 1 Tahun	39
Tabel 4.10 Hasil analisa tegangan selama 1 tahun pada kondisi 2 (berlawanan arah)	39
Tabel 4.11 Displasemen Pada Pipa Akibat Walking dengan Kemiringan -1°, Kemiringan -3° dan Kemiringan -5° Selama 1 Tahun	42
Tabel 4.12 Hasil analisa tegangan selama 10 tahun pada kondisi 1 (searah)	43
Tabel 4.13 Displasemen Pada Pipa Akibat Walking dengan Kemiringan 1°, Kemiringan 3° dan Kemiringan 5° Selama 10 Tahun	45
Tabel 4.14 Hasil analisa tegangan selama 10 tahun pada kondisi 2 (berlawanan arah)	45
Tabel 4.15 Displasemen Pada Pipa Akibat Walking dengan Kemiringan -1°, Kemiringan -3° dan Kemiringan -5° Selama 10 Tahun	48
Tabel 4.16 Hasil analisa tegangan selama 50 tahun pada kondisi 1 (searah)	48
Tabel 4.17 Displasemen Pada Pipa Akibat Walking dengan Kemiringan 1°, Kemiringan 3° dan Kemiringan 5° Selama 50 Tahun	51
Tabel 4.18 Hasil analisa tegangan selama 50 tahun pada kondisi 2 (berlawanan arah)	51
Tabel 4.19 Displasemen Pada Pipa Akibat Walking dengan Kemiringan -1°, Kemiringan -3° dan Kemiringan -5° Selama 50 Tahun	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Teknologi Industri Minyak dan Gas (Tveramo, 2013)	1
Gambar 2.1 Detail Axial Displacement Pada Pipa (Tveramo, 2013)	9
Gambar 2.2 Ilustrasi lapisan beton pada pipa (Reza, 2008).....	10
Gambar 2.3 Penampang melintang pipa dengan lapisan beton (Reza, 2008).....	10
Gambar 2.4 Gaya Friksi pada pipa yang terkubur (Pertamina, 2002)	14
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Pengerjaan Tugas Akhir	18
Gambar 4.1 Pipeline walking searah ekspansi (Kondisi 1).....	24
Gambar 4.2 Pipeline walking berlawanan arah ekspansi (Kondisi 2)	24
Gambar 4.3 Desain dan Meshing Pipa pada ANSYS GAMBIT	25
Gambar 4.4 Kontur Temperatur pada sepanjang pipa	26
Gambar 4.5 Letak Virtual Anchor Point.....	32
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Walking Kondisi 1 (Searah) dan Kondisi 2 (Berlawanan Arah)	34
Gambar 4.7 Grafik Perubahan Displasemen Pipa Secara Axial	35
Gambar 4.8 Pemodelan Pipa dan Riser Pada AUTOPIPE.....	36
Gambar 4.9 Grafik Tegangan Pada Pipa dengan Kemiringan 1°, Kemiringan 3° dan Kemiringan 5° Selama 1 Tahun	37
Gambar 4.10 Gambar Displasemen Pada Pipa dengan Kemiringan 1° (a) Kemiringan 3° (b) dan Kemiringan 5° (c) Selama 1 Tahun.....	38
Gambar 4.11 Grafik Tegangan Pada Pipa dengan Kemiringan -1°, Kemiringan -3° dan Kemiringan -5° Selama 1 Tahun	40
Gambar 4.12 Gambar Displasemen Pada Pipa dengan Kemiringan -1° (a) Kemiringan -3° (b) dan Kemiringan -5° (c) Selama 1 Tahun	41
Gambar 4.13 Grafik Tegangan Pada Pipa dengan Kemiringan 1°, Kemiringan 3° dan Kemiringan 5° Selama 10 Tahun	43
Gambar 4.14 Gambar Displasemen Pada Pipa dengan Kemiringan 1° (a) Kemiringan 3° (b) dan Kemiringan 5° (c) Selama 10 Tahun.....	44
Gambar 4.15 Grafik Tegangan Pada Pipa dengan Kemiringan -1°, Kemiringan -3° dan Kemiringan -5° Selama 10 Tahun	46
Gambar 4.16 Gambar Displasemen Pada Pipa dengan Kemiringan -1° (a) Kemiringan -3° (b) dan Kemiringan -5° (c) Selama 10 Tahun	47
Gambar 4.17 Grafik Tegangan Pada Pipa dengan Kemiringan 1°, Kemiringan 3° dan Kemiringan 5° Selama 50 Tahun	49
Gambar 4.18 Gambar Displasemen Pada Pipa dengan Kemiringan 1° (a) Kemiringan 3° (b) dan Kemiringan 5° (c) Selama 50 Tahun.....	50
Gambar 4.19 Gambar Tegangan Pada Pipa dengan Kemiringan -1°, Kemiringan -3° dan Kemiringan -5° Selama 50 Tahun	52
Gambar 4.20 Gambar Displasemen Pada Pipa dengan Kemiringan -1° (a) Kemiringan -3° (b) dan Kemiringan -5° (c) Selama 50 Tahun	53

DAFTAR NOTASI

p_i	= Tekanan internal (N/m^2)
p_e	= Tekanan eksternal (N/m^2)
D	= Diameter (m)
t	= Tebal Pipa (m)
W_s	= Berat terendam pipa (N/m)
M_s	= Massa baja (Kg)
B_f	= Gaya apung (N/m)
$M_{content}$	= Massa konten (Kg)
M_{cc}	= Mass corrosion coat (Kg)
M_{wc}	= Concrete coat mass (Kg)
g	= Gravitasi (m/s^2)
P_{in}	= Pressure internal (N/m^2)
P_o	= Pressure eksternal (N/m^2)
D_i	= Diameter internal (m)
D_o	= Diameter luar (m)
E	= Modulus elastisitas pipa (Pa)
A	= Cross sectional area (m^2)
P_{in}	= Pressure internal (N/m^2)
P_o	= Pressure eksternal (N/m^2)
D_i	= Diameter internal (m)
D_o	= Diameter luar (m)
E	= Modulus elastisitas pipa (Pa)
t_2	= wall thickness = $t_{nom} - t_{corr}$ (m)
α	= Koefisien termal
ΔT	= Perubahan temperatur = $T_{desain} - T_{instalasi}$ ($^{\circ}C$)
F	= Gaya gesekan (Kg/m)
μ	= Koefisien gesekan
ρ_b	= Densitas tanah (Kg/m^3)
g	= Gaya gravitasi (m/s^2)
H_b	= Kedalaman pipa terkubur (m)

D_i	= Diameter pipa (m)
W_s	= Berat terendam pipa (N/m)
θ	= Sudut Kemiringan
LA	= Virtual anchor length (m)
A_s	= Cross sectional area of steel (m ²)
E	= Young's modulud of steel (Pa)
F	= Frictional resistance (kg/m)
ϵ_{tot}	= Strain due to internal pressure and temperature
ϵ_E	= Strain due to end cap effect
ϵ_v	= Strain due to poisson's effect
ϵ_T	= Strain due to temperature effect
$\Delta\alpha$	= Walk per cycle (m)
ΔP	= Perubahan gaya aksial
W	= Berat terendam pipa (N/m)
L	= Panjang pipa (m)
E	= Modulus young (Pa)
A	= Cross sectional area (m ²)
α	= Sudut seabed
μ_α	= Friction factor

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Perhitungan Berat terendam pipa, Regangan pada pipa, Frictional resistance, Anchor length dan Walk Per Cycle

LAMPIRAN B Analisa Kekakuan Tanah

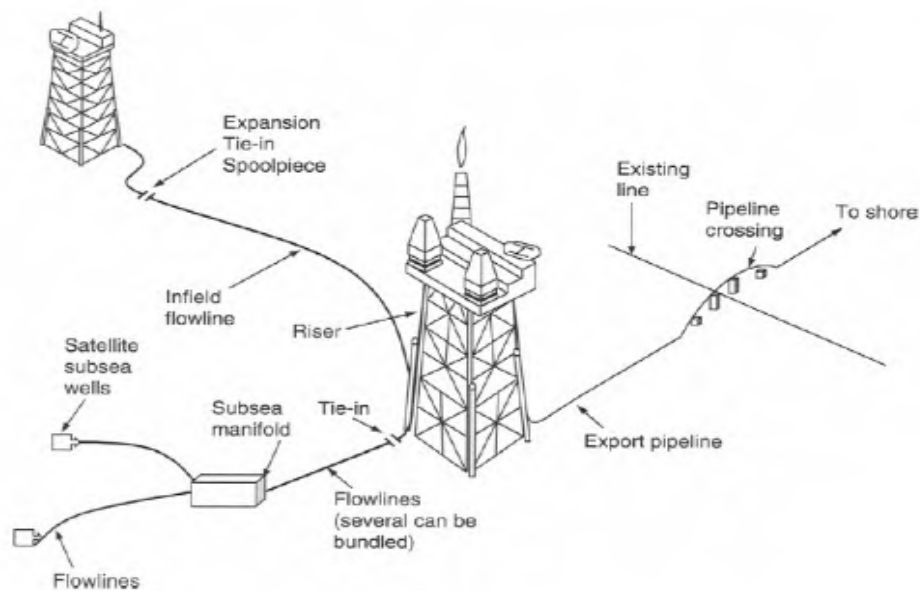
LAMPIRAN C Output Pemodelan Analisa Pipa Selama kurun waktu 50 Tahun Pada Autopipe (Terjadi *Overstress*)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Teknologi industri minyak dan gas bumi telah berkembang semakin pesat. Mula-mula industri minyak dan gas bumi fokus pada laut dangkal. Namun seiring dengan berkembangnya teknologi, industri minyak dan gas bumi mulai berpindah ke laut yang lebih dalam. Untuk mengakomodasi penyaluran minyak dan gas bumi dari sumur-sumur minyak di laut dalam, maka digunakan jaringan pipa bawah laut sebagai alternatif yang paling mudah, aman, dan efisien.



Gambar 1.1 Teknologi Industri Minyak dan Gas (Tveramo, 2013)

Teknologi pipa pada industri minyak dan gas telah dikembangkan secara konstan dimulai dengan teknologi awal yang sederhana pada abad yang lalu (Guo *et al.*, 2005). Dewasa ini, industri pipa lepas pantai pada laut dalam bergerak ke kondisi yang lebih kompleks dan menghadapi beberapa tantangan. Salah satu tantangan tersebut terkait dengan kondisi lingkungan pada laut dalam yang relatif ekstrim.

Pipa yang diletakan di dasar laut pada laut dalam memiliki suhu dan tekanan yang tinggi selama masa operasi akibat aliran fluida dalam pipa. Selain itu, pipa bawah

laut juga sering mengalami kondisi *start up* (operasi) dan *shut down* selama siklus hidupnya. Pada saat *start up*, aliran fluida dalam pipa menyebabkan pipa mengalami kenaikan suhu dan tekanan. Hal tersebut membuat pipa berekspansi menuju cold end yang merupakan akhir dari pipa yang terletak jauh dari sumur. Pada saat *shutting down*, pipa mengalami penyusutan namun karena adanya gaya gesek tanah yang menahan laju pipa ketika penyusutan sehingga pipa tidak dapat kembali ke posisi semula. Peristiwa ekspansi dan penyusutan ini terjadi terus menerus selama beberapa siklus (1 siklus = *start up-shutting down*) sehingga menyebabkan pipa berjalan secara axial ke arah *cold end*. Peristiwa berjalannya pipa ini disebut *pipeline walking*.

Salah satu yang dapat mempengaruhi laju terjadinya pipeline walking adalah adanya slope atau kemiringan pada dasar laut atau seabed. Fokus utama tugas akhir ini adalah pipa yang rentan terhadap terjadinya *Pipeline walking*. Tujuan tugas akhir ini adalah untuk menganalisa lebih lanjut mengenai *pipeline walking* dan mengetahui pengaruh dari slope atau kemiringan seabed terhadap laju terjadinya *pipeline walking*. Analisa awal adalah dengan menghitung dan menentukan letak *virtual anchor* pada pipa kemudian dilakukan perhitungan besarnya *axial walking* per siklus pada pipa dan pengaruhnya terhadap kemiringan seabed dapat diketahui.

1.2 Perumusan Masalah

1. Berapa besarnya perpanjangan pipa secara aksial (*walk per cycle*) akibat adanya thermal ekspansi pada pipa?
2. Berapa besar tegangan yang terjadi pada pipa akibat terjadinya *walking* yang dipengaruhi oleh kemiringan dasar laut?
3. Bagaimana pengaruh kemiringan seabed terhadap besarnya perpanjangan pipa secara aksial (*walk per cycle*) akibat thermal ekspansi?

1.3 Batasan Masalah

1. Temperatur fluida dan temperatur lingkungan sudah ditentukan.

2. Variasi sudut kemiringan dasar laut diasumsikan yaitu -1° , -3° , -5° , 1° , 3° , 5° .
3. Buckling diabaikan.
4. Freespan diabaikan.
5. Perhitungan hanya dibatasi pada perhitungan besar perpanjangan pipa secara aksial.
6. Virtual anchor point tidak berpindah untuk tiap siklus.
7. Terdapat dua virtual anchor point yaitu pada hot end dan cold end.

1.4 Tujuan

1. Mengetahui berapa besarnya perpanjangan pipa secara aksial (*walk per cycle*) akibat adanya thermal ekspansi pada pipa.
2. Mengetahui besarnya tegangan yang terjadi pada pipa akibat terjadinya *walking* yang dipengaruhi oleh kemiringan dasar laut.
3. Mengetahui bagaimana pengaruh kemiringan seabed terhadap besarnya perpanjangan pipa secara aksial (*walk per cycle*) akibat thermal ekspansi.

1.5 Manfaat

1. Memberikan informasi mengenai besar perpanjangan pipa secara axial (*walking*) dalam tiap siklus.
2. Memberikan informasi mengenai tegangan yang terjadi pada koneksi spool akibat *pipeline walking*.
3. Memberikan pengenalan mengenai topik *pipeline walking*.
4. Memberikan penjelasan mengenai fenomena *pipeline walking*.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini, menjelaskan tentang hal apa saja yang melatar belakangi sehingga studi ini dilakukan, permasalahan apa yang akan dibahas, tujuan yang ingin

dicapai, manfaat yang diperoleh dari studi ini, batasan-batasan masalah yang diterapkan, dan sistematika penulisan yang digunakan dalam tugas akhir ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Selama proses pengerjaan dan penyelesaian tugas akhir ini, penulis menggunakan dasar-dasar teori, berbagai macam persamaan dan rumus, sehingga dalam bab ini akan dicantumkan hal-hal tersebut sebagai tinjauan pustaka.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini lebih menguraikan tentang tahapan-tahapan dan metode yang digunakan untuk mengerjakan tugas akhir ini.

BAB IV ANALISIS DAN HASIL PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas bagaimana untuk menyelesaikan permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini. Selain itu, validasi, analisis, pengolahan, dan pembahasan data hasil dari *output* perhitungan juga akan dibahas pada bab ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dari tugas akhir, hasil dari analisis, pembahasan yang dilakukan serta saran-saran yang perlu diberikan untuk penelitian lebih. Bab ini juga untuk menjawab permasalahan yang telah di rumuskan pada Bab I.

(Halaman ini dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Saat ini industri pipa lepas pantai bergerak ke kondisi yang lebih kompleks. Penemuan ladang minyak baru di laut dalam dengan kondisi perairan yang lebih ekstrim dibandingkan dengan laut dangkal membuat perancangan pipa untuk lepas pantai dalam dengan kondisi laut yang lebih ekstrim dibandingkan dengan Dalam perancangan pipa bawah laut perlu diketahui berbagai aspek teknis yang berhubungan dengan perancangan pipa bawah laut. Perubahan kondisi lingkungan dari perairan dangkal ke perairan dalam berpengaruh terhadap kriteria desain untuk offshore pipeline. Pipeline walking merupakan lanjutan dari peristiwa ekspansi pipa berupa pergerakan secara axial dari *hot end* menuju *cold end* yang merupakan akhir dari pipa (Rong *et al.*, 2009).

Pipeline walking terjadi karena adanya ekspansi pada pipa dari hot end menuju cold end pada saat kondisi operasi. Ekspansi tersebut disebabkan oleh adanya aliran fluida dalam pipa yang memiliki tekanan dan suhu yang tinggi (David *et al.*, 2008). Pada saat shutting down, pipa mengalami penyusutan namun karena adanya gaya gesek tanah yang menahan laju pipa ketika penyusutan sehingga pipa tidak dapat kembali ke posisi semula. Peristiwa ekspansi dan penyusutan ini terjadi terus menerus selama beberapa siklus (1 siklus = *start up-shutting down*) sehingga menyebabkan pipa berjalan secara axial ke arah *cold end* (Tveramo, 2013).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Desain Pipeline

Dalam desain pipa terdapat beberapa faktor yang harus diperhatikan seperti kondisi pembebanan dan mekanisme kegagalan. Pipa yang terletak pada seabed memiliki tekanan internal akibat aliran fluida dalam pipa, tekanan eksternal akibat hidrostatik, beban temperatur, dan bending (Tveramo, 2013). Tekanan internal

dalam pipa menyebabkan adanya *hoop stress* pada dinding pipa. Besarnya *hoop stress* diberikan dalam persamaan:

$$\sigma_h = (p_i - p_e) \frac{D-t}{2t} \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan,

p_i = Tekanan internal (N/m²)

p_e = Tekanan eksternal (N/m²)

D = Diameter (m)

t = Tebal Pipa (m)

Jika tegangan pada pipa mencapai *ultimate strength* dari material, maka pipa dapat meledak. Hal ini merupakan mekanisme kegagalan pada pipa akibat dari adanya tekanan internal. Jika tekanan eksternal pipa juga semakin bertambah maka akan menyebabkan adanya lokal *buckling* dan juga menyebabkan terjadinya kegagalan pada pipa.

Terdapat dua pendekatan dalam desain pipa yaitu, *allowable stress design* dan *limit-state design*. *Allowable stress design* merupakan tegangan yang diperbolehkan terjadi pada struktur pipa. Untuk *limit-state design* merupakan batas dari dimana struktur tersebut akan mengalami kegagalan jika menerima kelebihan beban.

Fenomena lain yang perlu dipertimbangkan dalam desain pipa adalah *pipeline walking*. *Pipeline walking* dapat menyebabkan terjadinya *lateral buckling* dan dapat merusak koneksi ujung pada pipa. Salah satu penyebab terjadinya *pipeline walking* adalah adanya perpindahan panas disepanjang pipa. Perpindahan panas ini akan dijelaskan pada bab selanjutnya.

2.2.2 Heat Transfer

Ketika pipa dalam kondisi operasi, aliran fluida dalam pipa akan memanaskan *inlet* pipa hingga menuju *outlet* pipa. Pada waktu yang sama terdapat eksternal

heat loss akibat adanya pengaruh dari suhu lingkungan. Sehingga suhu pada *outlet* pipa berbeda dengan *inlet* pipa. Jika pengaruh dari suhu lingkungan besar dan pipa merupakan pipa yang panjang, suhu pada *outlet* pipa akan menjadi *ambient temperatur* atau sama dengan kondisi lingkungan.

Perpindahan panas didefinisikan sebagai *steady state* dan *transient* tergantung kondisi yang terjadi pada pipa. Pada kondisi *steady state*, temperatur pada pipa berubah seiring berjalannya aliran dari inlet menuju outlet. Jika pada saat kondisi *steady state* dilakukan perawatan pada pipa, temperatur aliran dalam pipa akan mengalami *cooling down*. Pada kondisi ini perpindahan panas menjadi transien. Aliran pada saat kondisi transien memiliki beberapa properti seperti *thermal conductivity*, massa jenis, dan *specific heat capacity*. Perpindahan panas secara transient ini mengakibatkan terjadinya ekspansi dan mengarah pada pipeline walking (Tveramo, 2013).

2.2.3 Ekspansi Pipeline

Zat padat secara mikroskopis dapat dipandang dengan model atom-atom yang dihubungkan dengan pegas. Pegas-pegas tersebut bergerak dengan amplitude tertentu. Bila temperaturnya dinaikkan maka jarak antar atom-atom tersebut juga akan berubah. Begitu pula pada pipa bawah laut yang terletak pada seabed, kondisi bawah laut yang mempunyai temperature rendah dapat menyebabkan pemuaian pada pipa karena temperature fluida di dalam pipa yang tinggi.

Pada kondisi operasi pipa cenderung mengalami ekspansi menuju ujung akhir akibat dari adanya peningkatan temperatur dan tekanan pada pipa. Hasil dari adanya ekspansi ini, mengakibatkan tahanan gesek dari tanah dasar laut meningkat dan gaya axial yang berlawanan dengan arah ekspansi semakin meningkat. Konsekuensinya, pipa mengalami gaya kompresif axial efektif. Gaya efektif ini akan terus meningkat dimulai dari ujung pipa menuju ujung akhir hingga mencapai keseimbangan.

Keseimbangan gaya antara gaya axial dan tahanan gesek tercapai tergantung dari besar kecilnya tahanan gesek dari seabed. Dalam kasus ini keseimbangan gaya yang terbentuk disebut sebagai *virtual anchor point*. Jika terdapat tahanan gesek yang cukup, maka regangan yang dihasilkan akibat adanya tahanan gesek akan menahan regangan akibat adanya temperatur dan tekanan pada pipa. Dengan kata lain adanya tahanan gesek ini akan mencegah pergerakan pipa lebih lanjut. Dalam kasus ini *virtual anchor point* akan terletak disetiap zona ujung pipa.

Sehingga pada saat pipa mengalami ekspansi termal, gaya ekspansi tersebut akan dilawan dengan tahanan gesekan dari tanah dasar laut. Letak dari *virtual anchor* tersebut juga akan mempengaruhi arah dari ekspansi. Untuk lebih jelasnya akan dijelaskan pada bab selanjutnya.

2.2.4 Pipeline Walking

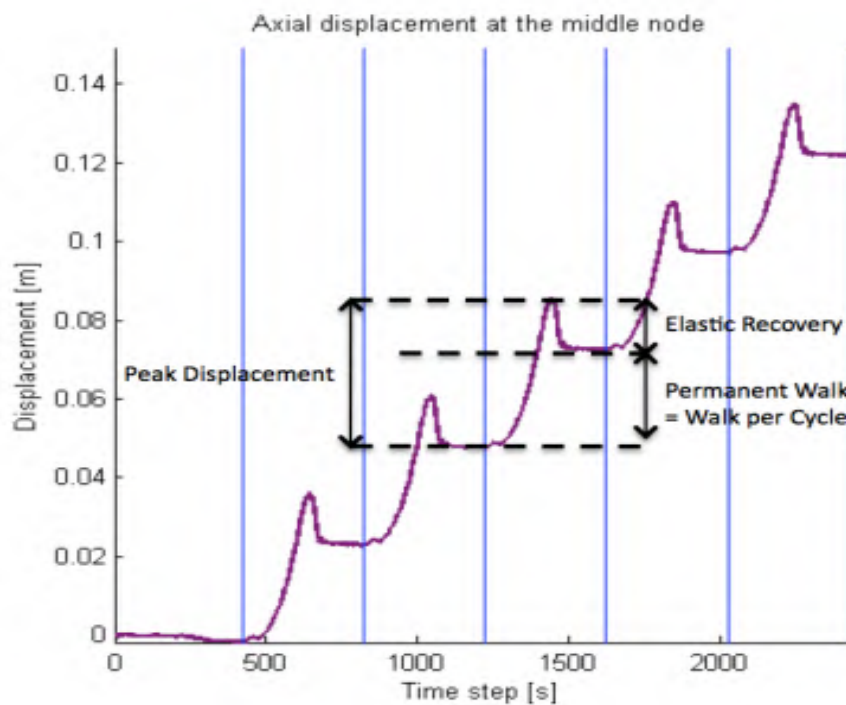
pipeline walking adalah gerakan perpindahan secara axial di sepanjang pipa akibat adanya ekspansi thermal, gaya gesekan yang terjadi antara pipa dengan seabed dan juga perubahan temperatur yang diakibatkan karena terjadinya perubahan siklus dari *start up* ke *shutting down* selama masa operasi pipa. Perubahan siklus yang terjadi secara berkali-kali ini dapat menyebabkan perubahan yang signifikan pada pipa, dan dapat merugikan serta dapat menyebabkan kegagalan pada desain koneksi akhir dari pipa tersebut.

Menurut Carr *et al* (2008) pipeline walking dapat menyebabkan:

- Tekanan yang berlebihan pada koneksi pipa seperti spool / jumper
- hilangnya *tension* dalam steel catenary riser
- Menyebabkan lateral buckle
- Menyebabkan peningkatan tegangan karena lateral buckle

Saat pipa diletakkan diatas seabed dan dipanaskan oleh fluida yang mengalir didalam pipa maka pipa akan cenderung untuk mengalami ekspansi, tetapi ekspansi yang terjadi ini ditahan oleh gesekan yang terjadi karena adanya interaksi antara pipa dengan seabed (Carr *et al.*, 2006). Pada saat kondisi shutting down,

pipa mengalami penurunan tekanan dan suhu sehingga pipa mengalami penyusutan, namun dalam proses ini penyusutan yang terjadi ditahan oleh adanya gaya gesek sehingga mencegah pipa untuk kembali ke keadaan semula secara sempurna (Alves *et al.*, 2012). Pada siklus *start up* dan *shut down* berikutnya pipa mengalami hal yang sama, hal ini menyebabkan akumulasi gerakan perpanjangan pipa dari *hot end* menuju *cold end*. Akumulasi dari gerakan pipa secara axial inilah yang disebut dengan *pipeline walking*.



Gambar 2.1 Detail Axial Displacement Pada Pipa (Tveramo, 2013)

Menurut Tveramo (2013) berikut ini adalah faktor-faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya pipeline walking:

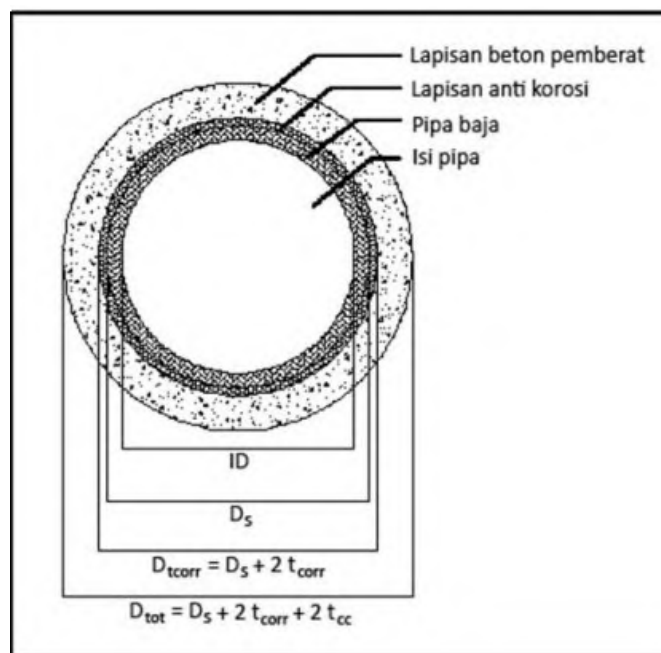
- Perbedaan temperatur pada pipa
- Kondisi Seabed
- Kemiringan Seabed
- Tegangan akibat dari *Steel Catenary Riser*

2.2.5 Perhitungan Berat Terendam Pipa (*Submerged Weight*)

Struktur pipa bawah laut umumnya memiliki dua lapisan pelindung utama yaitu lapisan beton (*concrete coating*) dan lapisan pelindung korosi (*corrosion coating*). Lapisan beton berfungsi sebagai pemberat untuk menstabilkan pipa di bawah laut. Pemilihan ketebalan lapisan beton harus diperhitungkan dengan tepat. Karena, apabila terlalu tipis dan ringan, lapisan beton tidak akan mampu menjaga stabilitas pipa. Sebaliknya, apabila lapisan beton terlalu tebal dan berat, maka akan mengakibatkan pemborosan dan terlalu berat untuk diinstal.



Gambar 2.2 Ilustrasi lapisan beton pada pipa (Reza, 2008)



Gambar 2.3 Penampang melintang pipa dengan lapisan beton (Reza, 2008)

Dalam menentukan letak virtual anchor, terlebih dahulu harus diketahui berapa berat pipa dalam keadaan terendam. Berat pipa dalam keadaan terendam akan mempengaruhi besarnya tahanan gesekan yang tercipta antara tanah dan pipa, sehingga sebelum menghitung besarnya regangan terlebih dahulu harus mengetahui besar dari berat pipa terendam. Berat pipa terendam dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$W_s = (M_s + M_{cc} + M_{content} + M_{wc}) \cdot g - Bf \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan,

- W_s = Berat terendam pipa (N/m)
- M_s = Massa baja (Kg)
- Bf = Gaya apung (N/m)
- $M_{content}$ = Massa konten (Kg)
- M_{cc} = Mass corrosion coat (Kg)
- M_{wc} = Concrete coat mass (Kg)
- g = Gravitasi (m/s^2)

2.2.6 Regangan End Cap

Regangan end cap disebabkan karena adanya tekanan internal di dalam pipa akibat dari aliran fluida. Regangan tersebut terjadi pada bagian akhir pipa yang tersambung dengan belokan (bend). Persamaan regangan yang terjadi dalam pipa :

$$\epsilon_E = \frac{\pi}{4} \frac{[P_{in} D_i^2 - P_o D_o^2]}{EA} \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan,

- P_{in} = Pressure internal (N/m^2)
- P_o = Pressure eksternal (N/m^2)
- D_i = Diameter internal (m)
- D_o = Diameter luar (m)
- E = Modulus elastisitas pipa (Pa)
- A = Cross sectional area (m^2)

2.2.7 Regangan Poisson

Regangan poisson merupakan hasil dari tegangan melingkar disepanjang pipa sehingga mengakibatkan pipa meluas. Persamaan regangan poisson adalah:

$$\epsilon_V = \frac{P_{in} D_i - P_o D_o}{2 t_2 E} \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan,

- P_{in} = Pressure internal (N/m²)
- P_o = Pressure eksternal (N/m²)
- D_i = Diameter internal (m)
- D_o = Diameter luar (m)
- E = Modulus elastisitas pipa (Pa)
- t_2 = wall thickness = $t_{nom} - t_{corr}$ (m)

2.2.8 Regangan Temperatur

Pada saat pipa terinstall, pipa akan melakukan penyesuaian dengan temperatur bawah laut dimana temperatur tersebut jauh lebih dingin dengan temperatur dalam pipa itu sendiri. Peningkatan temperatur dapat terjadi apabila pipa sudah dialiri fluida yang temperaturnya jauh lebih panas dari temperatur lingkungan. Perbedaan ini akan menimbulkan efek regangan yang menjadi dasar ekspansi pada pipa.

$$\epsilon_T = \alpha \cdot \Delta T \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan,

- α = Koefisien termal
- ΔT = Perubahan temperatur = $T_{desain} - T_{instalasi}$ (°C)

Regangan total yang terjadi pada pipa adalah :

$$\epsilon_{total} = \epsilon_E + \epsilon_V + \epsilon_T \dots\dots\dots (2.6)$$

2.2.9 Tahanan Gesek

Pada DNV OS F101 *Submarine Pipeline Systems*, Tahanan gesek pada pipa terjadi akibat adanya faktor tahanan tanah yang bergerak berlawanan dengan pipa pada saat terjadi ekspansi. Untuk pipa bawah laut gesekan akan meningkat secara linear dengan jarak L dari ujung bebas yang sebanding dengan berat pipa kumulatif. Untuk jaringan pipa terkubur, resistansi tambahan untuk gerakan disediakan oleh tekanan tanah yang ada disekitar pipa.

Tahanan gesekan menurut DNV OS F101 ditunjukkan dengan:

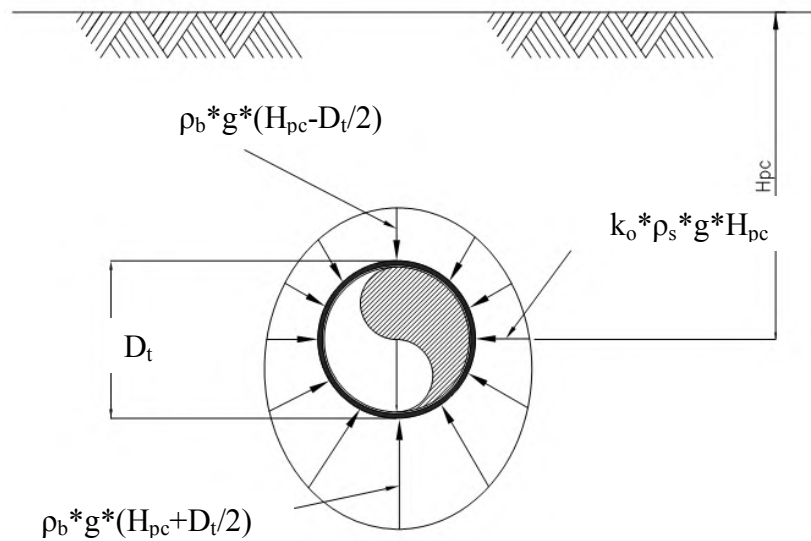
$$F = \mu \left[\frac{\pi}{2} \cdot \rho_b \cdot g \cdot H_b \cdot D_i + (W_s (1 + \tan \theta) - \rho_b \cdot g \cdot \frac{\pi \cdot D_i^2}{4}) \right] \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan:

- F = Gaya gesekan (N/m)
- μ = Koefisien gesekan
- ρ_b = Densitas tanah (Kg/m³)
- g = Gaya gravitasi (m/s²)
- H_b = Kedalaman pipa terkubur (m)
- D_i = Diameter pipa (m)
- W_s = Berat terendam pipa (N/m)
- θ = Sudut Kemiringan

Regangan Gesekan ditunjukkan dengan :

$$\varepsilon_f = \frac{F \cdot L}{A_s \cdot E} \dots\dots\dots (2.8)$$



Gambar 2.4 Gaya Friksi pada pipa yang terkubur (Pertamina, 2002)

2.2.10 Perhitungan *Virtual Anchor Point* (VAP)

Gesekan antara pipa dan tanah terjadi akibat adanya kekakuan pada tanah dasar laut. Ketika pipa berekspansi ke arah cold end, gesekan pada tanah akan mempengaruhi lajunya. Jika gesekan tanah setara dengan laju pipa, maka gesekan tanah akan menahan laju pipa (Bai, 2005). Pemodelan gesekan antara tanah dan pipa biasanya menggunakan Coulumb. Lokasi titik anchor dapat ditentukan dengan menyamakan gaya yang diterapkan pada gaya gesekan permukaan, diberikan rumus :

$$L_A = \frac{\epsilon_{tot} \cdot A_s \cdot E}{F} \dots\dots\dots (2.9)$$

dengan,

- LA = Virtual anchor lenght (m)
- As = Cross sectional area of steel (m²)
- E = Young's modulud of steel (Pa)
- F = Frictional resistance (kg/m)
- ϵ_{tot} = Strain due to internal pressure and temperature

$$\epsilon_{tot} = \epsilon_E + \epsilon_V + \epsilon_T \dots\dots\dots (2.10)$$

- ϵ_E = Strain due to end cap effect
- ϵ_v = Strain due to poisson's effect
- ϵ_T = Strain due to temperature effect

2.2.11 Walking Per Cycle

Walk per cycle merupakan besarnya perpanjangan yang terjadi pada pipa akibat dari thermal ekspansi yang terjadi pada tiap satu siklus (Start-up dan Shut-down). Walk per cycle ini dipengaruhi juga oleh kemiringan dasar laut yang dapat menyebabkan besarnya walk per cycle ini meningkat atau malah mengecil. Menurut Tveramo (2013) besarnya walk per cycle ini dapat dicari dengan rumus berikut:

$$\Delta\alpha = \frac{[|\Delta P| + W L |\sin \alpha| - W L \mu_a \cos \alpha] L \tan \alpha}{\mu_a E A} \dots\dots\dots(2.11)$$

dengan:

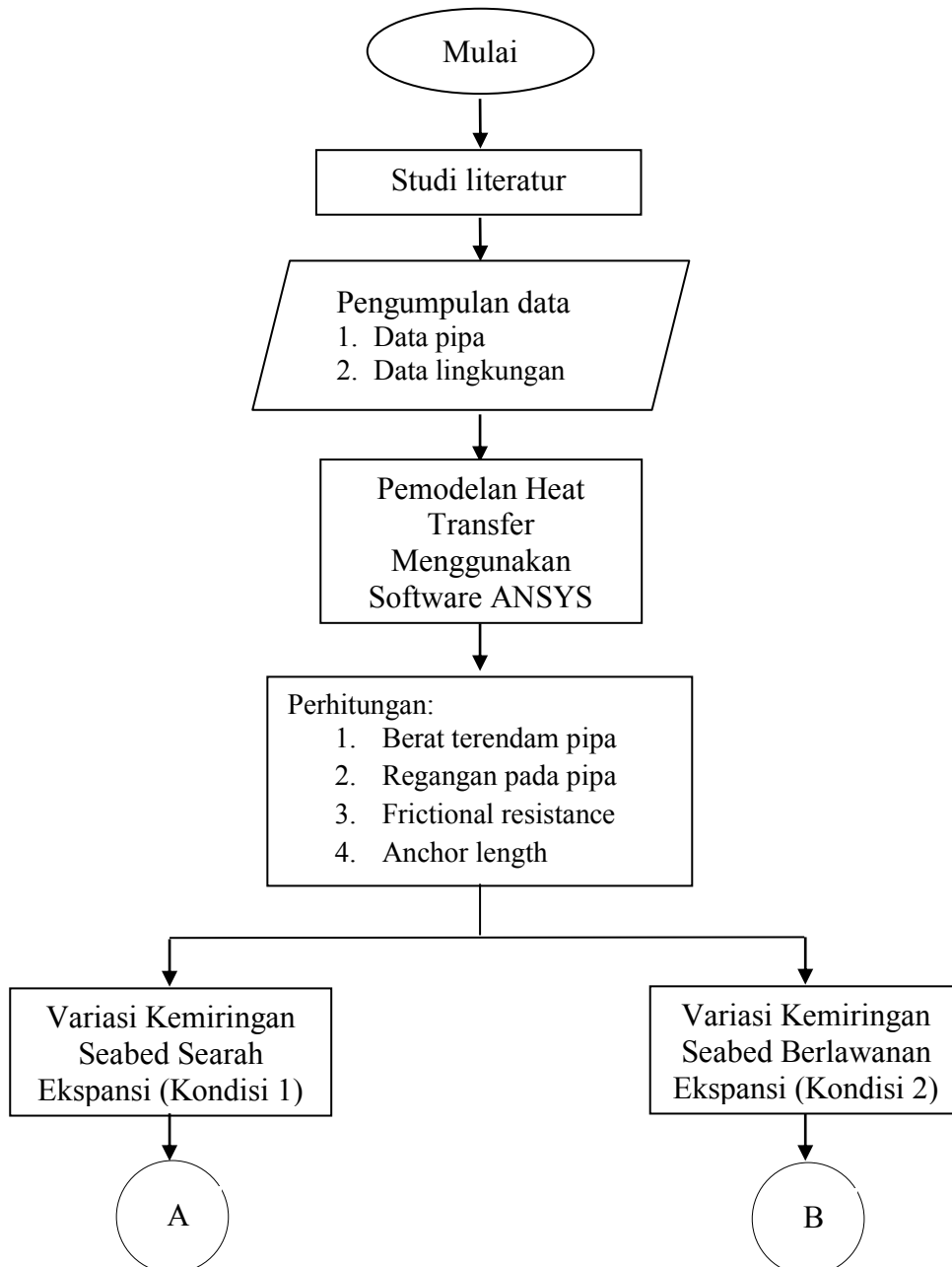
- $\Delta\alpha$ = Walk per cycle (m)
- ΔP = Perubahan gaya aksial
- W = Berat terendam pipa (N/m)
- L = Panjang pipa (m)
- E = Modulus young (Pa)
- A = Cross sectional area (m²)
- α = Sudut seabed
- μ_a = Friction factor

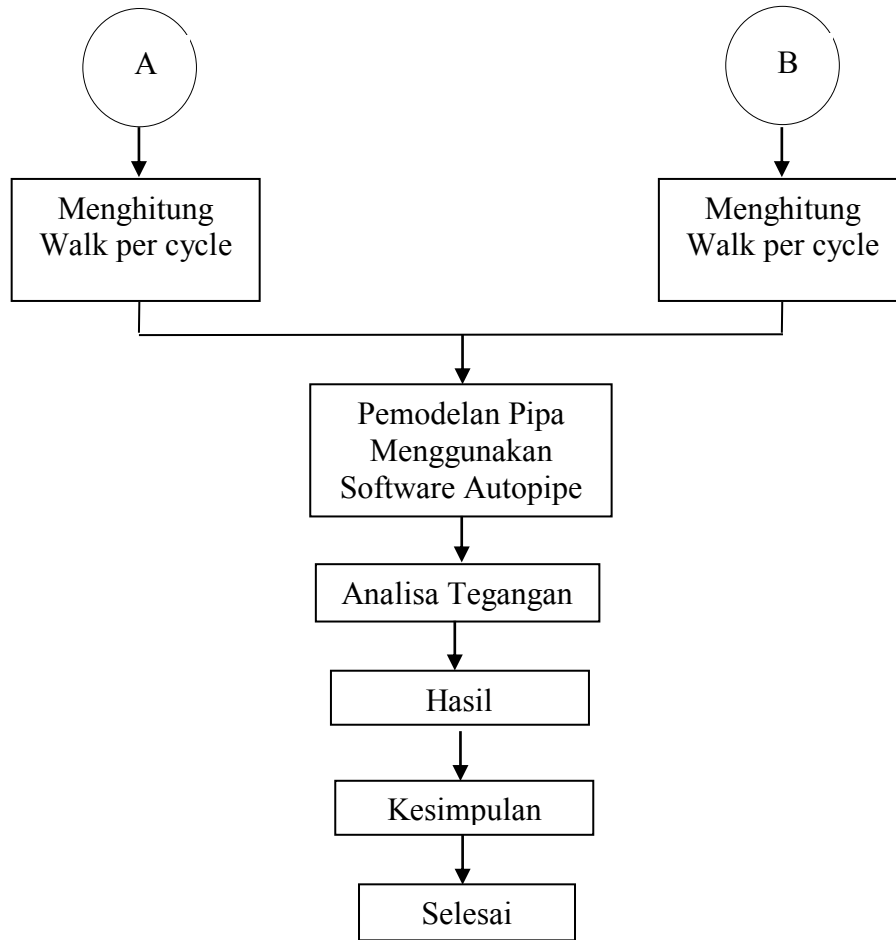
(Halaman ini dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Untuk menjelaskan metode yang digunakan, maka dibuatlah diagram alir. Adapun diagram alir dari pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:





Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Pengerjaan Tugas Akhir.

Langkah-langkah penelitian pengerjaan tugas akhir ini tertera dalam diagram alir gambar 3.1 dan dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi literatur

Hal ini dilakukan untuk semakin memahami masalah yang ada, menambah pengetahuan akan ekspansi pada pipa termasuk bagaimana efek yang ditimbulkannya pada pipeline walking dan juga bagaimana menanggulangi hal tersebut. Literatur yang dimaksud dapat berupa buku, jurnal, ataupun laporan tugas akhir terdahulu yang membahas pokok permasalahan yang sama atau mirip dengan tugas akhir ini. Literatur tersebut digunakan sebagai acuan ataupun referensi tugas akhir ini.

2. Pengumpulan data

Data-data yang diperlukan untuk melakukan perhitungan walk per cycle pada pipa. Data yang diperlukan adalah data properti pipa, data tanah, dan data fluida.

3. Pemodelan heat transfer menggunakan software ANSYS

Pemodelan heat transfer menggunakan ANSYS dilakukan untuk mengetahui besarnya perubahan temperatur yang terjadi di sepanjang pipa mulai dari awal fluida tersebut mengalir yaitu dari *well* hingga menuju ke ujung pipa yaitu ke *riser* akibat pengaruh dari fluida yang mengalir dalam pipa dan pengaruh dari temperatur lingkungan seperti temperatur air laut. Perubahan temperatur pada sepanjang pipa diperlukan untuk mengetahui besarnya regangan yang terjadi pada pipa dan mencari besarnya walking tiap siklus yang terjadi tiap dua bulan sekali pada pipa.

4. Perhitungan frictional resistance, regangan total, virtual anchor length, dan walking per cycle.

a. Perhitungan frictional resistance merupakan perhitungan gaya-gaya friksi atau gaya gesekan yang mengenai pipa akibat expansion thermal pada pipa, perhitungan frictional resistance didapatkan dari DNV OS F101.

b. Perhitungan regangan total merupakan perhitungan untuk mengetahui besar regangan yang terjadi pada pipa akibat ekspansi.

c. Perhitungan virtual anchor length merupakan perhitungan berapa panjang expansion yang terjadi dari anchor point.

d. Perhitungan walking per cycle merupakan perhitungan untuk mengetahui berapa besar perubahan panjang pipa atau walking pada pipa untuk setiap siklusnya yaitu setiap dua bulan sekali.

5. Variasi Sudut kemiringan dasar laut

Dengan memvariasikan sudut kemiringan dasar laut dapat diketahui pengaruhnya terhadap terjadinya *pipeline walking* akibat thermal ekspansi. Dalam tugas akhir ini akan dianalisa dua variasi kemiringan dasar laut berdasarkan studi kasus pipa Pertamina PHE ONWJ yaitu dengan kemiringan dasar laut searah ekspansi yang memiliki sudut kemiringan 1° ,

3° dan 3° dan kemiringan dasar laut yang berlawanan arah ekspansi dengan sudut kemiringan -1°, -3° dan -5°. Pada kondisi kemiringan searah ekspansi berat pipa mendukung dan berpengaruh terhadap besarnya *walk per cycle* sedangkan pada kondisi kemiringan berlawanan arah ekspansi berat dari pipa melawan terjadinya *walk per cycle* yang terjadi pada pipa.

6. Menghitung Walk Per Cycle

perhitungan untuk mengetahui berapa besar perubahan panjang pipa atau walking pada pipa untuk setiap siklusnya yaitu setiap dua bulan sekali karena pengaruh kemiringan seabed akibat dari thermal ekspansi. Perhitungan *walk per cycle* dilakukan secara manual.

7. Pemodelan Pipa Menggunakan Software Autopipe

Pemodelan yang dilakukan pada software ini adalah untuk mencari tahu berapa lama siklus pipa yang dapat mengakibatkan *overstress* pada pipa dengan menggambarkan dan menganalisa tegangan yang terjadi pada pipa akibat adanya *pipeline walking* untuk masing-masing variasi kemiringan dasar laut. Dalam pemodelan pipa diperlukan input data awal berupa data properti pipa, data tanah, dan besarnya *walking* per siklus. Setelah semua data dimasukkan maka akan muncul geometri pipa. Setelah itu dilakukan validasi tegangan dan displasmen yang terjadi pada pipa dan riser akibat adanya *walking* selama suatu siklus tersebut.

8. Kesimpulan dan saran

Dalam bab ini akan ditarik kesimpulan dari analisis data dan hasil pembahasan sebelumnya. Dan juga pemberian saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

3.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan langkah awal yang sangat penting dalam prosedur pengerjaan tugas akhir, karena data ini mempengaruhi hasil dari pemodelan nanti.

3.2.1 Data Pipeline

Data pipa yang digunakan dalam perhitungan meliputi data umum pipa yang terdiri dari data diameter, ketebalan, korosi yang diijinkan, modulus elastisitas,

angka poisson dan densitas pipa dan lainnya. Data pipeline yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Data pipeline

Parameters	Units	8" KC-KA 3 Phase Pipeline
Design Pressure	psig	950
Density of Content	kg/m ³	37.32
Internal Diameter	mm	193.6
Wall Thickness	mm	12.7
Outer Diameter	mm	303
Steel OD	mm	219
Corrosion Allowance	mm	3
SMYS	ksi	42.20 ksi
SMTS	ksi	60.70 ksi
Young Modulus	MPa	2.07 x 10 ⁵ (30022.9 ksi)
Poison Ratio	-	0.3
Steel Density	kg/m ³	7850
Coefficient of Thermal Expansion	/°C	1.1 x 10 ⁻⁵

3.2.2 Data Lingkungan

Berikut ini adalah data lingkungan dimana pipa dalam penelitian ini beroperasi.

Tabel 3.2 Data Lingkungan

Parameter	Unit	Value
Max Water Depth	m	200
Density of Sea Water	kg/m ³	1025
Sea Water Temperature	°F	59
Ambient Temperature	°C	15
Frictional Factor		1.5
Soil Density	kg/m ³	1835.49

Pada tabel 3.2 diatas menyajikan data lingkungan yang dibutuhkan dalam perhitungan meliputi kedalaman air laut, densitas dari air laut dan koefisien gesekan tanah.

3.2.3 Data Fluida

Data fluida dalam penelitian ini digunakan untuk mengidentifikasi jenis fluida yang mengalir dalam pipa. Berikut ini adalah data fluida yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 3.3 Data Fluida

Parameter	Units	Value
Fluid Density	Kg/m ³	824.9427
Viscosity	Mpa	2.9
Specific Heat Capacity	BTU/lbF	0.475
Thermal Conductivity	BTU/fthF	0.0789
Mass Flow Rate	Kg/h	13607.771

Data mengenai fluida yang mengalir di dalam pipa dapat dilihat pada tabel 3.3 diatas yang berisi tentang densitas dari fluida yang mengalir, viscosity atau kekentalannya dan lainnya.

(Halaman ini dikosongkan)

BAB IV

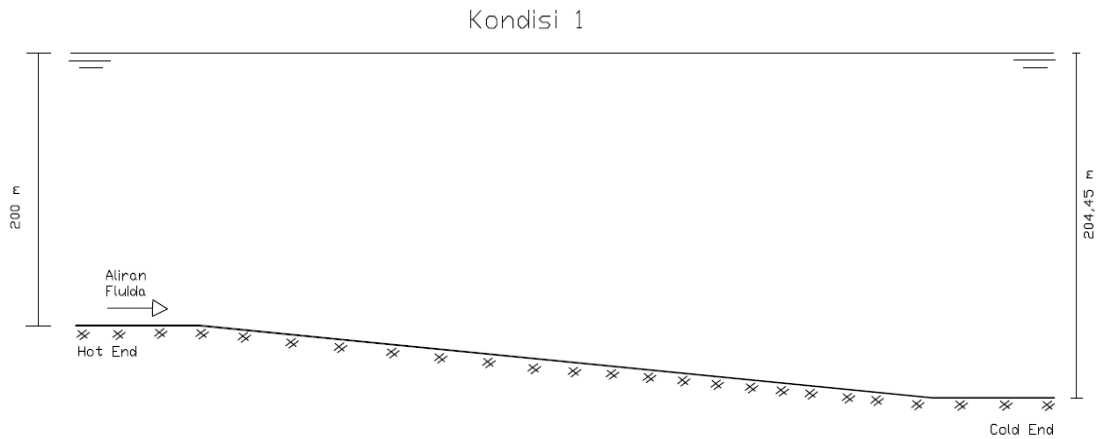
ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

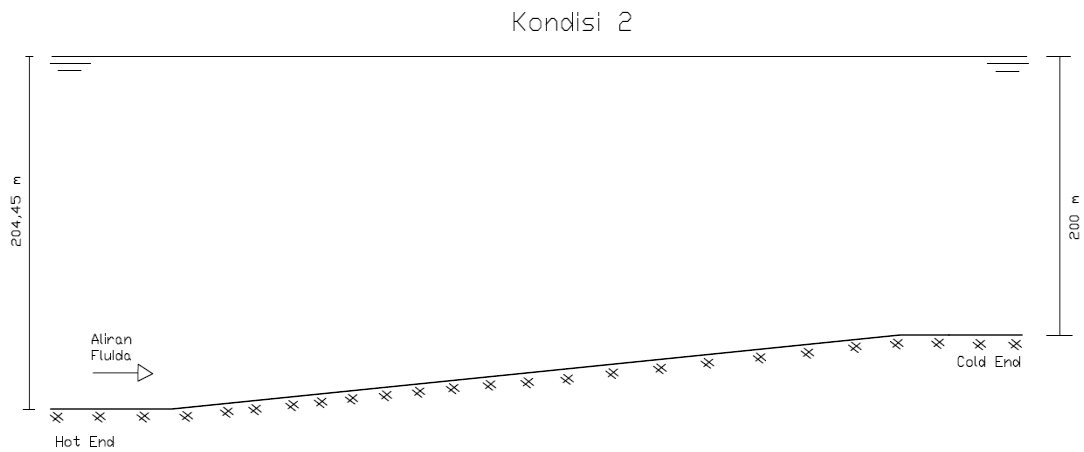
Seperti yang dijelaskan sebelumnya *pipeline walking* merupakan peristiwa dimana pipa mengalami pemuaian secara axial saat pipa panas (*start up*) dan mengalami penyusutan saat pipa dingin (*shut down*) namun tidak dapat kembali ke posisi semula secara sempurna akibat adanya gaya gesekan dengan tanah. Peristiwa *pipeline walking* tersebut dapat menyebabkan terjadinya tekanan yang berlebihan pada koneksi pipa seperti spool, riser dan lainnya juga dapat menyebabkan terjadinya buckling pada pipa.

Dalam penelitian ini *pipeline walking* akan dianalisa pada pipa laut dalam yang memiliki panjang 800 m dan kedalaman maksimum 200 m. Pipa ini merupakan pipa *flowline* yang berfungsi sebagai transportasi fluida dari sumur menuju ke platform melalui riser. Karena kondisi lingkungan pipa dapat menyebabkan adanya *walking*, sehingga perlu adanya analisa *walking* tiap siklusnya. Dalam tugas akhir ini, terdapat **6 siklus dalam satu tahun** (1 siklus = 1x *start up* - 1x *shut down*) yang terjadi pada pipa. Enam siklus ini menyatakan bahwa dalam satu tahun pipa mengalami perawatan selama dua bulan sekali yang menyebabkan pipa berhenti beroperasi (*shut down*) untuk sementara dan kemudian mulai beroperasi kembali (*start up*) setelah perawatan selesai.

Terdapat dua kondisi *pipeline walking* yang dianalisa dalam penelitian ini, kondisi pertama adalah *pipeline walking* yang dipengaruhi oleh kemiringan dasar laut yang searah dengan ekspansi pipa sedangkan kondisi kedua adalah *pipeline walking* yang dipengaruhi oleh kemiringan dasar laut yang berlawanan dengan arah ekspansi pipa.



Gambar 4.1 Pipeline walking searah ekspansi (Kondisi 1)



Gambar 4.2 Pipeline walking berlawanan arah ekspansi (Kondisi 2)

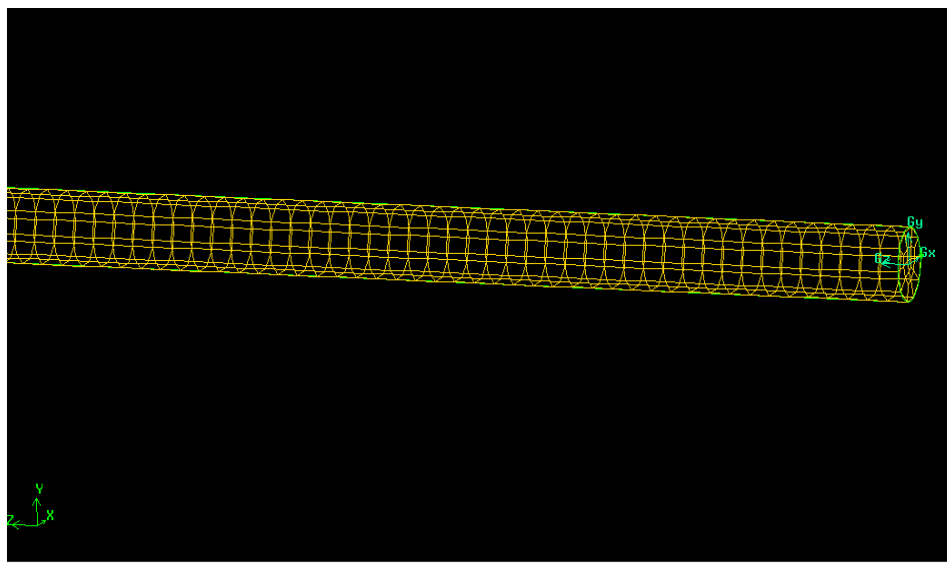
Gambar 4.1 menunjukkan kondisi kemiringan dasar laut yang searah dengan arah ekspansi dengan variasi sudut kemiringan yaitu 1° , 3° dan 5° . Dimana posisi inlet terletak lebih tinggi dibandingkan dengan dengan posisi outlet. Sedangkan pada gambar 4.2 menunjukkan kondisi kemiringan dasar laut yang berlawanan arah dengan arah ekspansi dengan variasi sudut kemiringan yaitu -1° , -3° dan -5° . Dimana posisi inlet pipa terletak lebih rendah dibandingkan dengan posisi outlet.

4.2 Pemodelan Perubahan Termal Menggunakan Software ANSYS

Pemodelan heat transfer dilakukan untuk mengetahui besar temperatur yang terjadi disepanjang pipa. Dalam penelitian ini, pipa memiliki dua VAP (*Virtual*

Anchor Point). Mekanisme *walking* yang diteliti adalah *walking* pada daerah *cold end* karena daerah *cold end* paling dekat dengan *riser*, sedangkan *hot end* paling dekat dengan sumur. Karena suhu yang diketahui pada data awal merupakan suhu awal pada *inlet* pipa, sehingga perlu dilakukan analisa perubahan termal pada daerah *cold end*. Pemodelan ini dilakukan dengan menggunakan software ANSYS Gambit untuk pemodelan geometri awal dan dilanjutkan dengan menggunakan ANSYS Fluent untuk pemodelan heat transfer atau perubahan panas.

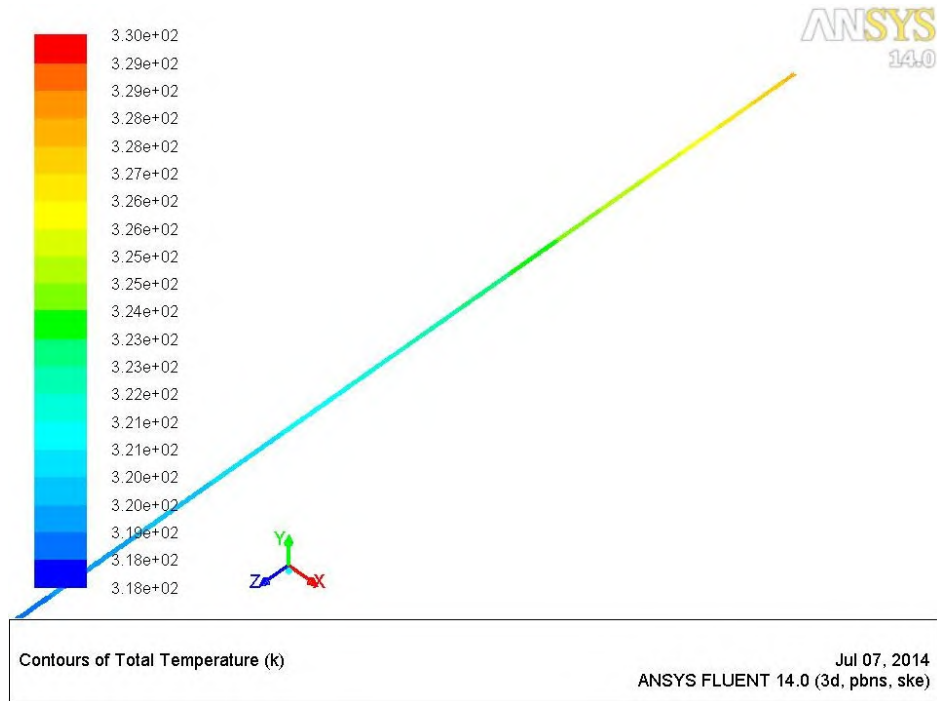
Pemodelan geometri awal pada ANSYS Gambit dilakukan dengan cara memasukan input data berupa panjang pipa, dan internal diameter pipa. Setelah itu dilakukan meshing dan penentuan *boundary condition* pada pipa. Berikut adalah tampilan pemodelan geometri awal pada ANSYS Gambit.



Gambar 4.3 Desain dan Meshing Pipa pada ANSYS GAMBIT

Pada pemodelan geometri gambit pada gambar 4.3 terdapat tiga *boundary condition* yaitu *inlet*, *wall*, dan *outlet*. Setelah pemodelan geometri awal selesai, geometri dan meshing pipa di ekspor kedalam software ANSYS Fluent untuk analisa hasil perubahan termal. Pemodelan heat transfer dilakukan dengan cara memasukan input data awal berupa data fluida dan data temperatur operasi pada inlet pipa sebesar 58°C atau $331,15\text{ K}$. Dari pemodelan ini diketahui besar perubahan termal yang terjadi disepanjang pipa dan juga bentuk kontur perubahan

termal yang terjadi disepanjang pipa. Berikut adalah hasil pemodelan perubahan termal pada pipa.



Gambar 4.4 Kontur Temperatur pada sepanjang pipa

Gambar 4.4 diatas merupakan hasil dari pemodelan heat transfer pada software ansys yang menunjukkan kontur perubahan temperatur di sepanjang pipa akibat dari fluida yang mengalir dalam pipa mulai dari inlet yang ditunjukkan dengan warna merah sampai dengan outlet pipa yang ditunjukkan dengan warna biru pada hasil pemodelan heat transfer. Setelah didapatkan kontur perubahan termal disepanjang pipa, maka besar perubahan termal disepanjang pipa dapat diketahui. Berikut adalah hasil perubahan termal yang terjadi pada pipa di tiap elemen.

Tabel 4.1 Perubahan Temperatur pada Pipa 800 m

Elemen	Panjang	Temperatur			
1	100 m	331.15	°K	58	°C
2	200 m	314.48	°K	41.33	°C
3	300 m	306.66	°K	33.51	°C
4	400 m	302.99	°K	29.84	°C
5	500 m	301.27	°K	28.12	°C
6	600 m	300.46	°K	27.31	°C
7	700 m	300.11	°K	26.96	°C
8	800 m	299.87	°K	26.72	°C

Pada tabel 4.1 diatas menunjukkan hasil perubahan termal yang terjadi disepanjang pipa dari inlet dengan temperatur 58° C dan menuju ke outlet dengan temperatur 26.72° C.

4.3 Perhitungan Berat Terendam Pipa

Berat terendam pipa digunakan untuk mengetahui besar tahanan gesek yang terjadi antara pipa dengan tanah. Ketika pipa bawah laut meregang, pipa tersebut akan mendapatkan gaya gesekan akibat tanah di bawah pipa. Gesekan tersebut terjadi karena ketika pipa meregang berat pipa membuat sebagian badan pipa yang diletakan diatas seabed menyentuh tanah. Sehingga berat pipa harus diketahui sebelum menentukan letak virtual anchor dan juga laju *walking* per siklus.

Berat pipa terendam dihitung dengan cara menjumlahkan berat komponen yang terdapat pada pipa seperti berat dari *concrete* pipa, berat dari isi pipa, berat dari lapisan pelindung pipa dan juga berat dari pipa itu sendiri kemudian dikurangi dengan gaya bouyancy oleh air laut. Setelah dilakukan perhitungan maka dapat dilihat hasil dari perhitungan berat terendam pipa pada tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Berat Terendam Pipa

Cross Sectional Area	value	Content Mass	Steel Mass	Concrete Mass	Coating Mass	Bouyancy Force	Ws
Cross sectional area of steel	0.008226 m	24.27192 kg/m	64.58063 Kg/m	96.25067 kg/m	3.5893 Kg/m	723.9438 N/m ²	1125.243 N/m
Cross sectional area of concrete	0.0152 m						

4.4 Perhitungan Regangan

Pada bab ini, perhitungan regangan digunakan untuk mencari letak *virtual anchor* pada pipa. Perhitungan regangan pada pipa dilakukan dengan cara membagi panjang pipa menjadi beberapa elemen. Pada penelitian ini, regangan elemen yang dianalisa hanya pada *hot end* dan *cold end*. Tiap elemen tersebut terdapat gaya yang bergerak secara axial akibat adanya perbedaan temperatur dan juga perbedaan tekanan dari ujung *hot end* menuju *cold end*.

Untuk menentukan besarnya regangan yang terjadi pada pipa, pertama dilakukan perhitungan besarnya regangan akibat adanya perbedaan tekanan. Kemudian dilakukan perhitungan regangan akibat adanya perbedaan temperatur. Untuk mengetahui besar regangan total yang terjadi pada pipa, dilakukan dengan cara menjumlahkan besaran regangan akibat temperatur dan tekanan. Berikut ini adalah hasil perhitungan regangan total yang terjadi pada pipa akibat perbedaan suhu dan tekanan.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Regangan Pipa (Kondisi 1)

Element	Data	value	Temperature strain	End cap strain	Poisson strain	Total Strain
(Hot End)	T _{ambient}	15 °C	0,000473	0,000097	0,0002169	0,000786
	T _{installation}	58 °C				
	P _{desain}	6550019 Pa				
	P _{internal}	8164934 N/m ²				
	P _{eksternal}	2009000 N/m ²				
	Area _{steel}	0,00822 m				
Element	Data	value	Temperature strain	End cap strain	Poisson strain	Total Strain
(Cold End)	T _{ambient}	15 °C	0,0001289	0,000097	0,00021829	0.000444485
	T _{installation}	26.72 °C				
	P _{desain}	6550019 Pa				
	P _{internal}	8200910 N/m ²				
	P _{eksternal}	2009000 N/m ²				
	Area _{steel}	0.00822 m				

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Regangan Pipa (Kondisi 2)

Element	Data	value	Temperature strain	End cap strain	Poisson strain	Total Strain
(Hot End)	T _{ambient}	15 °C	0,000473	0,000097	0,00021829	0,0007885
	T _{installation}	58 °C				
	P _{desain}	6550019 Pa				
	P _{internal}	8164934 N/m ²				
	P _{eksternal}	2009000 N/m ²				
	Area _{steel}	0,00822 m				

Element	Data	value	Temperature strain	End cap strain	Poisson strain	Total Strain
(Cold End)	T _{ambient}	15 °C	0,000128	0,000097	0,0002169	0,00044254
	T _{installation}	26.72 °C				
	P _{desain}	6550019 Pa				
	P _{internal}	8128959 N/m ²				
	P _{eksternal}	2009000 N/m ²				
	Area _{steel}	0,00822 m				

Dari tabel 4.3 diatas diketahui bahwa total regangan yang terjadi pada kondisi 1 dititik *hot end* sebesar 0,00786 dan titik *cold end* sebesar 0,00044448, sedangkan pada tabel 4.4 diatas menunjukkan pada kondisi 2 dititik hot end sebesar 0,0007885 dan cold end sebesar 0,00044254. Pada dasarnya regangan terjadi pada sepanjang pipa, namun dalam perhitungan diatas hanya fokus pada dua elemen pipa yaitu *hot end* dan *cold end*.

Hal tersebut dikarenakan dalam penentuan letak *virtual anchor* terdapat dua *virtual anchor point* disetiap zona. Pada saat menghitung laju *walking* per siklus, besar regangan yang dihitung hanya berfokus pada daerah *cold end* dimana *walking* yang terjadi akan berkontak langsung dengan ujung riser.

4.5 Perhitungan Tahanan Gesek

Tahanan gesek terjadi pada saat pipa meregang, pipa mendapatkan gaya gesekan akibat tanah di bawah pipa. Namun pada saat *walking*, tahanan gesek juga terjadi pada saat pipa menyusut. Tahanan gesekan terjadi akibat adanya pengaruh berat pipa dan adanya koefisien gesekan. Gesekan yang terjadi antara pipa dengan tanah dapat menahan laju pipa ketika berekspansi sehingga hasil dari tahanan gesekan sangat berpengaruh pada laju ekspansi pipa. Selain itu, hasil dari tahanan gesekan juga mempengaruhi letak *virtual anchor* pada pipa. Faktor yang diperhatikan dalam menghitung tahanan gesekan adalah berat pipa, berat tanah, dan koefisien

gesekan pipa dan tanah. Berikut adalah hasil dari perhitungan tahanan gesekan yang terjadi pada pipa yang ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Tahanan Gesek

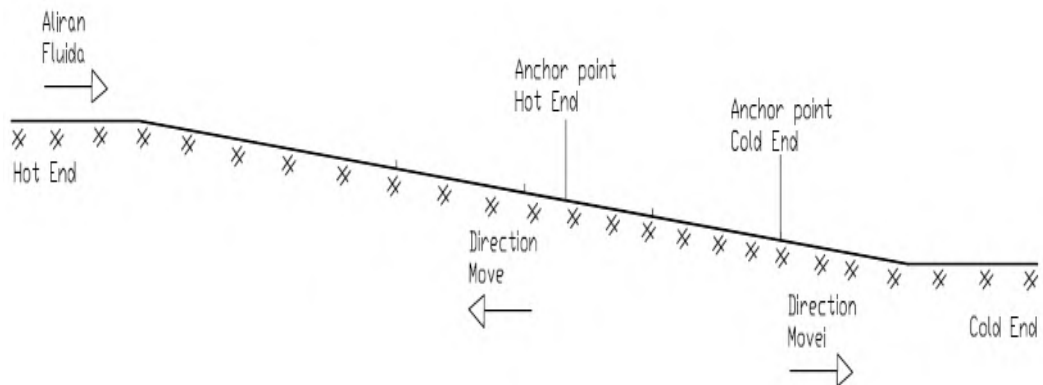
	Densitas Tanah (ρ_b)	Gravity (g)	H_b	Diameter Eksternal (D_t)	Berat Terendam Pipa (W_s)	μ	θ	Frictional Resistance (F)
Value	1835,5 Kg/m^3	9,8 m/s^2	0,101 m	0,303 m	1125,24 Kg/m	1,5	-5	2756,90 N/m
							-3	2816,11 N/m
							-1	2875,11 N/m
							1	2934,03 N/m
							3	2993,03 N/m
							5	3052,24 N/m

4.6 Letak *Virtual Anchor*

Pada saat gaya axial pipa sama dengan besar tahanan gesekan, pipa akan berhenti berekspansi, titik dimana pipa berhenti berekspansi dinamakan *virtual anchor point*. Faktor yang diperhatikan dalam menghitung panjang *virtual anchor* adalah besar regangan pada pipa dan tahanan gesekan yang terjadi pada pipa. Karena pipa termasuk dalam kategori pipa panjang maka terdapat dua titik acuan dalam menentukan panjang VAP (*virtual anchor point*) yaitu titik *hot end* dan *cold end*. Setelah dilakukan perhitungan maka didapatkan hasil dari letak *virtual anchor point* dari tiap variasi sudut kemiringan yang dapat dilihat pada tabel 4.6 berikut ini

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Panjang Virtual Anchor

θ	VAP		X_{ab} (m)
	Hot End (m)	Cold End (m)	
5	438,88	247,99	113,13
3	447,56	252,89	99,55
1	456,56	257,98	85,46
-1	467,07	262,11	70,82
-3	476,86	267,61	55,53
-5	487,101	273,358	39,541



Gambar 4.5 Letak Virtual Anchor Point

Pada gambar 4.5 diatas diketahui bahwa titik dimana pipa mulai *walking* adalah pada panjang 438,88 m menuju arah *hot end*, dan pada panjang 247,99 m menuju arah *cold end*. Hal itu disebabkan karena ketika seluruh bagian pipa berekspansi ke arah *anchor point*, ekspansi tersebut akan dilawan oleh gaya gesekan tanah sehingga tepat pada *anchor point* pipa akan berhenti berekspansi. Sehingga ekspansi terjadi kearah sebaliknya menjauhi *virtual anchor point*. Pada titik *cold end* juga terjadi hal yang sama. *Virtual anchor point* merupakan titik dimana terjadi ekspansi dan juga *walking*.

4.7 *Walking per cycle*

Walking per cycle adalah perhitungan besar walking yang terjadi dalam tiap siklusnya. Seperti yang diketahui dalam tiap tahunnya pipa akan mengalami perawatan yang dilakukan oleh pihak perusahaan guna untuk mengecek ketahanan pipa, korosi, pembersihan, dll. Dalam tiap perusahaan waktu perawatan pipa berbeda-beda tiap tahunnya. Dalam penelitian ini, dalam satu tahun pipa mengalami perawatan sebanyak 6 kali yang berarti dilakukan perawatan setiapdua bulan sekali. Ketika pipa dalam kondisi perawatan, suhu dalam pipa akan menurun drastis dan memungkinkan terjadinya penyusutan. Seperti yang diketahui pada hasil perubahan termal sepanjang pipa, ketika pipa dialiri fluida dan mencapai panjang 800 m atau di titik cold end suhu pada pipa belum mencapai suhu ambient sehingga perbedaan suhu pipa dengan lingkungan sangat

besar. Ketika dilakukan perawatan suhu akan menurun drastis dan akan terjadi penyusutan. Penyusutan ini yang akan dilawan oleh gaya gesek tanah sehingga pipa tidak bisa kembali ke posisi semula.

Dalam perhitungan *walking* per siklus perlu diketahui besar gaya axial yang terjadi di sepanjang pipa akibat adanya pengaruh temperatur dan tekanan. Setelah mengetahui besarnya gaya axial, perlu diketahui besar jarak antara dua virtual anchor karena pada sepanjang jarak antara *virtual anchor point* terdapat perubahan regangan yang signifikan akibat dari adanya perubahan suhu secara transien. Perubahan regangan diantara dua virtual anchor point inilah yang menjadi awal mula terjadinya *walking*. Sehingga berikut adalah hasil dari perhitungan *walking* per siklus :

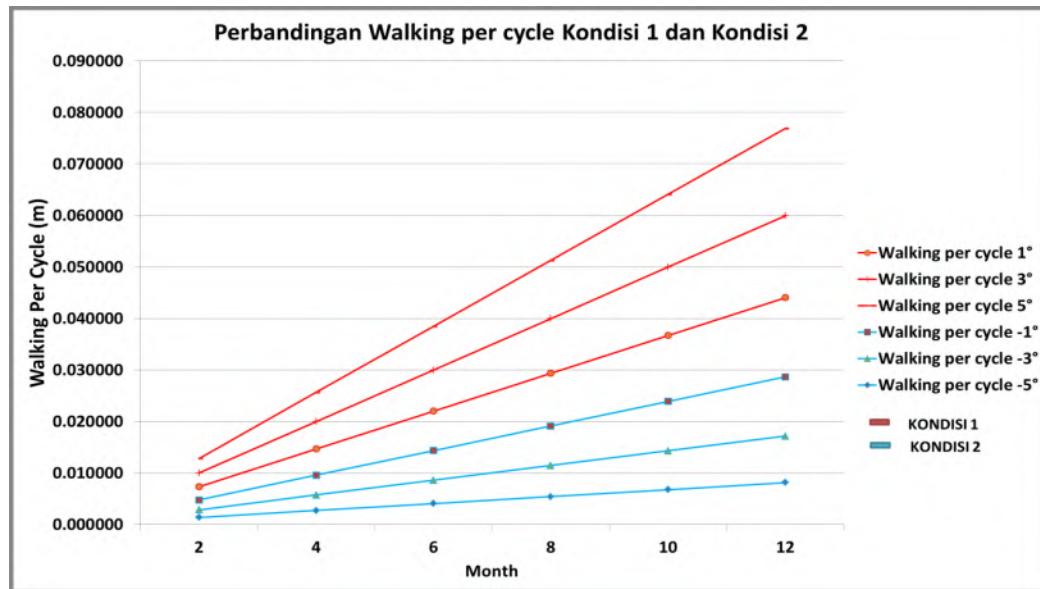
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Walking Per Siklus

L (m)	ΔP	E (Pa)	T1 (°C)	T2 (°C)	W (N/m)	A (m²)	μ	θ	Walking (m)
800	318076,80	$2,07 \times 10^{11}$	29,84	15	1125,243	0,008227	1,5	-5	0,00135
800	318076,80	$2,07 \times 10^{11}$	29,84	15	1125,243	0,008227	1,5	-3	0,00286
800	318076,80	$2,07 \times 10^{11}$	29,84	15	1125,243	0,008227	1,5	-1	0,00478
800	318076,80	$2,07 \times 10^{11}$	29,84	15	1125,243	0,008227	1,5	1	0,00734
800	318076,80	$2,07 \times 10^{11}$	29,84	15	1125,243	0,008227	1,5	3	0,00999
800	318076,80	$2,07 \times 10^{11}$	29,84	15	1125,243	0,008227	1,5	5	0,01282

Pada tabel 4.7 diatas dapat diketahui bahwa pada kemiringan yang paling besar 5° (searah) dan -5° (berlawanan arah) besar *walking* ditiap siklusnya sebesar 0,0128 m (searah) dan 0,00135 m (berlawanan arah), sehingga jika terdapat **6 siklus dalam 1 tahun, besar walking dalam satu tahun = 0,0769 m (searah) dan 0,008127 m (berlawanan arah) .**

Dari hasil walking diatas dapat diketahui bahwa dalam kurun waktu 1 tahun besar walking yang terjadi pada pipa yang kemiringannya searah dengan arah walking (kondisi 1) yaitu pada sudut kemiringan 1°, 3° dan 5° memiliki hasil walking yang

lebih besar dibanding yang berlawanan arah (kondisi 2) yang memiliki variasi sudut kemiringan -1° , -3° dan -5° . Sehingga dalam kondisi searah, riser akan lebih cepat terkena overstress dibanding dengan yang berlawanan arah. Berikut adalah grafik perbandingan besar walking pada kondisi searah (kondisi 1) dan berlawanan arah (kondisi 2) terhadap waktu.

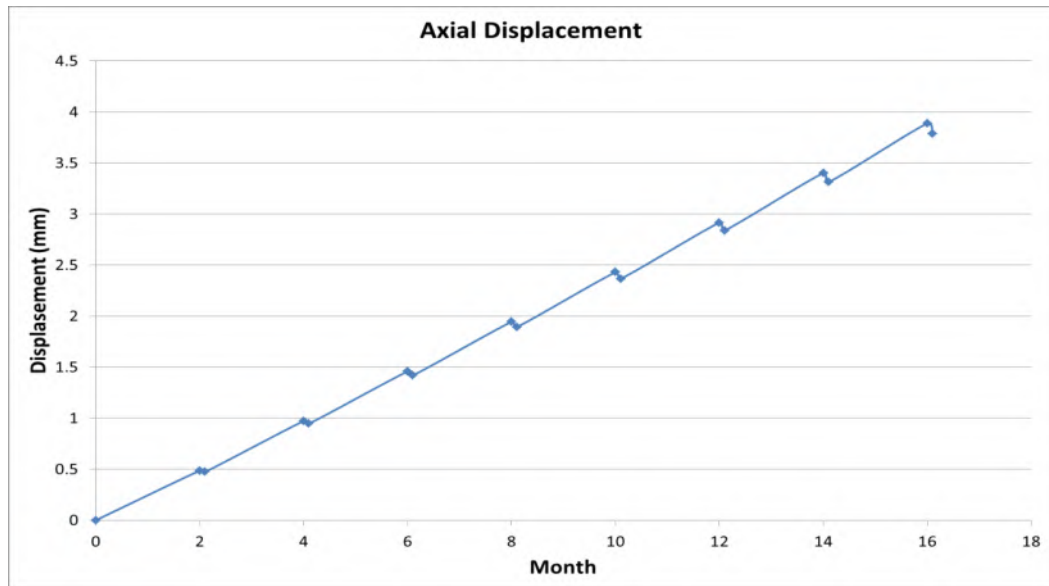


Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Walking Kondisi 1 (Searah) dan Kondisi 2 (Berlawanan Arah)

Grafik pada gambar 4.6 diatas menunjukkan perbandingan dari nilai walking per cycle pada pipa kondisi 1 (searah) yaitu dengan variasi sudut kemiringan 1° , 3° dan 5° yang ditunjukkan dengan garis berwarna merah dengan nilai walking per cycle pada pipa kondisi 2 (berlawanan arah) dengan variasi sudut kemiringan -1° , -3° dan -5° yang ditunjukkan oleh garis berwarna biru selama dalam kurun waktu 1 tahun.

Dari perbandingan yang ditunjukkan pada grafik dapat terlihat bahwa nilai walking per cycle yang dihasilkan oleh pipa kondisi 1 (searah) yang ditunjukkan oleh garis berwarna merah lebih besar dibandingkan dengan nilai walking per cycle yang dihasilkan oleh pipa kondisi 2 (berlawanan arah) yang ditunjukkan oleh garis berwarna biru. Sehingga pada pipa kondisi 1 (searah) pipa dan riser akan lebih

cepat mengalami overstress dibandingkan dengan pipa dalam kondisi 2 (berlawanan arah).



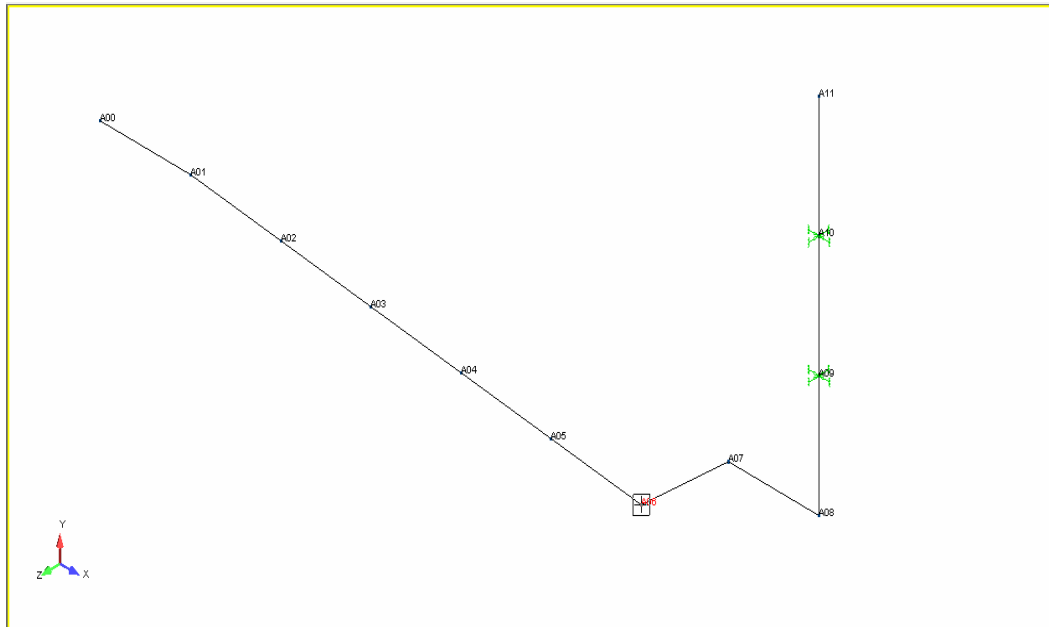
Gambar 4.7 Grafik Perubahan Displasmen Pipa Secara Axial

Pada grafik perubahan displasmen pipa secara axial yang ditunjukkan pada gambar 4.7 diatas dapat dilihat bahwa pipa mengalami perubahan displasemen tiap siklusnya akibat adanya penambahan panjang secara axial yang diakibatkan karena panas fluida yang mengalir didalam pipa saat pipa dalam kondisi operasi dan mengalami penyusutan saat pipa berhenti beroperasi karena adanya maintenance ataupun perbaikan yang dilakukan setiap 2 bulan sekali.

4.8 Tegangan dan Displasemen Pada Ujung Koneksi Pipa dan Riser

4.8.1 Pemodelan Pipa dan Riser

Pemodelan pada autopipe dilakukan dengan cara memodelkan keseluruhan sistem pipa yaitu pipa sepanjang 800 m dan riser. Pemodelan ini dilakukan dengan cara memasukkan input data awal berupa data pipa, data tanah, dan data fluida, setelah itu ditinjau tegangan dan displasemen yang terjadi pada sistem pipa tersebut. Berikut adalah pemodelan sistem pipa hingga menuju riser yang ditunjukkan pada gambar 4.8 berikut ini.



Gambar 4.8 Pemodelan Pipa dan Riser Pada AUTOPIPE

4.8.2 Tegangan dan Displasemen pada Ujung Pipa Akibat *Walking* Selama 1 Tahun

Setelah dilakukan pemodelan pada software autopipe maka dapat dianalisa besarnya tegangan dan displasemen akibat adanya *walking* selama 1 tahun pada pipa yang berjumlah sebanyak enam siklus pada tiap tahunnya baik untuk pipa kondisi 1 (searah) maupun kondisi 2 (berlawanan arah).

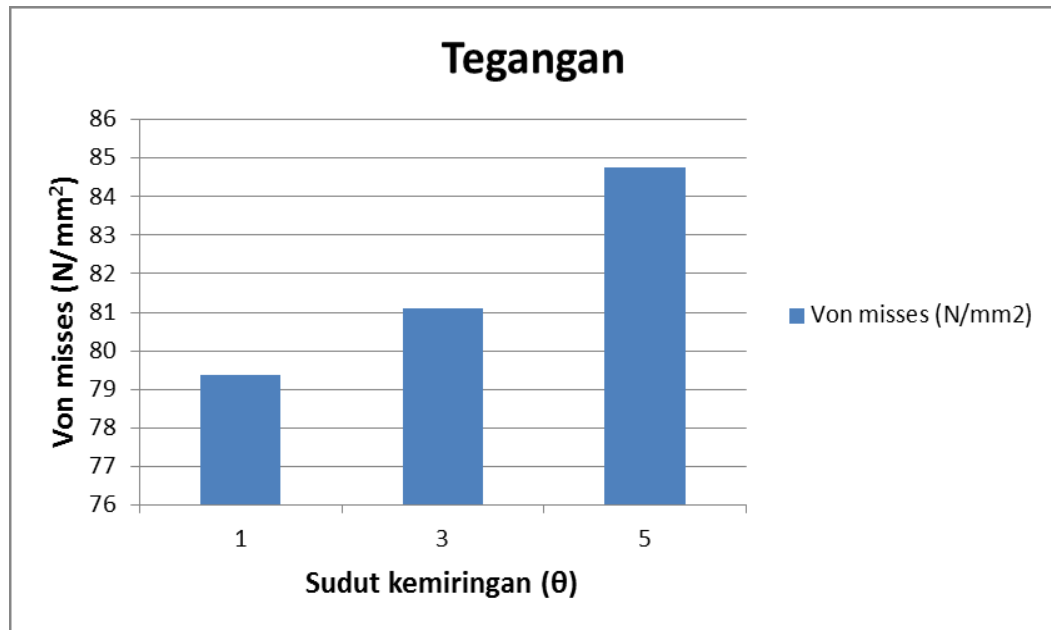
4.8.2.1 Kemiringan Pipa Searah dengan Arah *Walking* (Kondisi 1)

Berikut ini adalah hasil tegangan dan displasemen yang terjadi pada ujung koneksi pipa dan riser dengan pembebanan maksimal berupa berat pipa, temperatur, tekanan, dan besarnya *walking*.

Tabel 4.8 Hasil analisa tegangan selama 1 tahun pada kondisi 1 (searah)

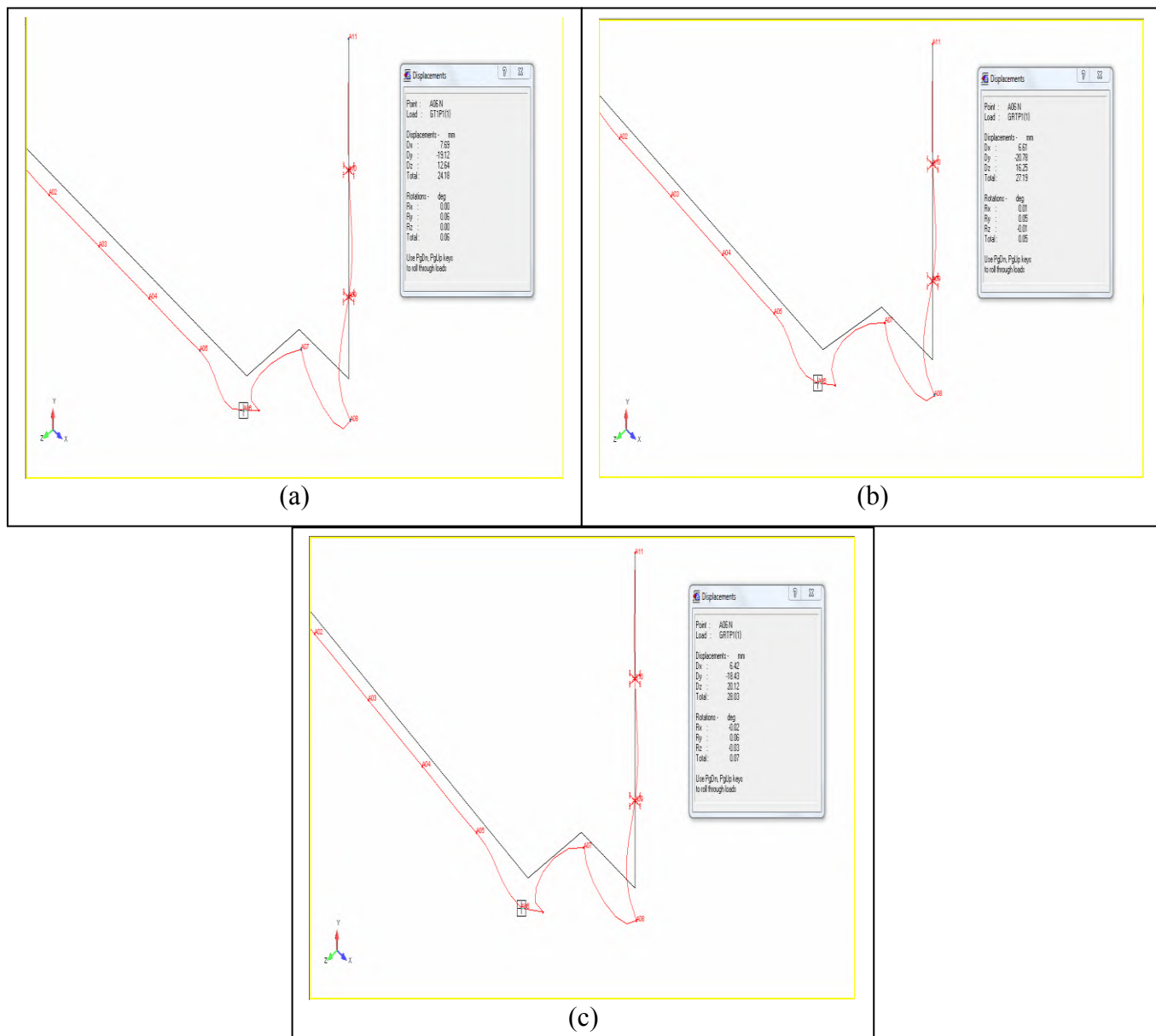
θ	Von misses (N/mm ²)	Allowable Stress (N/mm ²)
1	79.36	186,16
3	81.11	186,16
5	84.75	186,16

Pada tabel 4.8 diatas menunjukkan besarnya tegangan yang dialami pipa akibat dari adanya walking selama 1 tahun pada kemiringan dasar laut 1°, 3° dan 5°. Pada tabel 4.8 diatas dapat dilihat pada pipa kondisi 1 (searah) tegangan yang diakibatkan oleh walking selama 1 tahun semakin besar untuk setiap bertambahnya kemiringan sudut dasar laut dari 1° hingga 5°.



Gambar 4.9 Grafik Tegangan Pada Pipa dengan Kemiringan 1°, Kemiringan 3° dan Kemiringan 5° Selama 1 Tahun

Gambar 4.9 diatas menunjukkan grafik perbedaan tegangan yang terjadi pada pipa kondisi 1 (searah) untuk kemiringan 1°, 3° dan 5° yang telah mengalami walking selama 1 tahun. Dari hasil analisa tegangan pada tabel 4.8 diatas didapatkan besarnya tegangan pada pipa kondisi 1 (searah) dalam kurun waktu 1 tahun yaitu sebesar 79,36 N/mm² untuk sudut kemiringan 1°, 81,11 N/mm² untuk sudut kemiringan 3° dan sebesar 84,75 N/mm² untuk sudut kemiringan 5°. Dari analisa tegangan diatas dapat dilihat bahwa pipa belum mengalami kegagalan akibat adanya walking dalam kurun waktu 1 tahun karena tegangan yang terjadi belum melebihi dari allowable stress. Berikut adalah hasil analisa displasemen pada pipa akibat adanya *walking* selama 1 tahun.



Gambar 4.10 Gambar Displasemen Pada Pipa dengan Kemiringan 1° (a) Kemiringan 3° (b) dan Kemiringan 5° (c) Selama 1 Tahun

Gambar 4.10 menunjukkan bentuk perubahan pipa atau displasemen yang diakibatkan oleh adanya walking pada pipa selama 1 tahun sebesar 0.044 m untuk sudut kemiringan 1° gambar 4.10 (a), 0.0599 m untuk sudut kemiringan 3° gambar 4.10 (b) dan sebesar 0.0769 m untuk sudut kemiringan 5° gambar 4.10 (c). Tampak pada pipa mengalami pergeseran dari posisi aslinya. Berikut adalah tabel hasil analisa displasemen akibat walking selama 1 tahun untuk sudut kemiringan 1°, 3° dan 5°.

Tabel 4.9 Displasemen Pada Pipa Akibat Walking dengan Kemiringan 1°, Kemiringan 3° dan Kemiringan 5° Selama 1 Tahun

θ	Displasemen		
	dx (mm)	dy (mm)	dz (mm)
1	7,69	19,12	12,64
3	6,61	-20,78	16,25
5	6,42	-18,43	20,12

Tabel 4.9 diatas merupakan hasil analisa perubahan displasemen pada pipa kondisi 1 (searah) yang telah mengalami walking selama 1 tahun untuk tiap sudut kemiringan 1°, 3° dan 5°.

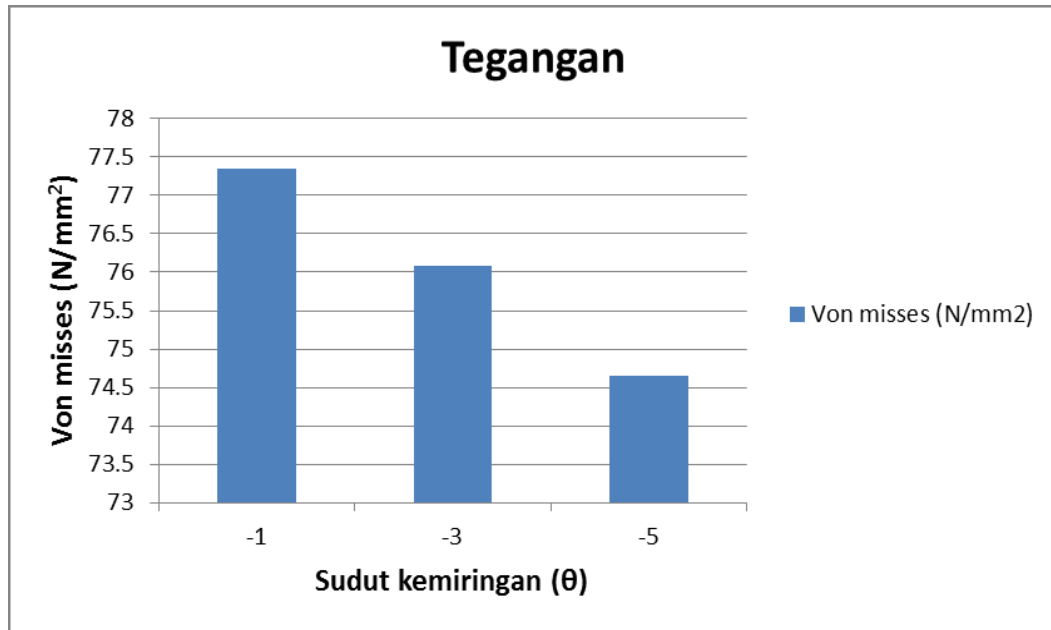
4.8.2.2 Kemiringan Pipa Berlawanan Arah dengan Arah *Walking* (Kondisi 2)

Berikut ini adalah hasil analisa tegangan dan displasemen yang terjadi pada ujung koneksi pipa dan riser dengan pembebanan maksimal berupa berat pipa, temperatur, tekanan, dan besarnya *walkin* pada pipa kondisi 2 (berlawanan arah).

Tabel 4.10 Hasil analisa tegangan selama 1 tahun pada kondisi 2 (berlawanan arah)

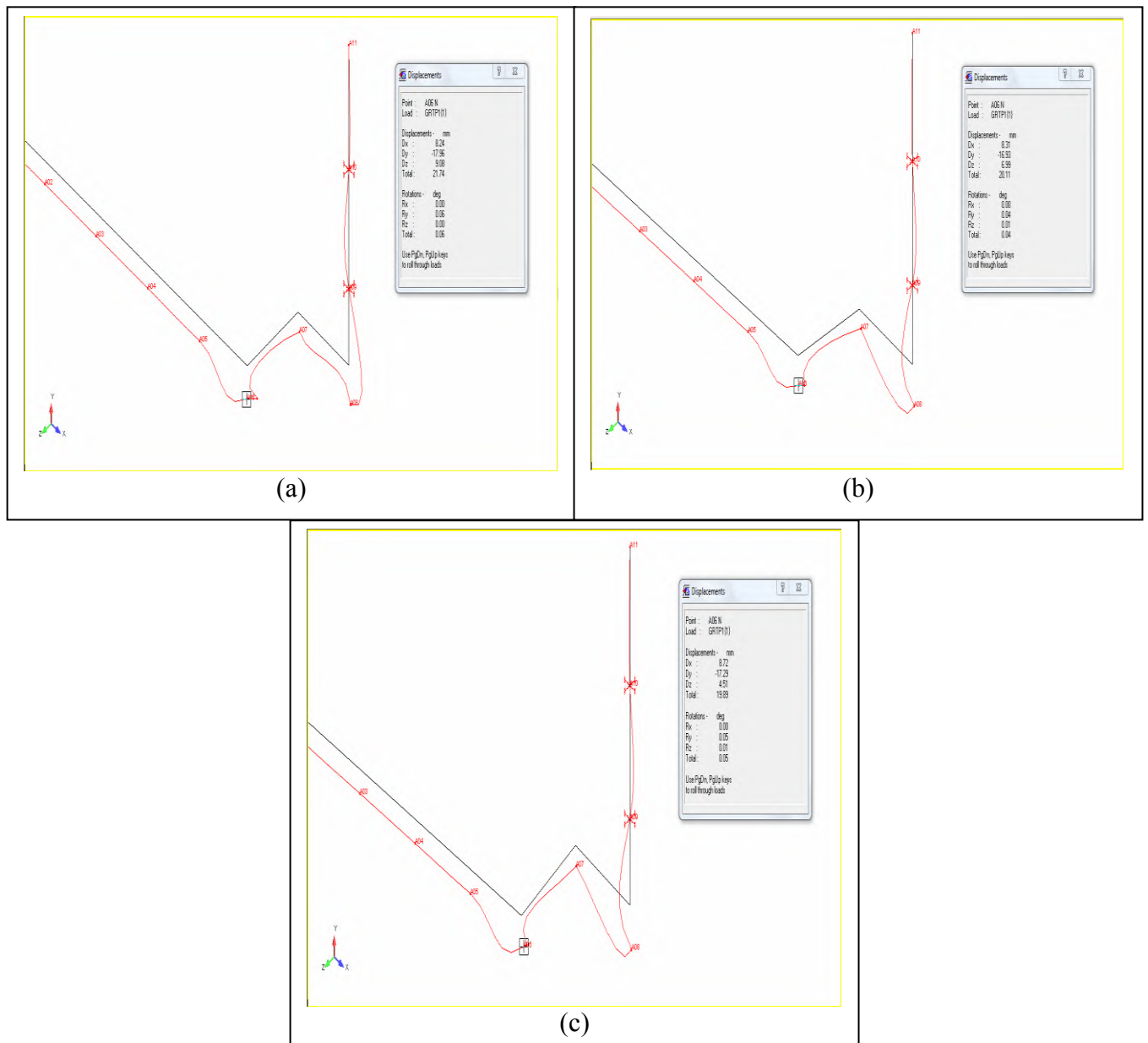
θ	Von misses (N/mm ²)	Allowable Stress (N/mm ²)
-1	77,35	186,16
-3	76,09	186,16
-5	74,66	186,16

Pada tabel 4.10 diatas menunjukkan besarnya tegangan yang dialami pipa akibat dari adanya walking selama 1 tahun pada kemiringan dasar laut -1°, -3° dan -5°.



Gambar 4.11 Grafik Tegangan Pada Pipa dengan Kemiringan -1° , Kemiringan -3° dan Kemiringan -5° Selama 1 Tahun

Gambar 4.11 diatas menunjukkan grafik perbedaan tegangan yang terjadi pada pipa kondisi 2 (berlawanan arah) untuk kemiringan -1° , -3° dan -5° yang telah mengalami walking selama 1 tahun. Dari hasil analisa tegangan pada tabel 4.10 diatas didapatkan untuk pipa kondisi 2 dengan sudut kemiringan berlawanan arah ekspansi -1° , -3° dan -5° belum mengalami kegagalan setelah pipa mengalami walking selama kurun waktu 1 tahun karena tegangan yang dihasilkan akibat walking belum melebihi dari allowable stress yaitu sebesar $77,35 \text{ N/mm}^2$ untuk sudut kemiringan -1° , $76,09 \text{ N/mm}^2$ untuk sudut kemiringan -3° dan sebesar $74,66 \text{ N/mm}^2$ untuk sudut kemiringan -5° . Namun dapat dilihat bahwa untuk pipa kondisi 1 (searah) dalam kurun waktu 1 tahun mengalami tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan pipa kondisi 2 (searah). Berikut adalah hasil analisa displasemen pada pipa akibat adanya *walking* selama 1 tahun.



Gambar 4.12 Gambar Displasemen Pada Pipa dengan Kemiringan -1° (a) Kemiringan -3° (b) dan Kemiringan -5° (c) Selama 1 Tahun

Gambar 4.12 diatas menunjukkan bentuk perubahan pipa atau displasemen yang diakibatkan oleh adanya walking pada pipa selama 1 tahun sebesar 0.0286 m untuk sudut kemiringan -1° gambar 4.12 (a), 0.0171 m untuk sudut kemiringan -3° gambar 4.12 (b) dan sebesar 0.0013 m untuk sudut kemiringan -5° gambar 4.12 (c). Tampak pada pipa mengalami pergeseran dari posisi aslinya. Berikut adalah

tabel hasil analisa displasemen akibat walking selama 1 tahun untuk sudut kemiringan -1° , -3° dan -5° .

Tabel 4.11 Displasemen Pada Pipa Akibat Walking dengan Kemiringan -1° , Kemiringan -3° dan Kemiringan -5° Selama 1 Tahun

θ	Displasemen		
	dx (mm)	dy (mm)	dz (mm)
-1	8,24	-17,96	9,08
-3	8,31	-16,93	6,99
-5	8,72	-17,29	4,51

Tabel 4.11 diatas merupakan hasil analisa perubahan displasemen pada pipa kondisi 2 (berlawanan arah) yang telah mengalami walking selama 1 tahun untuk tiap sudut kemiringan -1° , -3° dan -5° .

Dari hasil analisa tegangan dan displasemen diatas dapat diketahui bahwa dalam waktu 1 tahun pipa yang terletak pada kondisi 1 (searah) dan kondisi 2 (berlawanan arah) tidak mengalami kegagalan akibat overstress karena adanya walking. Tetapi besar tegangan yang terjadi pada pipa kondisi 1 (searah) lebih besar dibanding dengan pipa kondisi 2 (berlawanan arah).

4.8.3 Tegangan dan Displasemen pada Ujung Pipa Akibat *Walking* Selama 10 Tahun

Berikut adalah hasil analisa tegangan dan displasemen untuk pipa kondisi 1 (searah) dan kondisi 2 (berlawanan arah) akibat adanya walking selama 10 tahun.

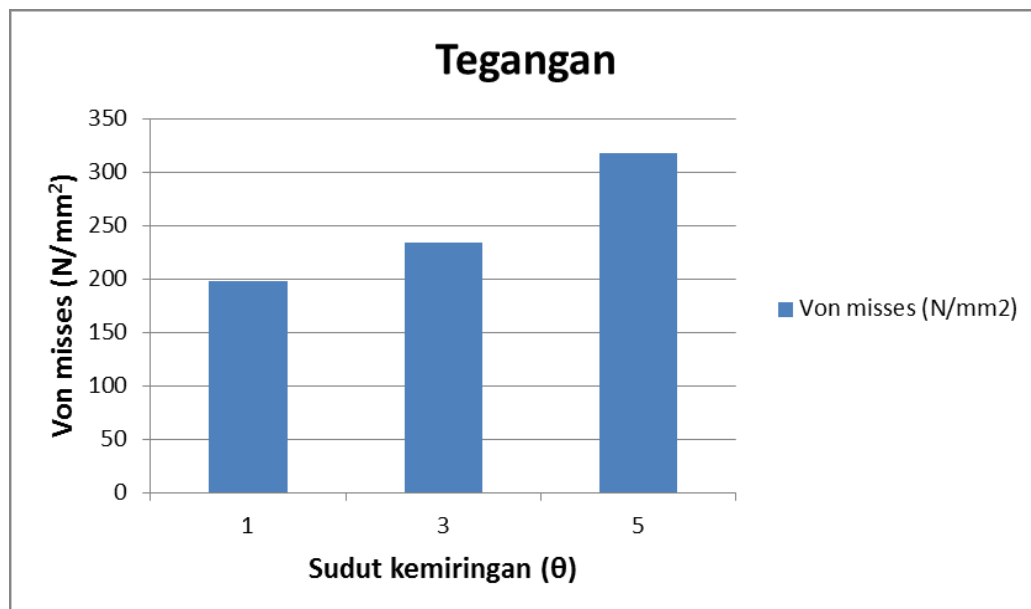
4.8.3.1 Kemiringan Pipa Searah dengan Arah *Walking* (Kondisi 1)

Berikut ini adalah tegangan dan displasemen yang terjadi pada ujung koneksi pipa dan riser dengan pembebanan maksimal berupa berat pipa, temperatur, tekanan, dan besarnya *walking*.

Tabel 4.12 Hasil analisa tegangan selama 10 tahun pada kondisi 1 (searah)

θ	Von misses (N/mm ²)	Allowable Stress (N/mm ²)
1	197,89	186,16
3	234,89	186,16
5	317,62	186,16

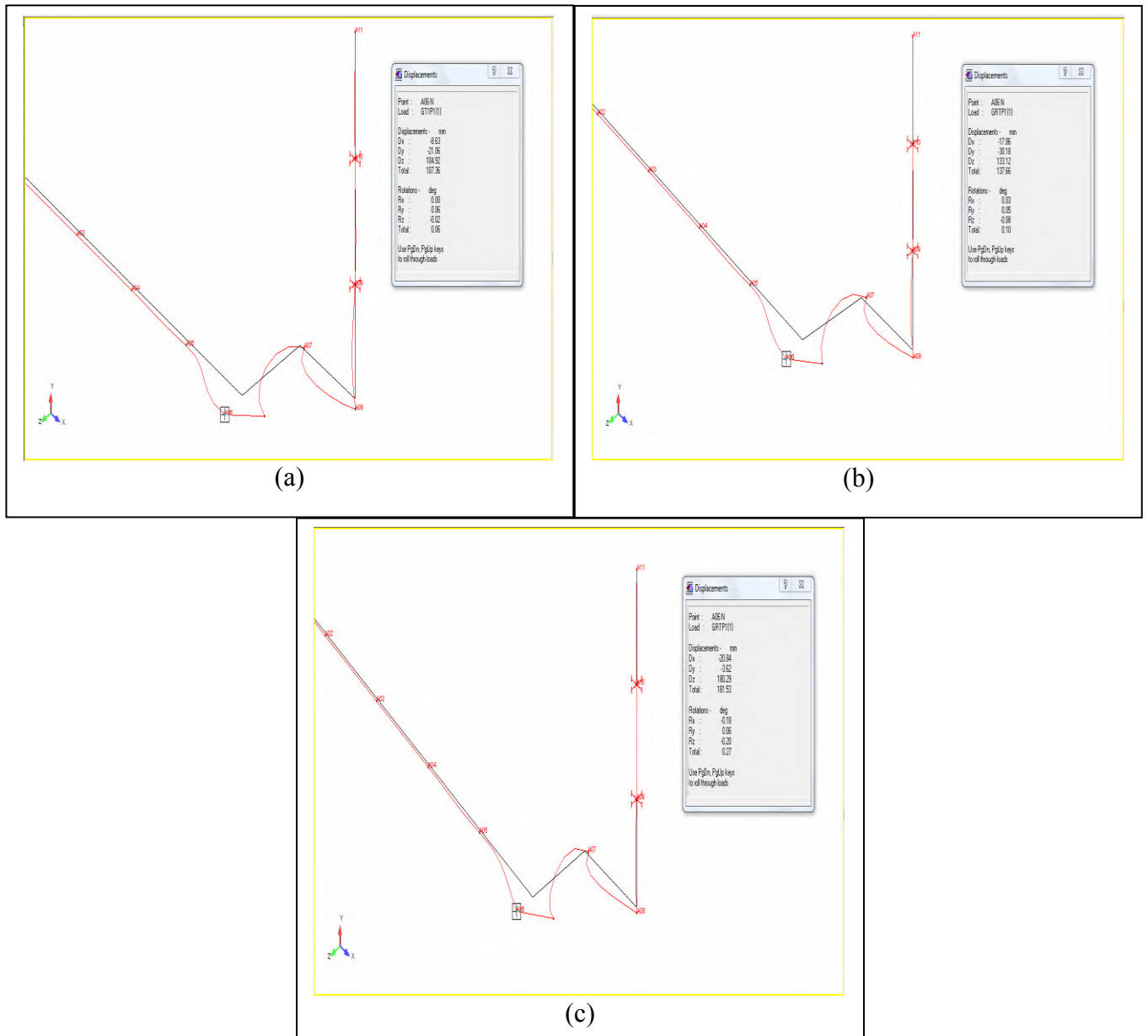
Pada tabel 4.12 diatas menunjukkan besarnya tegangan yang dialami pipa akibat dari adanya walking selama 10 tahun pada kemiringan dasar laut 1°, 3° dan 5°. Pada tabel 4.12 diatas dapat dilihat pada pipa kondisi 1 (searah) tegangan yang diakibatkan oleh walking selama 10 tahun semakin besar untuk setiap bertambahnya kemiringan sudut dasar laut dari 1° hingga 5°.



Gambar 4.13 Grafik Tegangan Pada Pipa dengan Kemiringan 1°, Kemiringan 3° dan Kemiringan 5° Selama 10 Tahun

Gambar 4.13 diatas menunjukkan grafik perbedaan tegangan yang terjadi pada pipa kondisi 1 (searah) untuk kemiringan 1°, 3° dan 5° yang telah mengalami walking selama 10 tahun. Dari hasil analisa tegangan pada tabel 4.12 diatas didapatkan pipa kondisi 1 (searah) untuk sudut kemiringan 1°, 3° dan 5° telah mengalami *overstress* akibat adanya walking yang terjadi pada pipa dalam kurun waktu 10 tahun yaitu sebesar 197,89 N/mm² untuk sudut kemiringan 1°, 234,89 N/mm² untuk sudut kemiringan 3° dan sebesar 317,62 N/mm² untuk sudut kemiringan 5°.

Dari analisa tegangan diatas dapat dilihat bahwa pipa telah mengalami kegagalan akibat adanya walking dalam kurun waktu 10 tahun yang menyebabkan pipa mengalami kondisi *overstress*. Berikut adalah hasil analisa displasemen pada pipa akibat adanya *walking* selama 10 tahun.



Gambar 4.14 Gambar Displasemen Pada Pipa dengan Kemiringan 1° (a) Kemiringan 3° (b) dan Kemiringan 5° (c) Selama 10 Tahun

Gambar 4.14 diatas menunjukkan bentuk perubahan pipa atau displasemen yang diakibatkan oleh adanya walking pada pipa selama 10 tahun sebesar 0.440 m

untuk sudut kemiringan 1° gambar 4.14 (a), 0.599 m untuk sudut kemiringan 3° gambar 4.14 (b) dan sebesar 0.769 m untuk sudut kemiringan 5° gambar 4.14 (c). Tampak pada pipa mengalami pergeseran dari posisi aslinya. Berikut adalah tabel hasil analisa displasemen akibat walking selama 10 tahun untuk sudut kemiringan 1°, 3° dan 5°.

Tabel 4.13 Displasemen Pada Pipa Akibat Walking dengan Kemiringan 1°, Kemiringan 3° dan Kemiringan 5° Selama 10 Tahun

θ	Displasemen		
	dx (mm)	dy (mm)	dz (mm)
1	-8,63	-21,06	104,92
3	-17,86	-30,18	133,12
5	-20,84	-3,62	180,30

Tabel 4.13 diatas merupakan hasil analisa displasemen pada pipa kondisi 1 (searah) yang telah mengalami walking selama 10 tahun untuk tiap sudut kemiringan 1°, 3° dan 5°.

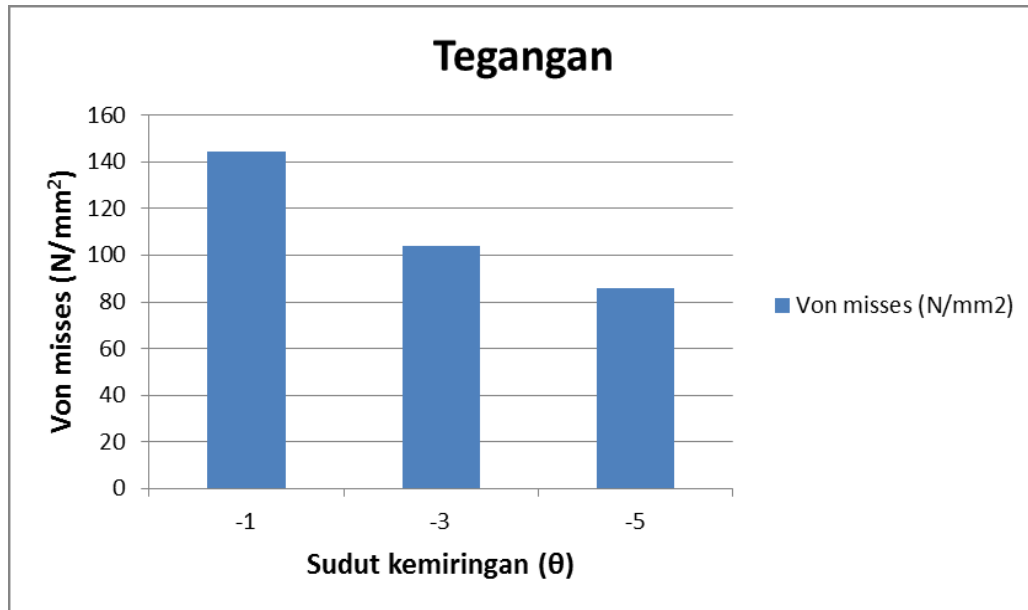
4.8.3.2 Kemiringan Pipa Berlawanan Arah dengan Arah *Walking* (Kondisi 2)

Berikut ini adalah tegangan dan displasemen yang terjadi pada ujung koneksi pipa dan riser dengan pembebanan maksimal berupa berat pipa, temperatur, tekanan, dan besarnya *walking*.

Tabel 4.14 Hasil analisa tegangan selama 10 tahun pada kondisi 2 (berlawanan arah)

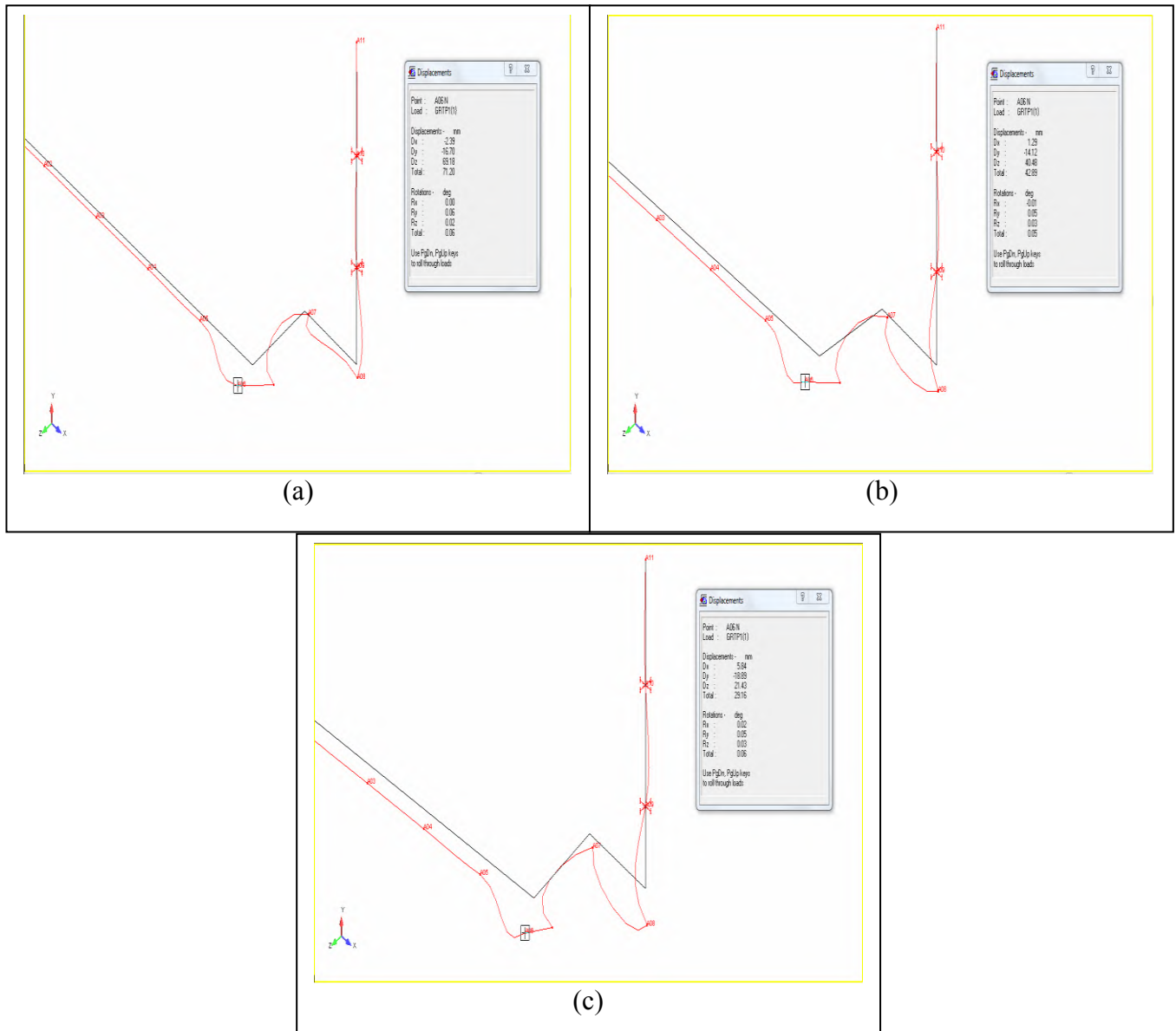
θ	Von misses (N/mm ²)	Allowable Stress (N/mm ²)
-1	144,16	186,16
-3	103,77	186,16
-5	85,61	186,16

Pada tabel 4.14 diatas menunjukkan besarnya tegangan yang dialami pipa akibat dari adanya walking selama 10 tahun pada kemiringan dasar laut -1°, -3° dan -5°.



Gambar 4.15 Grafik Tegangan Pada Pipa dengan Kemiringan -1° , Kemiringan -3° dan Kemiringan -5° Selama 10 Tahun

Gambar 4.15 diatas menunjukkan grafik perbedaan tegangan yang terjadi pada pipa kondisi 2 (berlawanan arah) untuk kemiringan -1° , -3° dan -5° yang telah mengalami walking selama 10 tahun. Dari hasil analisa tegangan pada tabel 4.14 diatas didapatkan untuk pipa kondisi 2 dengan sudut kemiringan berlawanan arah ekspansi -1° , -3° dan -5° belum mengalami kegagalan setelah pipa mengalami walking selama kurun waktu 10 tahun karena tegangan yang dihasilkan akibat walking belum melebihi dari allowable stress yaitu sebesar $144,16 \text{ N/mm}^2$ untuk sudut kemiringan -1° , $103,77 \text{ N/mm}^2$ untuk sudut kemiringan -3° dan sebesar $85,61 \text{ N/mm}^2$ untuk sudut kemiringan -5° . Berikut adalah hasil analisa displasemen pada pipa akibat adanya *walking* selama 10 tahun.



Gambar 4.16 Gambar Displasemen Pada Pipa dengan Kemiringan -1° (a) Kemiringan -3° (b) dan Kemiringan -5° (c) Selama 10 Tahun

Gambar 4.16 diatas menunjukkan bentuk perubahan pipa atau displasemen yang diakibatkan oleh adanya walking pada pipa selama 10 tahun sebesar 0.286 m untuk sudut kemiringan -1° Gambar 4.16 (a), 0.171 m untuk sudut kemiringan -3° Gambar 4.16 (b) dan sebesar 0.0812 m untuk sudut kemiringan -5° Gambar 4.16 (c). Tampak pada pipa mengalami pergeseran dari posisi aslinya. Berikut adalah tabel hasil analisa displasemen akibat walking selama 10 tahun untuk sudut kemiringan -1° , -3° dan -5° .

Tabel 4.15 Displasemen Pada Pipa Akibat Walking dengan Kemiringan -1° ,
Kemiringan -3° dan Kemiringan -5° Selama 10 Tahun

θ	Displasemen		
	dx (mm)	dy (mm)	dz (mm)
-1	-2,39	-16,70	69,18
-3	1,29	-14,12	40,48
-5	5,84	-18,89	21,43

Hasil analisa perubahan displasemen pada pipa setelah mengalami walking selama 10 tahun dapat dilihat pada tabel 4.15 diatas.

Dari hasil analisa tegangan dan displasemen diatas dapat diketahui bahwa dalam waktu 10 tahun pipa pada kondisi 1 (searah) telah mengalami kegagalan akibat overstress pada ujung koneksi pipa. Sedangkan pipa pada kondisi 2 (berlawanan arah) belum mengalami kegagalan akibat overstress.

4.8.4 Tegangan dan Displasemen pada Ujung Pipa Akibat *Walking* Selama 50 Tahun

Berikut adalah hasil analisa tegangan dan displasemen pada pipa kondisi 1 (searah) dan kondisi 2 (berlawanan arah) yang telah mengalami walking selama 50 tahun.

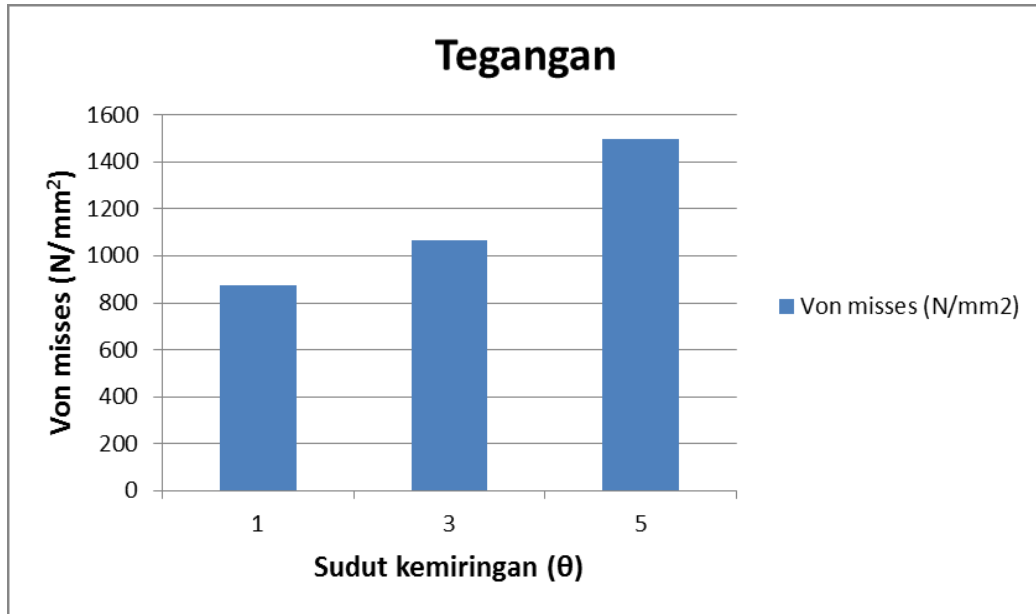
4.8.4.1 Kemiringan Pipa Searah dengan Arah *Walking* (Kondisi 1)

Berikut ini adalah tegangan dan displasemen yang terjadi pada ujung koneksi pipa dan riser dengan pembebanan maksimal berupa berat pipa, temperatur, tekanan, dan besarnya *walking*.

Tabel 4.16 Hasil analisa tegangan selama 50 tahun pada kondisi 1 (searah)

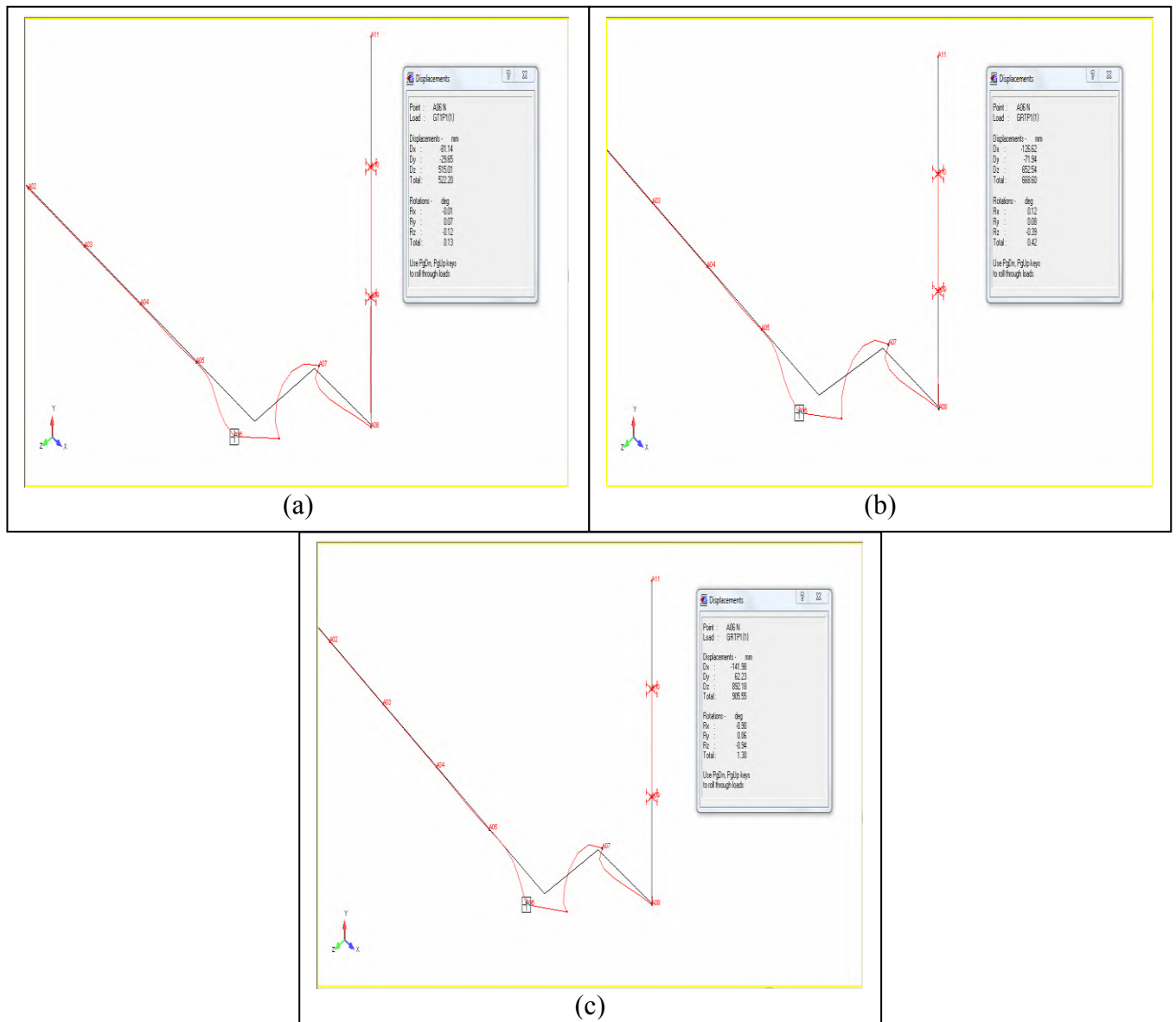
θ	Von misses (N/mm ²)	Allowable Stress (N/mm ²)
1	872,34	186,16
3	1066,40	186,16
5	1498,02	186,16

Pada tabel 4.16 diatas menunjukkan besarnya tegangan yang dialami pipa akibat dari adanya walking selama 50 tahun pada kemiringan dasar laut 1°, 3° dan 5°.



Gambar 4.17 Grafik Tegangan Pada Pipa dengan Kemiringan 1°, Kemiringan 3° dan Kemiringan 5° Selama 50 Tahun

Gambar 4.17 diatas menunjukkan grafik perbedaan tegangan yang terjadi pada pipa kondisi 1 (searah) untuk kemiringan 1°, 3° dan 5° yang telah mengalami walking selama 50 tahun. Dari hasil analisa tegangan pada tabel 4.8 diatas didapatkan pipa kondisi 1 (searah) untuk sudut kemiringan 1°, 3° dan 5° telah mengalami *overstress* yang sangat besar akibat adanya walking yang terjadi pada pipa dalam kurun waktu 50 tahun yaitu sebesar 872,34 N/mm² untuk sudut kemiringan 1°, 1066,40 N/mm² untuk sudut kemiringan 3° dan sebesar 1498,02 N/mm² untuk sudut kemiringan 5°. Dari analisa tegangan diatas dapat dilihat bahwa pipa telah mengalami kegagalan akibat adanya walking dalam kurun waktu 50 tahun yang menyebabkan pipa mengalami kondisi *overstress*. Berikut adalah hasil analisa displasemen pada pipa akibat adanya *walking* selama 50 tahun.



Gambar 4.18 Gambar Displasemen Pada Pipa dengan Kemiringan 1° (a) Kemiringan 3° (b) dan Kemiringan 5° (c) Selama 50 Tahun

Gambar 4.18 diatas menunjukkan bentuk perubahan pipa atau displasemen yang diakibatkan oleh adanya walking pada pipa selama 50 tahun sebesar 2.202 m untuk sudut kemiringan 1° Gambar 4.18 (a), 2.997 m untuk sudut kemiringan 3° Gambar 4.18 (b) dan sebesar 3.845 m untuk sudut kemiringan 5° Gambar 4.18 (c). Tampak pada pipa mengalami pergeseran dari posisi aslinya. Berikut adalah tabel hasil analisa displasemen akibat walking selama 50 tahun untuk sudut kemiringan 1°, 3° dan 5°.

Tabel 4.17 Displasemen Pada Pipa Akibat Walking dengan Kemiringan 1°, Kemiringan 3° dan Kemiringan 5° Selama 50 Tahun

θ	Displasemen		
	dx (mm)	dy (mm)	dz (mm)
1	-81,14	-29,65	515,01
3	-126,62	-71,94	652,54
5	-141,98	62,23	892,18

Tabel 4.17 diatas merupakan hasil analisa displasemen pada pipa kondisi 1 (searah) yang telah mengalami walking selama 50 tahun untuk tiap sudut kemiringan 1°, 3° dan 5°.

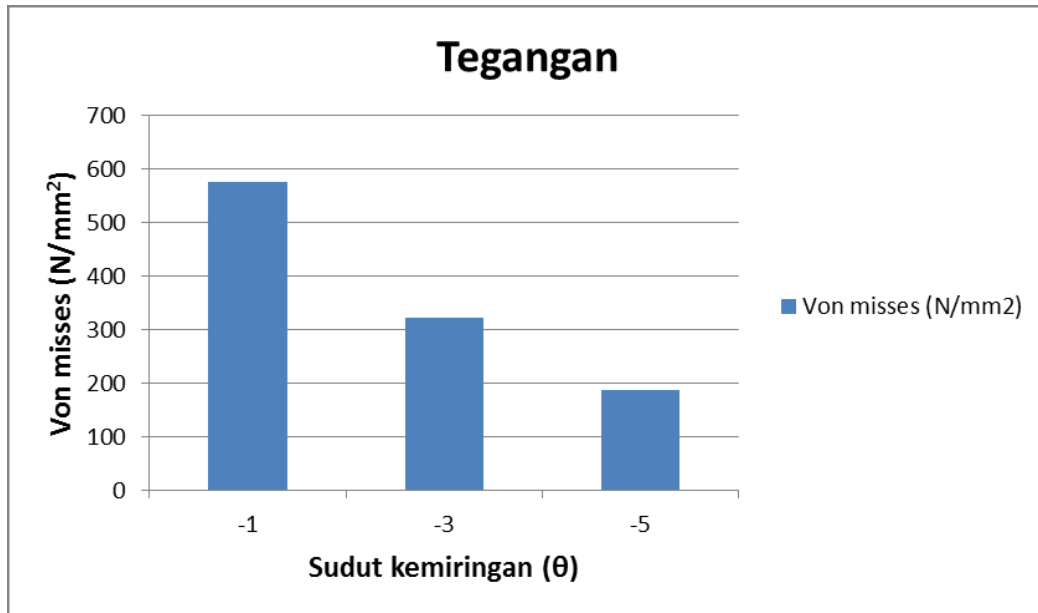
4.8.4.2 Kemiringan Pipa Berlawanan Arah dengan Arah *Walking* (Kondisi 2)

Berikut ini adalah tegangan dan displasemen yang terjadi pada ujung koneksi pipa dan riser dengan pembebanan maksimal berupa berat pipa, temperatur, tekanan, dan besarnya *walking*.

Tabel 4.18 Hasil analisa tegangan selama 50 tahun pada kondisi 2 (berlawanan arah)

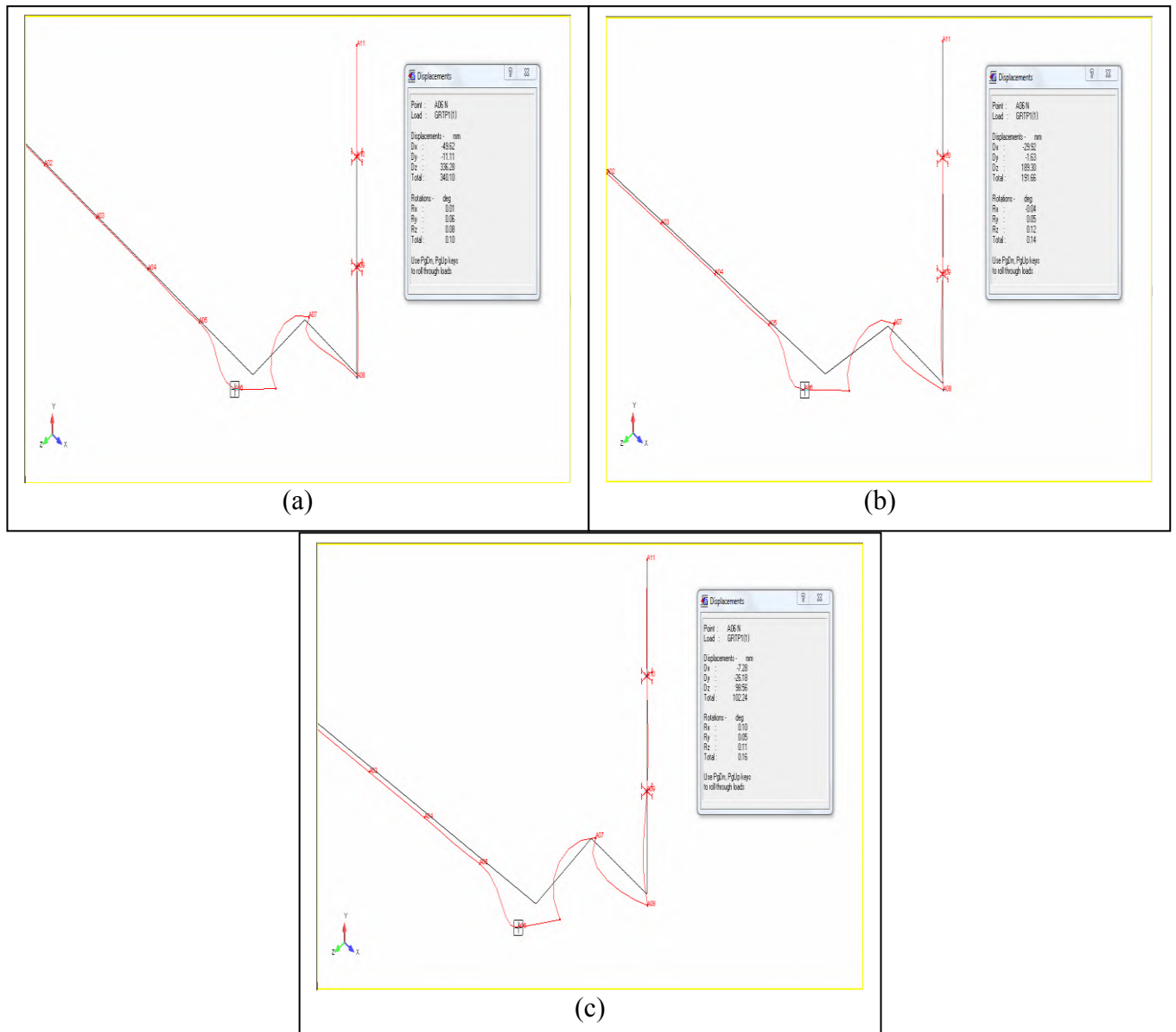
θ	Von misses (N/mm ²)	Allowable Stress (N/mm ²)
-1	575,16	186,16
-3	322,46	186,16
-5	187,29	186,16

Pada tabel 4.18 diatas menunjukkan besarnya tegangan yang dialami pipa akibat dari adanya walking selama 50 tahun pada kemiringan dasar laut -1°, -3° dan -5°.



Gambar 4.19 Gambar Tegangan Pada Pipa dengan Kemiringan -1° , Kemiringan -3° dan Kemiringan -5° Selama 50 Tahun

Gambar 4.19 diatas menunjukkan grafik perbedaan tegangan yang terjadi pada pipa kondisi 2 (berlawanan arah) untuk kemiringan -1° , -3° dan -5° yang telah mengalami walking selama 50 tahun. Dari hasil analisa tegangan pada tabel 4.8 diatas didapatkan untuk pipa kondisi 2 dengan sudut kemiringan berlawanan arah ekspansi -1° , -3° dan -5° baru mengalami kegagalan setelah pipa mengalami walking selama kurun waktu 50 tahun karena tegangan yang dihasilkan akibat walking telah melebihi dari allowable stress yaitu sebesar $575,16 \text{ N/mm}^2$ untuk sudut kemiringan -1° , $322,46 \text{ N/mm}^2$ untuk sudut kemiringan -3° dan sebesar $187,29 \text{ N/mm}^2$ untuk sudut kemiringan -5° . Dari analisa tegangan diatas dapat terlihat bahwa kondisi pipa 2 dengan kemiringan dasar laut berlawanan arah ekspansi memerlukan waktu yang lebih lama untuk terjadi kegagalan dibandingkan dengan pipa kondisi 1 yang memiliki kemiringan dasar laut searah ekspansi. Hal ini terjadi karena walking yang dialami oleh pipa kondisi 2 (berlawanan arah) lebih kecil dibandingkan dengan walking yang terjadi pada pipa kondisi 1(searah). Berikut adalah hasil analisa displasemen pada pipa akibat adanya *walking* selama 50 tahun.



Gambar 4.20 Gambar Displasemen Pada Pipa dengan Kemiringan -1° (a) Kemiringan -3° (b) dan Kemiringan -5° (c) Selama 50 Tahun

Gambar 4.20 diatas menunjukkan bentuk perubahan pipa atau displasemen yang diakibatkan oleh adanya walking pada pipa selama 50 tahun yaitu sebesar 1.434 m untuk sudut kemiringan -1° Gambar 4.20 (a), 0.858 m untuk sudut kemiringan -3° Gambar 4.20 (b) dan sebesar 0.414 m untuk sudut kemiringan -5° Gambar 4.20 (c). Tampak pada pipa mengalami pergeseran dari posisi aslinya. Berikut adalah tabel hasil analisa displasemen akibat walking selama 50 tahun untuk sudut kemiringan -1° , -3° dan -5° .

Tabel 4.19 Displasemen Pada Pipa Akibat Walking dengan Kemiringan -1° ,
Kemiringan -3° dan Kemiringan -5° Selama 50 Tahun

θ	Displasemen		
	dx (mm)	dy (mm)	dz (mm)
-1	-49,62	-11,11	336,28
-3	-29,92	-1,63	189,30
-5	-7,28	-26,18	98,56

Tabel 4.19 diatas merupakan hasil analisa displasemen pada pipa kondisi 2 (berlawanan arah) yang telah mengalami walking selama 50 tahun untuk tiap sudut kemiringan -1° , -3° dan -5° .

Dari hasil analisa tegangan dan displasemen diatas dapat diketahui bahwa dalam waktu 50 tahun pipa pada kondisi 1 (searah) dan kondisi 2 (berlawanan arah) telah mengalami kegagalan akibat overstress yang terjadi pada ujung koneksi pipa.

(Halaman ini dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dalam pengerjaan tugas akhir ini antara lain:

1. Berdasarkan hasil analisa dengan menggunakan metode perhitungan manual didapatkan bahwa hasil *walking per cycle* untuk pipa kondisi 1 (searah) lebih besar dibandingkan dengan pipa pada kondisi 2 (berlawanan arah). Hasil *walking per cycle* untuk pipa kondisi 1 (searah) yaitu sebesar 0.00734 m untuk sudut kemiringan 1° , 0.0099 m untuk sudut kemiringan 3° , dan 0.0128 m untuk sudut kemiringan 5° . Sedangkan hasil *walking per cycle* untuk pipa kondisi 2 (berlawanan arah) yaitu sebesar 0.0047 m untuk sudut kemiringan -1° , 0.0028 m untuk sudut kemiringan -3° , dan sebesar 0.00135 m untuk kemiringan 5° .
2. Dengan menggunakan analisa software didapatkan bahwa pada pipa kondisi 1 (searah) mengalami *overstress* dalam kurun waktu 10 tahun yaitu dengan tegangan paling besar pada kemiringan 5° sebesar $317,62 \text{ N/mm}^2$. Sedangkan untuk pipa kondisi 2 (berlawanan arah) baru mengalami *overstress* setelah beroperasi dalam waktu 50 tahun dengan tegangan paling besar yaitu $575,16 \text{ N/mm}^2$ untuk kemiringan dasar laut -1° .
3. Berdasarkan hasil perhitungan manual dan berdasarkan hasil analisa tegangan dengan menggunakan software bahwa kemiringan sudut dasar laut berpengaruh terhadap besarnya *walking* yang terjadi pada pipa juga tegangan yang terjadi yang diakibatkan oleh *walking* tersebut. Pada pipa kondisi 1 (searah) *walking* yang terjadi tiap siklusnya lebih besar dibandingkan dengan pipa kondisi 2 (berlawanan arah) pada tiap siklusnya, sehingga hal ini mengakibatkan pipa pada kondisi 1 (searah) juga lebih cepat mengalami *overstress* dibandingkan dengan pipa pada kondisi 2 (berlawanan arah).

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut antara lain:

1. Perlu dilakukan analisa terjadinya *lateral buckling* akibat adanya *pipeline walking*.
2. Mitigasi *walking* perlu dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan pada pipa dan riser yang sudah ada.
3. Perlu dilakukan analisa *fatigue* untuk pipa dalam kondisi searah maupun berlawanan arah.

(Halaman ini dikosongkan)

Submerged Weight

$$W_s = (M_s + M_{cc} + M_{content} + M_{wc}) \cdot g - B_f$$

M _s	=	Steel Mass	=	64.58063
M _{cc}	=	Mass corrosion coat	=	3.589328
M _{content}	=	Content mass	=	24.27192
M _{wc}	=	Concrete Coat Mass	=	96.25067
M _{fj}	=	Field Joint Mass	=	0
g	=	gravity	=	9.8
B _f	=	Buoyancy force	=	723.9438
L _{pj}	=	Pipe Joint Length	=	12.1

W _{sub}	=	1125.243	1125.243
ρ _{st}	=	7850	Kg/m ³
L _{pj}	=	12.1	m
ρ _{cc}	=	1281.5	Kg/m ³
ρ _{cont}	=	37.32	Kg/m ³
D _i	=	0.1936	m
ρ _{wc}	=	3044	kg/m ³
FJ	=	0.3	m
ρ _{fj}	=	1025	kg/m ³
D _t	=	0.303	m
ρ _{water}	=	1025	kg/m ³
g	=	9.8	m/s ²

1. Steel mass

$$M_s = \frac{\pi(D^2 - D_i^2)\rho_{st}}{4}$$

D	=	0.219	m
D _i	=	0.1936	m
ρ _{st}	=	7850	Kg/m ³

M _s	=	64.58063	Kg/m
----------------	---	----------	------

2. Mass of Corrosion Coat

$$M_s = \frac{\pi(D_{corr}^2 - D^2)\rho_{corr}}{4}$$

D _{corr}	=	0.227	m
D	=	0.219	m
ρ _{corr}	=	1281.5	Kg/m ³

M _{cc}	=	3.589328	Kg/m
-----------------	---	----------	------

3. Content Mass

$$M_{cont} = \frac{\pi}{4} \cdot D_i^2 \cdot \rho_{cont} \cdot L_{pj}$$

D _i	=	0.1936	m
ρ _{cont}	=	824.9428	Kg/m ³
L _{pj}	=	12.1	m

M _{cont}	=	24.27192	Kg
-------------------	---	----------	----

4. Weight Coat Mass

$$M_s = \frac{\pi(D_{conc}^2 - D_{corr}^2)\rho_{conc}}{4}$$

D _{conc}	=	0.303	m
D _{corr}	=	0.227	m
ρ _{conc}	=	3044	Kg/m ³

M _{wc}	=	96.25067	Kg
-----------------	---	----------	----

5. Buoyancy Force

$$B_f = \frac{\pi}{4} \cdot D_t^2 \cdot \rho_{water} \cdot g$$

D _t	=	0.303	m
ρ _{water}	=	1025	kg/m ³
g	=	9.8	m/s ²

B _f	=	723.9438	N/m
----------------	---	----------	-----

W _{sub}	=	1125.243	N/m
------------------	---	----------	-----

Perhitungan Regangan (Strain)

HOT END

searah ekspansi

Diketahui :

D_i	=	0.1936	m	
D_o	=	0.219	m	
E	=	207	Gpa	2.07E+11 Pa
t	=	0.0127	m	
ν	=	0.3		
α	=	1.10E-05		

d	=	200	m	
Tambient	=	15	°C	
$T_{instalasi}$	=	58	°C	
P_{desain}	=	950	psig	= 6550019 Pa
ΔT	=	43	°C	

Cross Sectional Area of steel $A_i = 0.01529821$

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot [D_o^2 - D_i^2]$$

$$A_s = 0.785 \cdot [0.219 - 0.1936]$$

$$A_s = 0.008226831 \text{ m}$$

a. Temperature Strain

$$\epsilon_T = \alpha \cdot \Delta T$$

$$\epsilon_T = 1,1 \times 10^{-5} \cdot (37.34-15)$$

$$= 0.000473$$

b. End Cap Strain

$$\epsilon_E = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{[P_m D_i^2 - P_o D_o^2]}{EA_s}$$

$$\epsilon_E = \frac{0.785 \cdot [6623077 \cdot 0.1936 - 2009000 \cdot 0.219]}{207 \times 10^9 \cdot 0.006344}$$

$$= 0.000097$$

P_o	=	$\rho_{water} \cdot g \cdot H$	$P_{in} = P_d + \rho_{cont} \cdot g \cdot (d - SS)$
	=	$1025 \cdot 9.8 \cdot 200$	$= 6550019 + 824,942 \cdot 9.8 \cdot (200 - 0,244)$
	=	2009000 N/m^2	$= 8164934 \text{ N/m}^2$

c. Poissons Strain

$$\epsilon_v = \frac{P_{in} D_i - P_o D_o}{2 t E}$$

$$= \frac{6623077 \cdot 0.1936 - 2009000 \cdot 0.219}{2 \cdot 0.0127 \cdot 207 \times 10^9}$$

$$= 0.000216965$$

Sehingga , $\epsilon_{tot} = \epsilon_T + \epsilon_v + \epsilon_E$

$$= 0.00078662$$

Perhitungan Regangan (Strain)

COLD END

Diketahui :

D_i	=	0.1936	m	
D_o	=	0.219	m	
E	=	207	Gpa	2.07E+11 Pa
t	=	0.0127	m	
ν	=	0.3		
α	=	1.10E-05		

d	=	204.45	m	
Tambient	=	15	°C	
$T_{instalasi}$	=	26.72	°C	
P_{desain}	=	950	psig	= 6550019 Pa
ΔT	=	11.72	°C	

Cross Sectional Area of steel

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot [D_o^2 - D_i^2]$$

$$A_s = 0.785 \cdot [0.219^2 - 0.1936^2]$$

$$A_s = 0.008226831 \text{ m}^2$$

a. Temperature Strain

$$\epsilon_T = \alpha \cdot \Delta T$$

$$\epsilon_T = 1,1 \times 10^{-5} \cdot (26.67 - 15)$$

$$= 0.00012892$$

b. End Cap Strain

$$\epsilon_E = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{[P_{in} D_i^2 - P_o D_o^2]}{E A_s}$$

$$\epsilon_E = \frac{0.785 \cdot [6623077 \cdot 0.1936^2 - 2009000 \cdot 0.219^2]}{207 \times 10^9 \cdot 0.006344}$$

$$= 0.000097$$

P_o	=	$\rho_{water} \cdot g \cdot H$	$P_{in} = P_d + \rho_{cont} \cdot g \cdot (d - SS)$
	=	$1025 \cdot 9.8 \cdot 200$	= $6550019 + 824,942 \cdot 9.8 \cdot (200 - 0,244)$
	=	2009000 N/m^2	= 8200910 N/m^2

c. Poissons Strain

$$\epsilon_v = \frac{P_{in} D_i - P_o D_o}{2 t E}$$

$$= \frac{6623077 \cdot 0.1936 - 2009000 \cdot 0.219}{2 \cdot 0.0127 \cdot 207 \times 10^9}$$

$$= 0.00021829$$

Sehingga , $\epsilon_{tot} = \epsilon_T + \epsilon_v + \epsilon_E$

$$= 0.000444485$$

Perhitungan Regangan (Strain)

HOT END

berlawanan ekspansi

Diketahui :

D_i	=	0.1936	m
D_o	=	0.219	m
E	=	207	Gpa 207×10^9 Pa
t	=	0.0127	m
ν	=	0.3	
α	=	1.10E-05	

d	=	204.45	m
Tambient	=	15	°C
$T_{instalasi}$	=	58	°C
P_{desain}	=	950	psig = 6550019 Pa
ΔT	=	43	°C

Cross Sectional Area of steel

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot [D_o^2 - D_i^2]$$

$$A_s = 0.785 \cdot [0.219 - 0.1936]$$

$$A_s = 0.008226831 \text{ m}$$

a. Temperature Strain

$$\epsilon_T = \alpha \cdot \Delta T$$

$$\epsilon_T = 1,1 \times 10^{-5} \cdot (37.34-15)$$

$$= 0.00047300$$

b. End Cap Strain

$$\epsilon_E = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{[P_{in} D_i^2 - P_o D_o^2]}{E A_s}$$

$$\epsilon_E = \frac{0.785 \cdot [6623077 \cdot 0.1936 - 2009000 \cdot 0.219]}{207 \times 10^9 \cdot 0.006344}$$

$$= 0.00009727$$

P_o	=	$\rho_{water} \cdot g \cdot H$	$P_{in} = P_d + \rho_{cont} \cdot g \cdot (d - SS)$
	=	$1025 \cdot 9.8 \cdot 200$	= $6550019 + 824.9427922 \cdot 9.8 \cdot (200 - 0.24)$
	=	2009000 N/m^2	= 8200910 N/m^2

c. Poissons Strain

$$\epsilon_v = \frac{P_{in} D_i - P_o D_o}{2 t_2 E}$$

$$= \frac{6623077 \cdot 0.1936 - 2009000 \cdot 0.219}{2 \cdot 0.0127 \cdot 207 \times 10^9}$$

$$= 0.00021829$$

Sehingga, $\epsilon_{tot} = \epsilon_T + \epsilon_v + \epsilon_E$

$$= 0.00078856$$

Perhitungan Regangan (Strain)

COLD END

Diketahui :

D_i	=	0.1936	m
D_o	=	0.219	m
E	=	207	Gpa 207×10^9 Pa
t	=	0.0127	m
ν	=	0.3	
α	=	1.10E-05	

d	=	200	m
$T_{ambient}$	=	15	$^{\circ}C$
$T_{instalasi}$	=	26.72	$^{\circ}C$
P_{desain}	=	950	psig = 6550019 Pa
ΔT	=	11.72	$^{\circ}C$

Cross Sectional Area of steel

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot [D_o^2 - D_i^2]$$

$$A_s = 0.785 \cdot [0.219^2 - 0.1936^2]$$

$$A_s = 0.008226831 \text{ m}^2$$

a. Temperature Strain

$$\epsilon_T = \alpha \cdot \Delta T$$

$$\epsilon_T = 1.1 \times 10^{-5} \cdot (26.67 - 15)$$

$$\epsilon_T = 0.00012892$$

b. End Cap Strain

$$\epsilon_E = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{[P_{in} D_i^2 - P_o D_o^2]}{E A_s}$$

$$\epsilon_E = \frac{0.785 \cdot [6623077 \cdot 0.1936^2 - 2009000 \cdot 0.219^2]}{207 \times 10^9 \cdot 0.006344}$$

$$\epsilon_E = 0.000097$$

P_o	=	$\rho_{water} \cdot g \cdot H$	$P_{in} = P_d + \rho_{cont} \cdot g \cdot (d - SS)$
	=	$1025 \cdot 9.8 \cdot 200$	= $6550019 + 824.9427922 \cdot 9.8 \cdot (200 - 0.24)$
	=	2009000 N/m^2	= 8164934 N/m^2

c. Poissons Strain

$$\epsilon_v = \frac{P_{in} D_i - P_o D_o}{2 t_2 E}$$

$$\epsilon_v = \frac{6623077 \cdot 0.1936 - 2009000 \cdot 0.219}{2 \cdot 0.0127 \cdot 207 \times 10^9}$$

$$\epsilon_v = 0.000216965$$

Sehingga, $\epsilon_{tot} = \epsilon_T + \epsilon_v + \epsilon_E$

$$= 0.00044254$$

FRICIONAL RESISTANCE CALCULATION

$$F = \mu \left[\frac{\pi}{2} \rho_b g H_b D_t + \left(W_s (1 + \tan \theta) - \rho_b g \frac{\pi D_t^2}{4} \right) \right]$$

ρ_b	=	1835.50	Kg/m ³
g	=	9.8	m/s ²
H_b	=	0.101	m
D_t	=	0.303	m
W_s	=	1125.243177	N/m
$\pi/2$	=	1.57	
μ	=	1.5	
θ	=	-5	

θ	F
5	3052.24
3	2993.03
1	2934.03
-1	2875.11
-3	2816.11
-5	2756.9

Frictional Resistance (N/m ²)		Yield (N/m ²)	
325572266.6667	>	289579806.3	OK
319256533.3333	>	289579806.3	OK
312963200.0000	>	289579806.3	OK
306678400.0000	>	289579806.3	OK
300385066.6667	>	289579806.3	OK
294069333.3333	>	289579806.3	OK

$$F = 1,5(1,57 \cdot 1835,50 \cdot 9,8 \cdot 0,101 \cdot 0,303 + (1125,24 (1 + \tan \theta) - 1835,50 \cdot 9,8 \cdot (3,14 \cdot 0,303^2/4)))$$

$$F = 2756.899627 \text{ N/m}$$

$$= (F \cdot L)/A$$

$$= (F \cdot 800)/0.015 \text{ N/m}^2$$

Virtual Anchor Point **HOT END** **search**

$\epsilon_{total} = 0.00078662$
 $A_s = 0.00822683 \text{ m}^2$
 $E = 2.07E+11 \text{ Pa}$
 $F = \#REF!$

$$L_A = \frac{\epsilon_{tot} \cdot A_s \cdot E}{F}$$

Lvirtual = **#REF!** m

Virtual Anchor Point **COLD END**

$\epsilon_{total} = 0.00044448$
 $A_s = 0.00822683 \text{ m}^2$
 $E = 2.07E+11 \text{ Pa}$
 $F = \#REF!$

$$L_A = \frac{\epsilon_{tot} \cdot A_s \cdot E}{F}$$

Lvirtual = **#REF!** m

Virtual Anchor Point **HOT END** **berlawanan**

$\epsilon_{total} = 0.000789$
 $A_s = 0.0082268 \text{ m}^2$
 $E = 2.07E+11 \text{ Pa}$
 $F = \#REF!$

$$L_A = \frac{\epsilon_{tot} \cdot A_s \cdot E}{F}$$

Lvirtual = **#REF!** m

Virtual Anchor Point **COLD END**

$\epsilon_{total} = 0.0004425$
 $A_s = 0.0082268 \text{ m}^2$
 $E = 2.07E+11 \text{ Pa}$
 $F = \#REF!$

$$L_A = \frac{\epsilon_{tot} \cdot A_s \cdot E}{F}$$

Lvirtual = **#REF!** m

θ	VAP		Xab (m)
	Hot End (m)	Cold End (m)	
5	438.88	247.99	113.13
3	447.56	252.89	99.55
1	456.56	257.98	85.46
-1	467.074	262.119	70.807
-3	476.86	267.61	55.53
-5	487.101	273.358	39.541

WALKING PER CYCLE

a. Persamaan Perubahan Gaya Axial Sepanjang Pipa

$$\Delta P = -(p_{i,2} - p_{i,1})A_i(1 - 2\nu) - EA_s\kappa(\theta_2 - \theta_1)$$

c. Walking per cycle

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta Ss - \Delta P}{EA} \cdot Xab$$

$$\Delta\alpha = \frac{[|\Delta P| + WL|\sin \alpha| - WL\mu_a \cos \alpha]L \tan \alpha}{\mu_a EA}$$

b. Persamaan Perubahan Gaya Axial Sepanjang Xab

$$\Delta Ss = -WL(\mu_a \cos \alpha - |\sin \alpha|) \text{ (menunjukkan slope)}$$

lut positif

1	P1 (Pa)	P2 (Pa)	T1 (C)	T2 (C)	L (m)	As (m)	Ai (m)	v	E (Pa)	k (1/C)
	7E+06	0	29.84	15	800	0.008227	0.015298	0.3	2.07E+11	1.10E-05

α	W (N/m)	(-)P2-P1 1	1-2v 2	(1 . 2 .Ai)	E.As.k 1	T2-T1 2	(1 . 2)	ΔP (Pa)
0	1125.24	-6550019.429	0.4	40080.9	1.87E+04	-14.84	-277995.92	318076.80

W.L.u	E.A	Walking	
1E+06	1.7E+09	-1.67E+06	0.000186776 m

- 0.000187 m
- 0.000374 m
- 0.000560 m
- 0.000747 m
- 0.000934 m
- 0.001121 m

2	P1 (Pa)	P2 (Pa)	T1 (C)	T2 (C)	L (m)	As (m)	Ai (m)	v	E (Pa)	k (1/C)
	7E+06	0	29.84	15	800	0.008227	0.015298	0.3	2.07E+11	1.10E-05

α	W (N/m)	(-)P2-P1 1	1-2v 2	(1 . 2 .Ai)	E.As.k 1	T2-T1 2	(1 . 2)	ΔP (Pa)
1	1125.24	-6550019.429	0.4	40080.9	1.87E+04	-14.84	-277995.92	318076.80

W.L.u	E.A	Walking	
1E+06	1.7E+09	-1.67E+06	0.007340002 m

- 0.007340 m
- 0.014680 m
- 0.022020 m
- 0.029360 m
- 0.036700 m
- 0.044040 m
- 0.440400 m
- 2.202001 m

1 Tahun	44.0400119
10 TAHUN	440.400119 mm
50 Tahun	2202.0006

3	P1 (Pa)	P2 (Pa)	T1 (C)	T2 (C)	L (m)	As (m)	Ai (m)	v	E (Pa)	k (1/C)
	7E+06	0	29.84	15	800	0.008227	0.015298	0.3	2.07E+11	1.10E-05

α	W (N/m)	(-)P2-P1 1	1-2v 2	(1 . 2 .Ai)	E.As.k 1	T2-T1 2	(1 . 2)	ΔP (Pa)
3	1125.24	-6550019.429	0.4	40080.9	1.87E+04	-14.84	-277995.92	318076.80

W.L.u	E.A		Walking
1E+06	1.7E+09	-1.67E+06	0.009992061 m

	0.009992061 m	
	0.019984121 m	
	0.029976182 m	
	0.039968243 m	
	0.049960303 m	
1 Tahun	0.059952364 m	59.9523638
10 TAHUN	0.599523638 m	599.523638 mm
50 Tahun	2.997618 m	2997.61819

4	P1 (Pa)	P2 (Pa)	T1 (C)	T2 (C)	L (m)	As (m)	Ai (m)	v	E (Pa)	k (1/C)
	7E+06	0	29.84	15	800	0.008227	0.015298	0.3	2.07E+11	1.10E-05

α	W (N/m)	(-)P2-P1 1	1-2v 2	(1 . 2 .Ai)	E.As.k 1	T2-T1 2	(1 . 2)	ΔP (Pa)
5	1125.24	-6550019.429	0.4	40080.9	1.87E+04	-14.84	-277995.92	318076.80

W.L.u	E.A		Walking
1E+06	1.7E+09	-1.67E+06	0.012816724 m

	0.01282 m	
	0.02563 m	
	0.03845 m	
	0.05127 m	
	0.06408 m	
1 Tahun	0.07690 m	76.9003433
10 TAHUN	0.76900 m	769.003433 mm
50 Tahun	3.845017 m	3845.01717

sudut negatif

P1 (Pa)	P2 (Pa)	T1 (C)	T2 (C)	L (m)	As (m)	Ai (m)	v	E (Pa)	k (1/C)
6550019	0	29.84	15	800	0.008227	0.015298	0.3	2.07E+11	1.10E-05

α	W (N/m)	(-)P2-P1 1	1-2v 2	(1 . 2 .Ai)	E.As.k 1	T2-T1 2	(1 . 2)	ΔP (Pa)
-1	1125.2	-6550019.429	0.4	40080.88	1.87E+04	-14.84	-277995.92	318076.80

W.L.u	E.A	Walking	
1350292	2E+09	-1.67E+06	-0.004780755 m

0.004780755 m
0.009561511 m
0.014342266 m
0.019123022 m
0.023903777 m
0.028684533 m
1.434226649 m
0.28684533 m

1 Tahun	28.68453298
50 TAHUN	1434.226649 mm
10 Tahun	286.8453298

P1 (Pa)	P2 (Pa)	T1 (C)	T2 (C)	L (m)	As (m)	Ai (m)	v	E (Pa)	k (1/C)
6550019	0	29.84	15	800	0.008227	0.015298	0.3	2.07E+11	1.10E-05

α	W (N/m)	(-)P2-P1 1	1-2v 2	(1 . 2 .Ai)	E.As.k 1	T2-T1 2	(1 . 2)	ΔP (Pa)
-3	1125.2	-6550019.429	0.4	40080.88	1.87E+04	-14.84	-277995.92	318076.80

W.L.u	E.A	Walking	
1350292	2E+09	-1.67E+06	-0.002863311 m

0.002863311 m
0.005726622 m
0.008589933 m
0.011453243 m
0.014316554 m
0.017179865 m
0.858993261 m
0.171798652 m

1 Tahun	17.17986523
50 TAHUN	858.9932613 mm
10 Tahun	171.7986523

P1 (Pa)	P2 (Pa)	T1 (C)	T2 (C)	L (m)	As (m)	Ai (m)	v	E (Pa)	k (1/C)
6550019	0	29.84	15	800	0.008227	0.015298	0.3	2.07E+11	1.10E-05

α	W (N/m)	(-)P2-P1 1	1-2v 2	(1 . 2 .Ai)	E.As.k 1	T2-T1 2	(1 . 2)	ΔP (Pa)
-5	1125.2	-6550019.429	0.4	40080.88	1.87E+04	-14.84	-277995.92	318076.80

W.L.u	E.A	Walking	
1350292	2E+09	-1.67E+06	-0.001354656 m

0.001354656 m
0.002709311 m
0.004063967 m
0.005418623 m
0.006773278 m
0.008127934 m
0.41452464 m
0.081279341 m

1 Tahun	8.127934114
50 TAHUN	414.5246398 mm
10 Tahun	81.27934114

OBJECTIVE:

The objective of this spreadsheet is to perform analysis on soil stiffness calculation in accordance with AutoPIPE Software Manual

Soil Stiffness Pipeline at KC Platform (Operation Condition)

INTRODUCTION

This spreadsheet calculates the following:

- soil resistance to lateral movement
- soil resistance to longitudinal movement
- soil resistance to vertical movement

UNITS:

N \equiv newton bar $\equiv 10^5 \cdot \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ s \equiv sec g $\equiv 9.81 \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ kPa $\equiv 1000 \cdot \text{Pa}$ kN $\equiv 1000 \cdot \text{N}$

INPUT DATA**Pipeline Properties:**

External Diameter	De := 303·mm	
Wall Thickness	WT := 12.7·mm	
Corrosion Coating Thickness	Tc := 4·mm	
Concrete Coating Thickness	T _{CC} := 38mm	(Concrete on Spool Pipe Properties)
Cohesion/undrained shear strength(= 0, for sand)	Su := 5kN·m ⁻²	(See at Basis Of Design 9.4.4 Soil Characteristic)
Max. Contents Density	$\rho_{\text{cont}} := 33.41 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	
Steel Density	$\rho_{\text{st}} := 7850 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	
Coating Density	$\rho_{\text{c}} := 1281.5 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	
Concrete Coating Density	$\rho_{\text{cc}} := 3044 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	(See at Basis Of Design 9.3.2.4 Concrete Coating)
Density of Water	$\rho_{\text{water}} := 1025 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	

Soil Properties:

Soil type (1 for sand, 2 for clay)	St := 2	
Soil Internal Friction Angle	$\phi := 0.001 \cdot \text{deg}$	(Very Small)
Submerged Unit Weight of Soil	$\gamma_{\text{sub}} := 8000 \text{N} \cdot \text{m}^{-3}$	(See at Basis Of Design 9.4.4 Soil Characteristic)
Bulk Unit Weight of Soil	$\gamma_{\text{bulk}} := \gamma_{\text{sub}} + 10 \text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	
Lateral Friction Coefficient Clay Soil	$\mu_1 := 0.2$	Based on DNV RP F105
Axial Friction Coefficient Clay Soil	$\mu_a := 0.22$	Agarwal, S L and Malhotra, A K (1978). "Frictional Resistance for Submarine Pipelines in Soft Clay", IGS Conference on Geotechnical Engineering, Volume 1.

PRELIMINARY CALCULATIONS

Total Outside Diameter	$D := De + 2 \cdot (Tc + T_{Cc})$	$D = 387 \cdot \text{mm}$
Internal Diameter	$Di := De - 2 \cdot WT$	$Di = 277.6 \cdot \text{mm}$
Steel CSA	$CSA_{st} := 0.25 \cdot \pi \cdot (De^2 - Di^2)$	$CSA_{st} = 1.1582 \times 10^4 \cdot \text{mm}^2$
Steel Mass	$M_{st} := CSA_{st} \cdot \rho_{st}$	$M_{st} = 90.9 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$
Coating CSA	$CSA_c := 0.25 \cdot \pi \cdot [(De + 2Tc)^2 - De^2]$	$CSA_c = 3.8579 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$
Concrete Coating CSA	$CSA_{Cc} := 0.25 \cdot \pi \cdot [D^2 - (De + 2 \cdot Tc)^2]$	$CSA_{Cc} = 4.1664 \times 10^4 \cdot \text{mm}^2$
Coating Mass	$M_c := CSA_c \cdot \rho_c$	$M_c = 4.9 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$
Concrete Coating Mass	$M_{Cc} := CSA_{Cc} \cdot \rho_{Cc}$	$M_{Cc} = 126.8 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$
Pipeline In-air Mass, Empty	$M_{inair} := M_{st} + M_c + M_{Cc}$	$M_{inair} = 222.7 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$
Contents Mass	$M_{cont} := 0.25 \cdot \pi \cdot Di^2 \cdot \rho_{cont}$	$M_{cont} = 2 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$
Buoyancy Force	$F_b := 0.25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \rho_{water} \cdot g$	$F_b = 1.2 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$
Total Submerged Weight	$W_s := (M_{st} + M_c + M_{Cc} + M_{cont}) \cdot g - F_b$	$W_s = 1 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$

AUTOPIPE VERTICAL DOWNWARD SOIL PROPERTIES

Meyerhof Bearing Capacity Factor(N_q)	$N_q := e^{\pi \cdot \tan(\phi)} \cdot \left(\tan\left(45 \cdot \text{deg} + \frac{\phi}{2}\right) \right)^2$	$N_q = 1$
Meyerhof Bearing Capacity Factor(N_γ)	$N_\gamma := (N_q - 1) \cdot \tan(1.4 \cdot \phi)$	$N_\gamma = 0$
Meyerhof Bearing Capacity Factor(N_c)	$N_c := (N_q - 1) \cdot \cot(\phi)$	$N_c = 5.1$

Ultimate Bearing Capacity of a Strip Footing:

B is the width of pipe Contact

Guess $B := 100\text{m}$ $q\gamma(B) := \frac{1}{2} \cdot \gamma_{sub} \cdot B \cdot N_\gamma + Su \cdot N_c$

Given $q\gamma(B) = \frac{W_s}{B}$ $b(B) := \text{Find}(B)$ $\underline{\underline{B}} := b(B)$

Settlement from Geometry of Pipe:

width of pipe contact $\underline{\underline{B}} := \begin{cases} B & \text{if } B < D \\ D & \text{otherwise} \end{cases}$ $B = 0.04\text{m}$

Embedment Depth $d := 0.5 \cdot De$

Settlement of pipeline -(embedme $z_c := \frac{D}{2} - \left[\left(\frac{D}{2} \right)^2 - \left(\frac{B}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ $z_c = 1 \cdot \text{mm}$

Pipeline settlement $z := \max(d, z_c)$ $z = 151.5 \cdot \text{mm}$

Vertical Stiffness:

Vertical Soil Resistance $F_{vert} := D \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \gamma_{sub} \cdot D \cdot N_\gamma + Su \cdot N_c + d \cdot \gamma_{sub} \cdot N_q \right)$

Soil vertical Stiffness $K_{vert} := \frac{F_{vert}}{z}$

AUTOPIPE VERTICAL UPWARD SOIL PROPERTIES

All vertical upwards soil properties have been assumed as zero as the pipeline is not buried.

$P1 := 0 \cdot N \cdot mm^{-1}$
 ~~$K1 := 0 \cdot N \cdot mm^{-2}$~~
 $K2 := 0 \cdot N \cdot mm^{-2}$

Lateral Stiffness:

Lateral resistance of soil for the initial embedment

F_c is Coulomb friction resistance $F_c := \mu_1 \cdot W_s$

F_p is passive resistance of soil for the initial embedment 'z'

$$F_p := \begin{cases} \gamma_{sub} \cdot D^2 \cdot \left(4.5 - 0.11 \cdot \gamma_{sub} \cdot \frac{D^2}{F_c} \right) \cdot \left(\frac{z}{D} \right)^{1.25} & \text{if } St = 1 \\ \left[\frac{4.13 \cdot \left(\frac{z}{D} \right)^{1.31}}{\left(\frac{Su}{D \cdot \gamma_{bulk}} \right)^{0.392}} \right] \cdot D \cdot Su & \text{otherwise} \end{cases}$$

an empirical model for sand soil resistance due to penetration by Verley & Sofberg (1992)
an empirical model for clayey soil resistance due to penetration by Verley & Lund (1995)

Lateral Resistance Force $F_R := F_p + F_c$ $F_R = 2868.3 m^{-1} \cdot N$ $F_p = 2663.9 m^{-1} \cdot N$

Lateral Stiffness $K_{lat} := \frac{F_R}{0.05D}$ *assumed lateral resistance mobilisation displacement as 5% OD*

Longitudinal Spring:

Longitudinal Resistance Force $F_a := \mu_a \cdot W_s$

Longitudinal Stiffness $K_{long} := \frac{F_a}{0.02 \cdot D}$ *assumed axial resistance mobilisation displacement as 2% OD*

SOIL PARAMETER FOR AUTOPIPE INPUT:

Lateral Soil Spring	:	$K_{lat} = 0.1482 \cdot N \cdot mm^{-2}$	Width of Pipe Contact:	$B = 39.7 \cdot mm$
Lateral Soil Resistance	:	$F_R = 2868.264 \cdot N \cdot m^{-1}$	Embedment	: $z = 151.5 \cdot mm$
Longitudinal Soil Spring	:	$K_{long} = 0.029 \cdot N \cdot mm^{-2}$	(Assumed the pipe is embeded due to type of soil is soft clay)	
Longitudinal Soil Resistance:		$F_a = 224.763 \cdot N \cdot m^{-1}$		
Vertical Soil Spring	:	$K_{vert} = 0.0688 \cdot N \cdot mm^{-2}$		
Vertical Soil Resistance	:	$F_{vert} = 10418.514291 \cdot N \cdot m^{-1}$		

MODEL +5 SEARAH
01/20/2015 PIPELINE WALKING
BENTLEY
07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 1


```

                *
*****          ***** **
*****          *****
                ***
** **          **          ** ** ** **
                ** **          *****          ** ** **
** **          ** **          ** **          ** **          ** **
                ** **          ** **          ** **          ** **          ** **
*****          *****
                *****          ** **          ** **          ** **          ** **
**
                **          ** **          ** **          ** **          ** **          ** **
**
                **          **          *****          **          *****          **          ** **
*****

```

Pipe Stress Analysis and Design Program

Version: 09.04.00.19

Edition: Plus

Developed and Maintained by

BENTLEY SYSTEMS, INCORPORATED
1600 Riviera Ave., Suite 300
Walnut Creek, CA 94596

MODEL +5 SEARAH
01/20/2015 PIPELINE WALKING
BENTLEY
07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 2

**
**
** AUTOPIPE SYSTEM INFORMATION
**
**
**

SYSTEM NAME : MODEL +5 SEARAH

PROJECT ID : PIPELINE WALKING

PREPARED BY : _____
FAISHAL

CHECKED BY : _____

1ST APPROVER : _____

2ND APPROVER : _____

PIPING CODE : B31.8 Offshore
 YEAR : 2010
 VERTICAL AXIS : Y
 AMBIENT TEMPERATURE : 15.0 deg C
 COMPONENT LIBRARY : AUTOPIPE
 MATERIAL LIBRARY : AUTOB318
 MODEL REVISION NUMBER : 19

 MODEL +5 SEARAH
 01/20/2015 PIPELINE WALKING
 BENTLEY
 07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
 AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 3

			D I S P L A C E M E N T		
Point	Load		TRANSLATIONS (mm)		
ROTATIONS (deg)			X	Y	Z
name	combination				
X	Y	Z			
-----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----			
*** Segment A begin ***					
A00	Gravity{1}		0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00			
	Thermal 1{1}		0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00			
	Pressure 1{1}		0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00			
	GRTP1{1}		0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00			
+1	Gravity{1}		0.02	-23.07	0.00
0.00	0.00	-0.03			

	Thermal 1{1}		-2.54	-0.35	0.00
-0.04	0.00 0.01				
	Pressure 1{1}		0.23	-0.11	0.00
0.00	0.00 0.00				
	G RTP1{1}		-2.29	-23.52	0.00
-0.04	0.00 -0.02				
+2	Gravity{1}		0.04	-17.46	0.00
0.00	0.00 0.02				
	Thermal 1{1}		-5.10	1.83	0.00
-0.07	0.00 -0.03				
	Pressure 1{1}		0.46	0.59	0.00
0.00	0.00 -0.01				
	G RTP1{1}		-4.61	-15.04	0.00
-0.07	0.00 -0.02				
+3	Gravity{1}		0.05	-18.64	0.00
0.00	0.00 -0.01				
	Thermal 1{1}		-7.72	-8.07	0.01
-0.11	0.00 0.06				
	Pressure 1{1}		0.69	-2.60	0.00
0.00	0.00 0.02				
	G RTP1{1}		-6.98	-29.30	0.01
-0.11	0.00 0.07				
A01 N	Gravity{1}		0.07	-18.69	0.00
0.00	0.00 0.00				
	Thermal 1{1}		-10.42	32.51	-0.01
-0.14	0.01 0.00				
	Pressure 1{1}		0.93	10.47	0.00
0.00	0.00 0.00				
	G RTP1{1}		-9.42	24.29	-0.01
-0.14	0.01 0.01				
+1	Gravity{1}		0.07	-18.68	0.00
0.00	0.00 0.00				
	Thermal 1{1}		-10.43	32.51	-0.01
-0.14	0.01 0.00				
	Pressure 1{1}		0.93	10.47	0.00
0.00	0.00 0.00				
	G RTP1{1}		-9.42	24.29	-0.01
-0.14	0.01 0.00				
A01 F	Gravity{1}		0.07	-18.68	0.00
0.00	0.00 0.00				
	Thermal 1{1}		-10.43	32.51	-0.01
-0.14	0.01 0.00				
	Pressure 1{1}		0.93	10.47	0.00
0.00	0.00 0.00				

-0.14	G RTP1{1}	-9.42	24.29	-0.01
0.01	0.00			
+1	Gravity{1}	0.11	-18.44	0.00
0.00	0.00			
-0.18	Thermal 1{1}	-16.72	-6.34	0.01
0.02	-0.06			
0.00	Pressure 1{1}	0.02	-2.62	0.00
0.00	0.00			
-0.18	G RTP1{1}	-16.59	-27.40	0.01
0.02	-0.08			
+2	Gravity{1}	0.12	-18.51	0.00
0.00	0.00			
-0.22	Thermal 1{1}	-18.87	3.45	0.00
0.02	0.03			
0.00	Pressure 1{1}	0.55	0.55	0.00
0.00	0.00			
-0.22	G RTP1{1}	-18.19	-14.51	0.00
0.02	0.04			
+3	Gravity{1}	0.14	-18.50	0.00
0.00	0.00			
-0.26	Thermal 1{1}	-22.25	1.62	0.00
0.02	-0.01			
0.00	Pressure 1{1}	0.74	-0.19	0.00
0.00	0.00			
-0.26	G RTP1{1}	-21.37	-17.07	0.00
0.02	-0.02			

 MODEL +5 SEARAH
 01/20/2015 PIPELINE WALKING
 BENTLEY
 07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
 AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 4

D I S P L A C E M E N T

S

Point	Load	TRANSLATIONS (mm)		
name	combination	X	Y	Z
X	Y	Z		

A02	Gravity{1}	0.15	-18.50	0.00
0.00	0.00 0.00			
	Thermal 1{1}	-25.66	2.33	0.00
-0.29	0.03 0.00			
	Pressure 1{1}	1.02	-0.07	0.00
0.00	0.00 0.00			
	G RTP1{1}	-24.49	-16.24	0.00
-0.29	0.03 0.00			
+1	Gravity{1}	0.17	-18.50	0.00
0.00	0.00 0.00			
	Thermal 1{1}	-29.38	2.60	0.00
-0.33	0.03 0.00			
	Pressure 1{1}	1.29	-0.12	0.00
0.00	0.00 0.00			
	G RTP1{1}	-27.93	-16.01	0.00
-0.33	0.03 0.00			
+2	Gravity{1}	0.18	-18.50	0.00
0.00	0.00 0.00			
	Thermal 1{1}	-33.42	2.96	0.00
-0.37	0.03 0.00			
	Pressure 1{1}	1.57	-0.14	0.00
0.00	0.00 0.00			
	G RTP1{1}	-31.67	-15.68	0.00
-0.37	0.03 0.00			
+3	Gravity{1}	0.18	-18.50	0.00
0.00	0.00 0.00			
	Thermal 1{1}	-37.82	3.36	0.00
-0.41	0.04 0.00			
	Pressure 1{1}	1.88	-0.17	0.00
0.00	0.00 0.00			
	G RTP1{1}	-35.76	-15.31	0.00
-0.41	0.04 0.00			
A03	Gravity{1}	0.19	-18.50	0.00
0.00	0.00 0.00			
	Thermal 1{1}	-42.63	3.78	0.00
-0.44	0.04 0.00			
	Pressure 1{1}	2.20	-0.20	0.00
0.00	0.00 0.00			
	G RTP1{1}	-40.24	-14.92	0.00
-0.45	0.04 0.00			
+1	Gravity{1}	0.20	-18.50	0.00
0.00	0.00 0.00			

	Thermal 1{1}	-47.90	4.25	0.00
-0.48	0.04 0.00			
	Pressure 1{1}	2.55	-0.23	0.00
0.00	0.00 0.00			
	GRTP1{1}	-45.15	-14.48	0.00
-0.48	0.04 0.00			
+2	Gravity{1}	0.20	-18.51	0.00
0.00	0.00 0.00			
	Thermal 1{1}	-53.69	4.76	0.00
-0.52	0.05 0.00			
	Pressure 1{1}	2.93	-0.26	0.00
0.00	0.00 0.00			
	GRTP1{1}	-50.56	-14.00	0.00
-0.52	0.05 0.00			
+3	Gravity{1}	0.21	-18.51	0.00
0.00	0.00 0.00			
	Thermal 1{1}	-60.06	5.33	0.00
-0.56	0.05 0.00			
	Pressure 1{1}	3.33	-0.30	0.00
0.00	0.00 0.00			
	GRTP1{1}	-56.52	-13.47	0.00
-0.56	0.05 0.00			
A04	Gravity{1}	0.21	-18.51	0.00
0.00	0.00 0.00			
	Thermal 1{1}	-67.08	5.95	0.01
-0.60	0.05 0.00			
	Pressure 1{1}	3.78	-0.34	0.00
0.00	0.00 0.00			
	GRTP1{1}	-63.09	-12.89	0.01
-0.60	0.05 0.00			
+1	Gravity{1}	0.22	-18.51	0.00
0.00	0.00 0.00			
	Thermal 1{1}	-74.83	6.65	-0.05
-0.63	0.05 0.00			
	Pressure 1{1}	4.26	-0.38	0.00
0.00	0.00 0.00			
	GRTP1{1}	-70.35	-12.24	-0.05
-0.64	0.05 0.00			

 MODEL +5 SEARAH
 01/20/2015 PIPELINE WALKING

			D I S P L A C E M E N T		
Point	Load		TRANSLATIONS (mm)		
ROTATIONS (deg)			X	Y	Z
name	combination				
X	Y	Z			
-----	-----	-----	-----	-----	-----
+2	Gravity{1}		0.22	-18.51	0.00
0.00	0.00	0.00			
	Thermal 1{1}		-83.39	7.38	0.22
-0.67	0.07	0.00			
	Pressure 1{1}		4.79	-0.43	0.00
0.00	0.00	0.00			
	GRTP1{1}		-78.38	-11.55	0.22
-0.67	0.07	0.00			
+3	Gravity{1}		0.22	-18.51	0.00
0.00	0.00	0.00			
	Thermal 1{1}		-92.84	8.28	-0.93
-0.71	0.02	0.00			
	Pressure 1{1}		5.37	-0.48	0.00
0.00	0.00	0.00			
	GRTP1{1}		-87.25	-10.70	-0.93
-0.72	0.02	0.00			
A05	Gravity{1}		0.22	-18.51	0.00
0.00	0.00	0.00			
	Thermal 1{1}		-103.32	9.13	3.82
-0.74	0.19	-0.01			
	Pressure 1{1}		6.02	-0.54	0.01
0.00	0.00	0.00			
	GRTP1{1}		-97.08	-9.92	3.82
-0.74	0.19	-0.01			
+1	Gravity{1}		0.22	-18.51	0.00
0.00	0.00	0.00			
	Thermal 1{1}		-114.89	9.92	-15.37
-0.82	-0.27	0.04			
	Pressure 1{1}		6.72	-0.58	-0.04
0.00	0.00	0.00			
	GRTP1{1}		-107.95	-9.17	-15.41

-0.82	-0.28	0.04			
+2	Gravity{1}		0.22	-18.51	-0.01
0.00	0.00	0.00			
	Thermal 1{1}		-127.42	13.86	60.57
-0.75	0.94	-0.13			
	Pressure 1{1}		7.49	-0.72	0.15
0.00	0.01	0.00			
	GRTP1{1}		-119.72	-5.37	60.71
-0.75	0.95	-0.13			
+3	Gravity{1}		0.22	-18.49	0.04
0.00	0.00	0.00			
	Thermal 1{1}		-143.08	-1.81	-234.21
-1.01	-1.55	0.38			
	Pressure 1{1}		8.37	-0.54	-0.62
0.00	-0.02	0.00			
	GRTP1{1}		-134.50	-20.83	-234.78
-1.01	-1.57	0.38			
A06 N	Gravity{1}		0.21	-18.58	-0.15
0.00	0.00	0.00			
	Thermal 1{1}		-151.43	82.31	889.85
-0.91	0.01	-0.93			
	Pressure 1{1}		9.24	-1.49	2.47
0.00	0.05	-0.01			
	GRTP1{1}		-141.98	62.23	892.18
-0.90	0.06	-0.94			
+1	Gravity{1}		0.20	-18.58	-0.16
0.00	0.00	0.00			
	Thermal 1{1}		666.51	-25.55	550.40
-0.82	1.05	-1.09			
	Pressure 1{1}		9.15	-1.54	2.25
0.00	0.06	-0.01			
	GRTP1{1}		675.86	-45.67	552.49
-0.82	1.12	-1.10			
A06 F	Gravity{1}		0.19	-18.58	-0.17
0.00	0.00	0.00			
	Thermal 1{1}		998.20	-132.82	-271.01
-0.66	1.98	-1.16			
	Pressure 1{1}		8.90	-1.55	2.14
0.00	0.07	-0.01			
	GRTP1{1}		1007.28	-152.95	-269.04
-0.66	2.05	-1.17			
+1	Gravity{1}		-0.05	-18.48	-0.18
0.00	0.00	0.00			

		Thermal 1{1}	-264.08	1.62	-269.52
0.37	1.26	-0.86			
		Pressure 1{1}	-2.36	0.52	0.86
0.00	0.00	-0.01			
		GRTP1{1}	-266.49	-16.34	-268.83
0.38	1.26	-0.87			

```

-----
MODEL +5 SEARAH
01/20/2015 PIPELINE WALKING
BENTLEY
07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 6
-----

```

D I S P L A C E M E N T

S

Point	Load	TRANSLATIONS (mm)		
ROTATIONS (deg)		X	Y	Z
name	combination			
X	Y	Z		

+2	Gravity{1}	0.01	-18.51	-0.18
0.00	0.00 0.00			
	Thermal 1{1}	68.69	-30.05	-256.17
-0.13	-1.03 -0.42			
	Pressure 1{1}	0.52	-0.14	-0.16
0.00	-0.01 0.00			
	GRTP1{1}	69.23	-48.70	-256.51
-0.14	-1.03 -0.43			
+3	Gravity{1}	0.00	-18.50	-0.18
0.00	0.00 0.00			
	Thermal 1{1}	-16.54	-12.55	-249.95
0.05	0.86 -0.36			
	Pressure 1{1}	0.27	0.01	-1.26
0.00	0.01 0.00			
	GRTP1{1}	-16.27	-31.04	-251.39
0.06	0.87 -0.36			
A07 N	Gravity{1}	0.00	-18.53	-0.17
0.00	0.00 0.00			
	Thermal 1{1}	-4.13	-54.19	-241.18

-0.26	-2.07	0.14			
	Pressure 1{1}		-1.61	-0.59	-2.31
0.00	0.00	0.00			
	G RTP1{1}		-5.74	-73.30	-243.66
-0.26	-2.08	0.14			
+1	Gravity{1}		0.00	-18.53	-0.17
0.00	0.00	0.00			
	Thermal 1{1}		4.19	-54.94	-237.53
-0.27	-2.31	0.16			
	Pressure 1{1}		-1.59	-0.60	-2.31
0.00	-0.01	0.00			
	G RTP1{1}		2.61	-74.06	-240.01
-0.27	-2.32	0.16			
A07 F	Gravity{1}		0.00	-18.52	-0.16
0.00	0.00	0.00			
	Thermal 1{1}		7.88	-54.71	-228.57
-0.26	-2.29	0.17			
	Pressure 1{1}		-1.56	-0.59	-2.28
0.00	-0.01	0.00			
	G RTP1{1}		6.32	-73.82	-231.02
-0.26	-2.30	0.18			
+1	Gravity{1}		0.00	-18.53	0.04
0.00	0.00	0.00			
	Thermal 1{1}		7.60	14.02	61.65
-0.21	0.19	0.06			
	Pressure 1{1}		-0.46	0.33	0.61
0.00	0.00	0.00			
	G RTP1{1}		7.15	-4.18	62.30
-0.21	0.19	0.05			
+2	Gravity{1}		0.00	-18.38	-0.01
0.00	0.00	0.01			
	Thermal 1{1}		7.40	-3.31	-16.42
-0.15	0.06	-0.04			
	Pressure 1{1}		0.65	-0.86	-0.16
0.00	0.00	0.01			
	G RTP1{1}		8.05	-22.55	-16.59
-0.15	0.07	-0.02			
+3	Gravity{1}		0.00	-18.51	0.00
0.00	0.00	-0.04			
	Thermal 1{1}		7.28	0.67	4.54
-0.10	-0.05	0.02			
	Pressure 1{1}		1.76	3.38	0.04
0.00	0.00	0.00			
	G RTP1{1}		9.04	-14.45	4.58

-0.10	-0.05	-0.02			
A08 N	Gravity{1}		0.00	-19.87	0.00
0.00	0.00	0.13			
	Thermal 1{1}		7.24	0.02	-2.09
-0.04	0.05	-0.01			
	Pressure 1{1}		2.89	-12.79	-0.02
0.00	0.00	-0.08			
	GRTP1{1}		10.13	-32.64	-2.11
-0.05	0.05	0.05			
+1	Gravity{1}		-0.22	-19.35	0.00
0.00	0.00	0.14			
	Thermal 1{1}		7.25	0.00	-2.34
-0.04	0.05	-0.01			
	Pressure 1{1}		3.02	-13.08	-0.02
0.00	0.00	-0.08			
	GRTP1{1}		10.05	-32.43	-2.36
-0.04	0.05	0.06			

 MODEL +5 SEARAH
 01/20/2015 PIPELINE WALKING
 BENTLEY
 07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
 AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 7

			D I S P L A C E M E N T		
Point	Load		TRANSLATIONS (mm)		
ROTATIONS (deg)			X	Y	Z
name	combination				
X	Y	Z			

A08 F	Gravity{1}		-0.75	-19.12	0.00
0.00	0.00	0.14			
	Thermal 1{1}		7.28	-0.01	-2.57
-0.04	0.05	-0.01			
	Pressure 1{1}		3.31	-13.19	-0.03
0.00	0.00	-0.08			
	GRTP1{1}		9.84	-32.33	-2.60
-0.04	0.05	0.06			

A09	Gravity{1}	0.00	-16.52	0.00
0.00	0.00 -0.04			
	Thermal 1{1}	0.00	-0.01	0.00
0.01	0.03 0.01			
	Pressure 1{1}	0.00	-8.80	0.00
0.00	0.00 0.02			
	G RTP1{1}	0.00	-25.33	0.00
0.01	0.03 -0.01			
A10	Gravity{1}	0.00	-10.15	0.00
0.00	0.00 0.01			
	Thermal 1{1}	0.00	0.00	0.00
0.00	0.02 0.00			
	Pressure 1{1}	0.00	-4.40	0.00
0.00	0.00 -0.01			
	G RTP1{1}	0.00	-14.55	0.00
0.00	0.02 0.00			
A11	Gravity{1}	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00 0.00			
	Thermal 1{1}	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00 0.00			
	Pressure 1{1}	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00 0.00			
	G RTP1{1}	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00 0.00			

*** Segment A end ***

 MODEL +5 SEARAH
 01/20/2015 PIPELINE WALKING
 BENTLEY
 07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
 AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 8

A C T I O N S		R E S T R A I N T R E			
Point	Load	FORCES (N)			
MOMENTS (N.m)					
name	combination	X	Y	Z	Result
X	Y Z				Result

```

-----
A00      Anchor      Tag No.: <None>
        Gravity{1}      1208  -4722      0  4874
0        0      -1551      1551
        Thermal 1{1}      -169860      31      -1 169860
-171     1      -165      238
        Pressure 1{1}      -61938      10      0 61938
0        0      -53      53
        GRTP1{1}      -230591  -4682      -1 230638
-171     1      -1770      1778

A09      Guide      Tag No.: <None> [ID: A09  1]
        Gravity{1}      -12      0      0      12
0        0      0      0
        Thermal 1{1}      1      0      -4      4
0        0      0      0
        Pressure 1{1}      7      0      0      7
0        0      0      0
        GRTP1{1}      -4      0      -4      6
0        0      0      0

A10      Guide      Tag No.: <None> [ID: A10  1]
        Gravity{1}      4      0      0      4
0        0      0      0
        Thermal 1{1}      0      0      1      1
0        0      0      0
        Pressure 1{1}      -2      0      0      2
0        0      0      0
        GRTP1{1}      1      0      1      2
0        0      0      0

A11      Anchor      Tag No.: <None>
        Gravity{1}      -1-201730      0 201730
0        0      -29      29
        Thermal 1{1}      0      -75      0      75
10       19      4      21
        Pressure 1{1}      1      3332      0 3332
0        0      17      17
        GRTP1{1}      0-198473      0 198473
10       19      -8      23

```

```

-----
MODEL +5 SEARAH
01/20/2015 PIPELINE WALKING
BENTLEY
07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT

```


 G L O B A L F O R C E S & M
 O M E N T S

Point	Load	FORCES (N)			
MOMENTS	(N.m)				
name	combination	X	Y	Z	Result
X	Y Z	Result			
-----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----	-----

*** Segment A begin ***

A00	Gravity{1}	-1210	107	0	1214
0	0 1551 1551				
	Thermal 1{1}	170167	19	0	170167
171	-1 165 238				
	Pressure 1{1}	61911	6	0	61911
0	0 53 53				
	GRTP1{1}	230868	132	0	230868
171	-1 1770 1778				
+1	Gravity{1}	-1223	-63	0	1224
0	0 -1120 1120				
	Thermal 1{1}	172009	-45	0	172009
171	3 -301 346				
	Pressure 1{1}	61746	-15	0	61746
0	0 -97 97				
	GRTP1{1}	232532	-123	0	232533
171	3 -1518 1528				
+2	Gravity{1}	-1249	24	0	1249
0	0 463 463				
	Thermal 1{1}	175714	111	2	175714
171	-10 823 840				
	Pressure 1{1}	61415	36	0	61415
0	0 266 266				
	GRTP1{1}	235880	171	2	235880
171	-10 1552 1561				
+3	Gravity{1}	-1289	-7	0	1289
0	0 -148 148				
	Thermal 1{1}	181321	-184	-7	181321
171	37 -1954 1961				
	Pressure 1{1}	60914	-60	0	60914
0	0 -633 633				

171		G RTP1{1}		240946	-252	-7	240946
	37	-2735	2740				
A01 N		Gravity{1}		-1314	71	0	1316
0	0	31	31				
		Thermal 1{1}		184775	-8306	-1	184961
171	-142	2654	2664				
		Pressure 1{1}		60605	-2676	0	60664
0	0	871	871				
		G RTP1{1}		244066	-10911	-1	244310
171	-142	3556	3563				
+1		Gravity{1}		-1314	71	0	1316
0	0	30	30				
		Thermal 1{1}		184779	-8321	-1	184966
171	-142	2718	2727				
		Pressure 1{1}		60605	-2681	0	60664
0	0	891	891				
		G RTP1{1}		244070	-10931	-1	244314
171	-142	3640	3646				
A01 F		Gravity{1}		-1239	111	0	1244
0	0	30	30				
		Thermal 1{1}		189215	-16607	6	189942
171	-142	2671	2681				
		Pressure 1{1}		60342	-5294	0	60573
0	0	876	876				
		G RTP1{1}		248317	-21789	6	249271
171	-142	3577	3584				
+1		Gravity{1}		-1106	98	0	1111
0	0	0	0				
		Thermal 1{1}		200829	-17931	-2	201628
185	17	-1917	1925				
		Pressure 1{1}		60152	-5374	0	60392
0	0	-636	636				
		G RTP1{1}		259875	-23206	-2	260909
186	17	-2553	2560				
+2		Gravity{1}		-986	87	0	990
0	0	-2	2				
		Thermal 1{1}		214657	-19005	0	215497
181	-25	799	820				
		Pressure 1{1}		59795	-5292	0	60029
0	0	266	266				
		G RTP1{1}		273467	-24210	0	274536
182	-25	1063	1079				
+3		Gravity{1}		-876	78	0	879

0	0	1	1				
		Thermal 1{1}		230791	-20495	0	231699
182	-14	-276	331				
		Pressure 1{1}		59248	-5262	0	59481
0	0	-92	92				
		G RTP1{1}		289163	-25679	0	290301
183	-14	-366	410				

 MODEL +5 SEARAH
 01/20/2015 PIPELINE WALKING
 BENTLEY
 07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
 AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 10

G L O B A L F O R C E S & M
 O M E N T S

Point	Load	FORCES (N)			
		X	Y	Z	Result
MOMENTS	(N.m)				
name	combination				
X	Y	Z	Result		

A02	Gravity{1}				
0	0	0	0	-776	69
	Thermal 1{1}			0	779
182	-17	85	202	249432	-22130
	Pressure 1{1}			0	250411
0	0	28	28	58512	-5191
	G RTP1{1}			0	58742
183	-17	113	215	307168	-27252
				0	308375

+1	Gravity{1}				
0	0	0	0	-684	61
	Thermal 1{1}			0	686
182	-16	-24	184	270773	-24029
	Pressure 1{1}			0	271837
0	0	-8	8	57578	-5110
	G RTP1{1}			0	57804
183	-16	-32	186	327667	-29079
				0	328954

+2	Gravity{1}				
0	0	0	0	-599	53
				0	601

		Thermal 1{1}		295047	-26182	0	296206
182	-16	6	183				
		Pressure 1{1}		56435	-5008	0	56657
0	0	2	2				
		G RTP1{1}		350882	-31137	0	352261
183	-16	9	183				
+3		Gravity{1}		-521	46	0	523
0	0	0	0				
		Thermal 1{1}		322516	-28620	0	323783
182	-16	-2	183				
		Pressure 1{1}		55071	-4887	0	55287
0	0	-1	1				
		G RTP1{1}		377066	-33461	0	378548
183	-16	-2	183				
A03		Gravity{1}		-448	40	0	450
0	0	0	0				
		Thermal 1{1}		353478	-31367	0	354867
182	-16	0	183				
		Pressure 1{1}		53472	-4745	0	53682
0	0	0	0				
		G RTP1{1}		406501	-36072	0	408098
183	-16	0	183				
+1		Gravity{1}		-381	34	0	382
0	0	0	0				
		Thermal 1{1}		388268	-34454	0	389793
182	-16	0	183				
		Pressure 1{1}		51620	-4581	0	51822
0	0	0	0				
		G RTP1{1}		439506	-39001	0	441234
183	-16	0	183				
+2		Gravity{1}		-317	28	0	319
0	0	0	0				
		Thermal 1{1}		427263	-37915	0	428942
182	-18	0	183				
		Pressure 1{1}		49494	-4392	0	49689
0	0	0	0				
		G RTP1{1}		476440	-42279	0	478312
182	-18	0	183				
+3		Gravity{1}		-257	23	0	258
0	0	0	0				
		Thermal 1{1}		470885	-41786	-1	472735
183	-9	0	183				
		Pressure 1{1}		47073	-4177	0	47258
0	0	0	0				

183	G RTP1{1}	517701	-45940	-1	519735
0	-9 0 183				
A04	Gravity{1}	-200	18	0	201
0	0 0 0				
180	Thermal 1{1}	519607	-46109	4	521649
0	-40 0 185				
0	Pressure 1{1}	44330	-3934	0	44504
0	0 0 0				
180	G RTP1{1}	563737	-50025	4	565952
0	-41 0 185				
+1	Gravity{1}	-145	13	0	146
0	0 0 0				
190	Thermal 1{1}	573956	-50933	-15	576211
0	68 -3 201				
0	Pressure 1{1}	41235	-3659	0	41397
0	0 0 1				
190	G RTP1{1}	615045	-54579	-15	617462
0	68 -3 202				

MODEL +5 SEARAH
01/20/2015 PIPELINE WALKING
BENTLEY
07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 11

G L O B A L F O R C E S & M
O M E N T S

Point	Load	FORCES (N)			
MOMENTS	(N.m)				
name	combination	X	Y	Z	Result
X	Y Z				Result
+2	Gravity{1}	-91	8	0	92
0	0 0 0				
157	Thermal 1{1}	634521	-56304	49	637014
0	-300 14 339				
0	Pressure 1{1}	37754	-3350	0	37902
0	-1 0 1				
	G RTP1{1}	672183	-59646	49	674824

157	-301	14	340				
+3	Gravity{1}			-39	3	0	39
0	0	0	0				
	Thermal 1{1}			701956	-62303	-155	704716
265	914	-59	954				
	Pressure 1{1}			33850	-3004	-1	33983
1	4	0	4				
	GRTP1{1}			735767	-65303	-156	738660
265	918	-59	958				
A05	Gravity{1}			13	-1	0	13
0	0	0	0				
	Thermal 1{1}			776878	-68895	472	779927
-78	-2952	235	2962				
	Pressure 1{1}			29488	-2617	2	29604
-1	-13	-1	13				
	GRTP1{1}			806379	-71513	474	809544
-79	-2965	233	2975				
+1	Gravity{1}			65	-6	0	65
0	0	1	1				
	Thermal 1{1}			860034	-76473	-1319	863428
960	8755	-868	8850				
	Pressure 1{1}			24623	-2185	-8	24719
4	45	2	45				
	GRTP1{1}			884722	-78664	-1326	888213
965	8799	-865	8894				
+2	Gravity{1}			118	-11	0	118
0	-1	-1	1				
	Thermal 1{1}			952522	-84031	3188	956227
-1944	-23980	2974	24242				
	Pressure 1{1}			19195	-1702	25	19271
-13	-147	1	148				
	GRTP1{1}			971836	-85744	3213	975616
-1957	-24128	2973	24390				
+3	Gravity{1}			172	-15	-3	173
1	9	2	9				
	Thermal 1{1}			1055039	-95032	-52281	1059323
5079	55166	-9319	56178				
	Pressure 1{1}			13147	-1177	-74	13199
42	463	-33	466				
	GRTP1{1}			1068358	-96225	-53041	1072695
5121	55638	-9350	56650				
A06 N	Gravity{1}			201	0	160	256
-5	-55	4	56				

		Thermal 1{1}		1104055-117457-9736321476717
-6438	-74622	25662	79174	
		Pressure 1{1}		9853 -722 -2835 10278
-121	-1372	231	1397	
		GRTP1{1}		1114109-118180-9763081486062
-6565	-76050	25897	80606	
+1		Gravity{1}		203 -4 156 256
-1	-4	-1	4	
		Thermal 1{1}		1085455-117266-9910031474466
-22121	-184893	21182	187412	
		Pressure 1{1}		9643 -711 -2973 10116
-133	-1109	121	1123	
		GRTP1{1}		1095301-117981-9938191483671
-22255	-186005	21302	188539	
A06 F		Gravity{1}		-2 10 113 113
4	53	-6	54	
		Thermal 1{1}		3664 -81094-898283 901943
-23618	-40837	2496	47241	
		Pressure 1{1}		-21 -330 -3651 3666
-61	685	-74	692	
		GRTP1{1}		3640 -81414-901821 905496
-23675	-40099	2415	46629	
+1		Gravity{1}		0 3 30 30
2	-7	-1	8	
		Thermal 1{1}		-2862 -62012-705519 708245
10564	49855	-5552	51263	
		Pressure 1{1}		-10 -376 -4302 4319
87	156	-27	181	
		GRTP1{1}		-2872 -62386-709792 712534
10653	50004	-5580	51430	

 MODEL +5 SEARAH
 01/20/2015 PIPELINE WALKING
 BENTLEY
 07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
 AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 12

G L O B A L F O R C E S & M
 O M E N T S

Point		Load		FORCES (N)			
MOMENTS		(N.m)		X	Y	Z	Result
name	combination						
X	Y	Z	Result				

+2	Gravity{1}			0	-5	-53	53
-2	2	-2	3				
	Thermal 1{1}			738	-46390	-520055	522121
-4165	-20985	734	21407				
	Pressure 1{1}			1	-373	-4176	4192
-45	-92	-5	103				
	GRTP1{1}			739	-46768	-524284	526366
-4212	-21076	727	21505				
+3	Gravity{1}			2	-12	-136	137
1	-8	-1	8				
	Thermal 1{1}			1714	-30209	-340249	341592
1785	-2713	-887	3367				
	Pressure 1{1}			11	-291	-3273	3286
22	-64	-7	68				
	GRTP1{1}			1726	-30511	-343658	345014
1808	-2786	-896	3440				
A07 N	Gravity{1}			10	-12	-180	181
1	31	-4	32				
	Thermal 1{1}			18215	-14284	-251093	252158
2166	39711	-4652	40041				
	Pressure 1{1}			1867	-135	-2548	3162
25	202	-31	206				
	GRTP1{1}			20093	-14431	-253821	255024
2191	39944	-4688	40278				
+1	Gravity{1}			15	-16	-178	179
0	17	-4	18				
	Thermal 1{1}			20506	-13860	-246233	247474
447	21203	-3724	21532				
	Pressure 1{1}			1923	-130	-2484	3144
5	375	-55	379				
	GRTP1{1}			22445	-14006	-248895	250297
452	21596	-3782	21929				
A07 F	Gravity{1}			12	-2	1	12
0	-19	0	19				
	Thermal 1{1}			18808	-132	1161	18845
-262	-30039	-899	30053				
	Pressure 1{1}			2373	-6	-4	2373
-3	11	-42	43				
	GRTP1{1}			21194	-141	1157	21226

-266	-30047	-941	30063				
+1	Gravity{1}			9	10	0	14
0	-1	50	50				
	Thermal 1{1}			13323	143	160	13325
-262	-1198	2387	2684				
	Pressure 1{1}			2702	14	6	2702
-3	-94	116	149				
	G RTP1{1}			16034	168	166	16036
-266	-1294	2552	2874				
+2	Gravity{1}			7	-42	0	42
0	2	-211	211				
	Thermal 1{1}			7980	-64	-164	7982
-262	2780	-1164	3025				
	Pressure 1{1}			2235	-24	-3	2235
-3	49	-239	244				
	G RTP1{1}			10221	-129	-167	10223
-266	2831	-1614	3270				
+3	Gravity{1}			4	152	0	152
0	-1	820	820				
	Thermal 1{1}			2722	21	55	2723
-262	-1307	417	1397				
	Pressure 1{1}			966	-7	1	966
-3	-18	366	367				
	G RTP1{1}			3692	166	55	3696
-266	-1326	1603	2098				
A08 N-	Gravity{1}			4	152	0	152
0	0	-2964	2964				
	Thermal 1{1}			2722	21	55	2723
-262	50	-101	285				
	Pressure 1{1}			966	-7	1	966
-3	1	549	549				
	G RTP1{1}			3692	166	55	3696
-266	51	-2515	2529				
A08 N+	Gravity{1}			29	-12209	0	12209
0	0	-2964	2964				
	Thermal 1{1}			83	-79	-127	171
-262	50	-101	285				
	Pressure 1{1}			49	3188	-1	3188
-3	1	549	549				
	G RTP1{1}			160	-9100	-129	9102
-266	51	-2515	2529				

 MODEL +5 SEARAH
 01/20/2015 PIPELINE WALKING
 BENTLEY
 07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
 AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 13

G L O B A L F O R C E S & M

O M E N T S

Point		Load		FORCES (N)			
MOMENTS		(N.m)		X	Y	Z	Result
name	combination						
X	Y	Z	Result				

+1	-	Gravity{1}		29	-12209	0	12209
0	0	-330	330				
		Thermal 1{1}		83	-79	-127	171
-251		23	-76	263			
		Pressure 1{1}		49	3188	-1	3188
-3		0	-133	133			
		GRTP1{1}		160	-9100	-129	9102
-254		23	-539	597			

+1	+	Gravity{1}		-8	-12217	0	12217
0	0	-330	330				
		Thermal 1{1}		29	-76	-46	94
-251		23	-76	263			
		Pressure 1{1}		21	3286	0	3286
-3		0	-133	133			
		GRTP1{1}		42	-9008	-47	9008
-254		23	-539	597			

A08 F		Gravity{1}		-10	-12242	0	12242
0	0	759	759				
		Thermal 1{1}		1	-75	-3	75
-241		19	-63	250			
		Pressure 1{1}		5	3332	0	3332
-3		0	-422	422			
		GRTP1{1}		-3	-8984	-3	8984
-244		19	274	367			

A09	-	Gravity{1}		-10	-75276	0	75276
0	0	-205	205				
		Thermal 1{1}		1	-75	-3	75

69	19	28	76				
		Pressure 1{1}		5	3332	0	3332
1	0	118	118				
		G RTP1{1}		-3	-72019	-3	72019
69	19	-59	93				
A09	+	Gravity{1}		3	-75276	0	75276
0	0	-205	205				
		Thermal 1{1}		0	-75	1	75
69	19	28	76				
		Pressure 1{1}		-2	3332	0	3332
1	0	118	118				
		G RTP1{1}		1	-72019	1	72019
69	19	-59	93				
A10	-	Gravity{1}		3	-138503	0	138503
0	0	59	59				
		Thermal 1{1}		0	-75	1	75
-20	19	-8	28				
		Pressure 1{1}		-2	3332	0	3332
0	0	-34	34				
		G RTP1{1}		1	-135246	1	135246
-20	19	17	32				
A10	+	Gravity{1}		-1	-138503	0	138503
0	0	59	59				
		Thermal 1{1}		0	-75	0	75
-20	19	-8	28				
		Pressure 1{1}		1	3332	0	3332
0	0	-34	34				
		G RTP1{1}		0	-135246	0	135246
-20	19	17	32				
A11		Gravity{1}		-1	-201730	0	201730
0	0	-29	29				
		Thermal 1{1}		0	-75	0	75
10	19	4	21				
		Pressure 1{1}		1	3332	0	3332
0	0	17	17				
		G RTP1{1}		0	-198473	0	198473
10	19	-8	23				

*** Segment A end ***

 MODEL +5 SEARAH
 01/20/2015 PIPELINE WALKING

 GENERAL PIPE STRESS REPORT

Point	Load	Total	(Stress in N/mm2)		
			Hoop	Longitudinal	
Shear	Principal			Max	Min
name	combination	Stress	Stress		
Stress	Max Min	Stress	Loc		

*** Segment A begin ***

A00	SIFI= 1.00	SIFO= 1.00			
	Gravity{1}		0.00	4.01	-3.72
0.00	4.01 -3.72	2.01	0		
	Thermal 1{1}		0.00	-20.26	-21.09
0.21	0.00 -21.09	10.55	180		
	Pressure 1{1}		56.47	16.04	15.77
0.00	56.47 15.77	28.24	0		
	GRTP1{1}		56.47	-0.21	-9.03
0.21	56.48 -9.03	32.75	180		

+1	SIFI= 1.00	SIFO= 1.00			
	Gravity{1}		0.00	2.94	-2.64
0.00	2.94 -2.64	1.47	180		
	Thermal 1{1}		0.00	-20.15	-21.65
0.21	0.00 -21.65	10.83	1		
	Pressure 1{1}		56.47	16.17	15.68
0.00	56.47 15.68	28.24	180		
	GRTP1{1}		56.47	-1.04	-8.61
0.21	56.48 -8.61	32.54	0		

+2	SIFI= 1.00	SIFO= 1.00			
	Gravity{1}		0.00	1.30	-1.00
0.00	1.30 -1.00	0.65	360		
	Thermal 1{1}		0.00	-19.30	-23.40
0.21	0.00 -23.40	11.70	181		
	Pressure 1{1}		56.47	16.63	15.30
0.00	56.47 15.30	28.24	0		
	GRTP1{1}		56.47	-1.37	-9.10
0.21	56.48 -9.10	32.79	180		

+3 SIFI= 1.00 SIFO= 1.00

		Gravity{1}			0.00	0.52	-0.21
0.00		0.52	-0.21	0.26	180		
		Thermal 1{1}			0.00	-17.16	-26.90
0.21		0.00	-26.90	13.45	1		
		Pressure 1{1}			56.47	17.60	14.45
0.00		56.47	14.45	28.24	180		
		G RTP1{1}			56.47	0.97	-12.66
0.21		56.48	-12.66	34.57	1		
A01	N-	SIFI= 1.00	SIFO= 1.00				
		Gravity{1}			0.00	0.23	0.08
0.00		0.23	0.00	0.12	360		
		Thermal 1{1}			0.00	-15.41	-28.65
0.21		0.00	-28.65	14.33	183		
		Pressure 1{1}			56.47	18.20	13.85
0.00		56.47	13.85	28.24	0		
		G RTP1{1}			56.47	3.02	-14.71
0.21		56.48	-14.71	35.60	182		
A01	N+	SIFI= 1.77	SIFO= 1.47				
		Gravity{1}			0.00	0.30	0.02
0.00		0.30	0.00	0.15	180		
		Thermal 1{1}			0.00	-10.76	-34.14
0.21		0.00	-34.14	17.07	3		
		Pressure 1{1}			56.47	19.90	12.23
0.00		56.47	12.23	28.24	270		
		G RTP1{1}			56.47	9.43	-21.88
0.21		56.48	-21.88	39.18	2		
+1		SIFI= 1.77	SIFO= 1.47				
		Gravity{1}			0.00	0.29	0.03
0.00		0.29	0.00	0.15	180		
		Thermal 1{1}			0.00	-10.50	-34.44
0.22		0.00	-34.44	17.22	3		
		Pressure 1{1}			56.47	19.98	12.13
0.00		56.47	12.13	28.24	180		
		G RTP1{1}			56.47	9.76	-22.28
0.22		56.48	-22.28	39.38	2		
A01	F-	SIFI= 1.77	SIFO= 1.47				
		Gravity{1}			0.00	0.29	0.03
0.00		0.29	0.00	0.15	180		
		Thermal 1{1}			0.00	-10.69	-34.21
0.23		0.00	-34.22	17.11	3		
		Pressure 1{1}			56.47	19.91	12.21
0.00		56.47	12.21	28.24	180		
		G RTP1{1}			56.47	9.51	-21.98
0.23		56.48	-21.98	39.23	2		

 MODEL +5 SEARAH
 01/20/2015 PIPELINE WALKING
 BENTLEY
 07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
 AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 15

G E N E R A L P I P E S T R E S S R E P O R T

Point	Load					(Stress in N/mm2)		
		Shear	Principal	Total	Hoop	Longitudinal		
name	combination	Min	Max	Stress	Stress	Max	Min	Loc
Stress	Max	Min	Stress	Stress	Stress	Max	Min	Loc

A01	F+	SIFI= 1.00 SIFO= 1.00						
		Gravity{1}			0.00	0.23	0.08	
0.00		0.23	0.00	0.11	360			
		Thermal 1{1}			0.00	-16.41	-29.74	
0.23		0.00	-29.74	14.87	183			
		Pressure 1{1}			56.47	18.25	13.89	
0.00		56.47	13.89	28.24	0			
		GRTP1{1}			56.47	2.06	-15.78	
0.23		56.48	-15.78	36.13	182			
+1		SIFI= 1.00 SIFO= 1.00						
		Gravity{1}			0.00	0.14	0.13	
0.00		0.14	0.00	0.07	179			
		Thermal 1{1}			0.00	-19.72	-29.27	
0.23		0.00	-29.27	14.64	1			
		Pressure 1{1}			56.47	17.67	14.50	
0.00		56.47	14.50	28.24	0			
		GRTP1{1}			56.47	-1.91	-14.63	
0.23		56.48	-14.63	35.55	1			
+2		SIFI= 1.00 SIFO= 1.00						
		Gravity{1}			0.00	0.13	0.12	
0.00		0.13	0.00	0.06	180			
		Thermal 1{1}			0.00	-24.19	-28.17	
0.23		0.00	-28.17	14.09	181			
		Pressure 1{1}			56.47	16.80	15.47	
0.00		56.47	15.47	28.24	0			
		GRTP1{1}			56.47	-7.28	-12.58	

0.23	56.48	-12.58	34.53	180			
+3		SIFI= 1.00		SIFO= 1.00			
	Gravity{1}				0.00	0.11	0.10
0.00	0.11	0.00	0.05	0			
	Thermal 1{1}				0.00	-27.46	-28.84
0.23	0.00	-28.84	14.42	0			
	Pressure 1{1}				56.47	16.43	15.97
0.00	56.47	15.97	28.24	180			
	GRTP1{1}				56.47	-10.93	-12.76
0.23	56.48	-12.76	34.62	0			
A02		- SIFI= 1.00		SIFO= 1.00			
	Gravity{1}				0.00	0.11	0.11
0.00	0.11	0.00	0.05	180			
	Thermal 1{1}				0.00	-27.94	-28.36
0.23	0.00	-28.36	14.18	180			
	Pressure 1{1}				56.47	16.27	16.13
0.00	56.47	16.13	28.24	0			
	GRTP1{1}				56.47	-11.56	-12.13
0.23	56.48	-12.13	34.30	180			
A02		+ SIFI= 1.00		SIFO= 1.00			
	Gravity{1}				0.00	0.10	0.09
0.00	0.10	0.00	0.05	180			
	Thermal 1{1}				0.00	-30.21	-30.64
0.23	0.00	-30.64	15.32	180			
	Pressure 1{1}				56.47	16.36	16.22
0.00	56.47	16.22	28.24	0			
	GRTP1{1}				56.47	-13.76	-14.32
0.23	56.48	-14.32	35.40	180			
+1		SIFI= 1.00		SIFO= 1.00			
	Gravity{1}				0.00	0.08	0.08
0.00	0.08	0.00	0.04	0			
	Thermal 1{1}				0.00	-32.97	-33.09
0.23	0.00	-33.09	16.54	0			
	Pressure 1{1}				56.47	16.42	16.38
0.00	56.47	16.38	28.24	180			
	GRTP1{1}				56.47	-16.46	-16.62
0.23	56.48	-16.62	36.55	0			
+2		SIFI= 1.00		SIFO= 1.00			
	Gravity{1}				0.00	0.07	0.07
0.00	0.07	0.00	0.04	180			
	Thermal 1{1}				0.00	-35.97	-36.00
0.23	0.00	-36.00	18.00	180			
	Pressure 1{1}				56.47	16.55	16.54
0.00	56.47	16.54	28.24	270			

		G RTP1{1}			56.47	-19.35	-19.39
0.23	56.48	-19.39	37.93	180			
+3 SIFI= 1.00 SIFO= 1.00							
		Gravity{1}			0.00	0.06	0.06
0.00	0.06	0.00	0.03	0			
		Thermal 1{1}			0.00	-39.33	-39.34
0.23	0.00	-39.34	19.67	2			

 MODEL +5 SEARAH
 01/20/2015 PIPELINE WALKING
 BENTLEY
 07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
 AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 16

T G E N E R A L P I P E S T R E S S R E P O R T

Point Shear name Stress	Load Principal combination Max	Principal Min	Total Stress	Loc	(Stress in N/mm2)		
					Hoop Stress	Longitudinal Max	Min
					-----	-----	-----
					-----	-----	-----
					-----	-----	-----
0.00	Pressure 1{1}		28.24	180	56.47	16.71	16.71
0.23	G RTP1{1}		39.52	1	56.47	-22.56	-22.57
A03	- SIFI= 1.00	SIFO= 1.00					
0.00	Gravity{1}		0.03	180	0.00	0.06	0.06
0.23	Thermal 1{1}		19.67	202	0.00	-39.34	-39.34
0.00	Pressure 1{1}		28.24	180	56.47	16.71	16.71
0.23	G RTP1{1}		39.52	197	56.47	-22.56	-22.57
A03	+ SIFI= 1.00	SIFO= 1.00					
0.00	Gravity{1}		0.03	180	0.00	0.05	0.05
0.23	Thermal 1{1}		21.56	202	0.00	-43.11	-43.11

		Pressure 1{1}			56.47	16.90	16.90
0.00	56.47	16.90	28.24	270			
		GRTPl{1}			56.47	-26.15	-26.16
0.23	56.48	-26.16	41.32	197			
+1 SIFI= 1.00 SIFO= 1.00							
		Gravity{1}			0.00	0.05	0.05
0.00	0.05	0.00	0.02	0			
		Thermal 1{1}			0.00	-47.36	-47.36
0.23	0.00	-47.36	23.68	84			
		Pressure 1{1}			56.47	17.13	17.13
0.00	56.47	17.13	28.24	94			
		GRTPl{1}			56.47	-30.18	-30.18
0.23	56.48	-30.18	43.33	81			
+2 SIFI= 1.00 SIFO= 1.00							
		Gravity{1}			0.00	0.04	0.04
0.00	0.04	0.00	0.02	237			
		Thermal 1{1}			0.00	-52.11	-52.12
0.23	0.00	-52.12	26.06	270			
		Pressure 1{1}			56.47	17.39	17.39
0.00	56.47	17.39	28.24	61			
		GRTPl{1}			56.47	-34.68	-34.69
0.23	56.47	-34.69	45.58	270			
+3 SIFI= 1.00 SIFO= 1.00							
		Gravity{1}			0.00	0.03	0.03
0.00	0.03	0.00	0.02	75			
		Thermal 1{1}			0.00	-57.42	-57.45
0.23	0.00	-57.45	28.73	90			
		Pressure 1{1}			56.47	17.68	17.68
0.00	56.47	17.68	28.24	276			
		GRTPl{1}			56.47	-39.70	-39.74
0.23	56.47	-39.74	48.11	90			
A04 - SIFI= 1.00 SIFO= 1.00							
		Gravity{1}			0.00	0.03	0.03
0.00	0.03	0.00	0.02	252			
		Thermal 1{1}			0.00	-57.37	-57.49
0.23	0.00	-57.50	28.75	269			
		Pressure 1{1}			56.47	17.68	17.68
0.00	56.47	17.68	28.24	278			
		GRTPl{1}			56.47	-39.66	-39.78
0.23	56.47	-39.78	48.13	269			
A04 + SIFI= 1.00 SIFO= 1.00							
		Gravity{1}			0.00	0.02	0.02
0.00	0.02	0.00	0.01	252			
		Thermal 1{1}			0.00	-63.32	-63.44

0.23	0.00	-63.44	31.72	269			
		Pressure 1{1}			56.47	18.02	18.02
0.00	56.47	18.02	28.24	8			
		GRTP1{1}			56.47	-45.27	-45.39
0.23	56.47	-45.39	50.93	269			
+1 SIFI= 1.00 SIFO= 1.00							
		Gravity{1}			0.00	0.02	0.02
0.00	0.02	0.00	0.01	68			
		Thermal 1{1}			0.00	-69.79	-70.22
0.23	0.00	-70.22	35.11	88			
		Pressure 1{1}			56.47	18.40	18.40
0.00	56.47	18.40	28.24	278			
		GRTP1{1}			56.47	-51.38	-51.80
0.23	56.47	-51.80	54.14	88			

 MODEL +5 SEARAH
 01/20/2015 PIPELINE WALKING
 BENTLEY
 07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
 AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 17

G E N E R A L P I P E S T R E S S R E P O R T

Point	Load		Total	Hoop	(Stress in N/mm2)		Loc
	Shear	Principal			Stress	Max	
name	combination	Min	Stress				
Stress	Max						

-- -----							

+2 SIFI= 1.00 SIFO= 1.00							
		Gravity{1}			0.00	0.01	0.01
0.00	0.01	0.00	0.01	242			
		Thermal 1{1}			0.00	-76.68	-78.10
0.23	0.00	-78.10	39.05	267			
		Pressure 1{1}			56.47	18.82	18.82
0.00	56.47	18.82	28.24	97			
		GRTP1{1}			56.47	-57.85	-59.27
0.23	56.47	-59.27	57.87	267			
+3 SIFI= 1.00 SIFO= 1.00							
		Gravity{1}			0.00	0.01	0.00

0.00	0.01	0.00	0.00	56			
	Thermal 1{1}				0.00	-83.29	-87.95
0.23	0.00	-87.95	43.98	86			
	Pressure 1{1}				56.47	19.31	19.29
0.00	56.47	19.29	28.24	276			
	GRTP1{1}				56.47	-63.97	-68.66
0.23	56.47	-68.66	62.57	86			
A05	SIFI= 1.00		SIFO= 1.00				
	Gravity{1}				0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	47			
	Thermal 1{1}				0.00	-87.39	-102.12
0.23	0.00	-102.12	51.06	265			
	Pressure 1{1}				56.47	19.86	19.80
0.00	56.47	19.80	28.24	95			
	GRTP1{1}				56.47	-67.53	-82.33
0.23	56.47	-82.33	69.40	265			
+1	SIFI= 1.00		SIFO= 1.00				
	Gravity{1}				0.00	-0.01	-0.01
0.00	0.00	-0.01	0.00	207			
	Thermal 1{1}				0.00	-82.86	-126.94
0.23	0.00	-126.94	63.47	84			
	Pressure 1{1}				56.47	20.54	20.31
0.00	56.47	20.31	28.24	273			
	GRTP1{1}				56.47	-62.33	-106.64
0.23	56.47	-106.64	81.56	84			
+2	SIFI= 1.00		SIFO= 1.00				
	Gravity{1}				0.00	-0.01	-0.02
0.00	0.00	-0.02	0.01	332			
	Thermal 1{1}				0.00	-55.78	-176.56
0.23	0.00	-176.56	88.28	263			
	Pressure 1{1}				56.47	21.45	20.72
0.00	56.47	20.72	28.24	360			
	GRTP1{1}				56.47	-34.35	-155.86
0.23	56.47	-155.86	106.17	263			
+3	SIFI= 1.00		SIFO= 1.00				
	Gravity{1}				0.00	0.00	-0.04
0.00	0.00	-0.04	0.02	103			
	Thermal 1{1}				0.00	11.25	-268.65
0.23	11.26	-268.65	134.32	80			
	Pressure 1{1}				56.47	22.98	20.66
0.00	56.47	20.66	28.24	266			
	GRTP1{1}				56.47	34.23	-248.02
0.23	56.48	-248.02	152.25	81			
A06 N-	SIFI= 1.00		SIFO= 1.00				

		Gravity{1}			0.00	0.12	-0.16
0.00	0.12	-0.16	0.08	266			
		Thermal 1{1}			0.00	68.54	-325.93
0.23	68.54	-325.93	162.97	251			
		Pressure 1{1}			56.47	25.30	18.34
0.00	56.47	18.34	28.24	80			
		G RTP1{1}			56.47	93.91	-307.70
0.23	93.91	-307.70	182.09	251			
A06 N+		SIFI= 1.77	SIFO= 1.47				
		Gravity{1}			0.00	0.22	-0.27
0.00	0.22	-0.27	0.14	1			
		Thermal 1{1}			0.00	210.38	-480.13
0.23	210.38	-480.13	240.06	346			
		Pressure 1{1}			56.47	28.36	16.09
0.00	56.47	16.09	28.24	176			
		G RTP1{1}			56.47	238.90	-464.25
0.23	238.90	-464.25	260.36	346			
+1		SIFI= 1.77	SIFO= 1.47				
		Gravity{1}			0.00	0.01	-0.02
0.00	0.01	-0.02	0.01	20			
		Thermal 1{1}			0.00	645.10	-1002.6
9.16	645.23	-1002.7	501.41	0			

```

-----
MODEL +5 SEARAH
01/20/2015 PIPELINE WALKING
BENTLEY
07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 18
-----

```

```

GENERAL PIPE STRESS REPORT
T
(Stress in N/mm2 )
Point Load Hoop Longitudinal
Shear Principal Total Stress Max Min
name combination Stress Loc
Stress Max Min Stress
-----
-- -----
Pressure 1{1} 56.47 27.28 17.40
0.05 56.47 17.40 28.24 180
G RTP1{1} 56.47 672.39 -985.26
9.21 672.53-985.35 520.95 0

```


A06 F- SIFI= 1.77 SIFO= 1.47						
		Gravity{1}		0.00	0.26	-0.22
0.00	0.26	-0.22	0.13	360		
		Thermal 1{1}		0.00	80.85	-323.24
1.40	80.88	-323.25	161.63	25		
		Pressure 1{1}		56.47	26.09	20.03
0.02	56.47	20.03	28.24	350		
		G RTP1{1}		56.47	101.09	-297.32
1.42	101.13	-297.32	176.90	25		
A06 F+ SIFI= 1.00 SIFO= 1.00						
		Gravity{1}		0.00	0.15	-0.12
0.00	0.15	-0.12	0.07	275		
		Thermal 1{1}		0.00	8.08	-227.23
1.40	8.31	-227.24	113.62	300		
		Pressure 1{1}		56.47	24.70	21.26
0.02	56.47	21.26	28.24	265		
		G RTP1{1}		56.47	29.54	-202.71
1.42	56.55	-202.72	129.60	301		
+1 SIFI= 1.00 SIFO= 1.00						
		Gravity{1}		0.00	0.02	-0.02
0.00	0.02	-0.02	0.01	73		
		Thermal 1{1}		0.00	41.63	-213.72
1.40	41.68	-213.73	106.87	102		
		Pressure 1{1}		56.47	23.35	22.45
0.02	56.47	22.45	28.24	209		
		G RTP1{1}		56.47	64.95	-191.23
1.42	65.18	-191.24	123.86	102		
+2 SIFI= 1.00 SIFO= 1.00						
		Gravity{1}		0.00	0.00	-0.01
0.00	0.00	-0.01	0.01	48		
		Thermal 1{1}		0.00	-10.18	-116.69
1.40	0.19	-116.71	58.36	281		
		Pressure 1{1}		56.47	23.17	22.66
0.02	56.47	22.66	28.24	116		
		G RTP1{1}		56.47	12.97	-94.02
1.42	56.52	-94.03	75.26	281		
+3 SIFI= 1.00 SIFO= 1.00						
		Gravity{1}		0.00	0.00	-0.04
0.00	0.00	-0.04	0.02	261		
		Thermal 1{1}		0.00	-33.59	-49.41
1.40	0.06	-49.45	24.74	236		
		Pressure 1{1}		56.47	23.19	22.86
0.02	56.47	22.86	28.24	71		
		G RTP1{1}		56.47	-10.40	-26.58

1.42	56.50	-26.60	41.55	236			
A07 N- SIFI= 1.00 SIFO= 1.00							
	Gravity{1}				0.00	0.06	-0.10
0.00	0.06	-0.10	0.05	91			
	Thermal 1{1}				0.00	58.21	-141.21
1.40	58.24	-141.23	70.62	93			
	Pressure 1{1}				56.47	23.54	22.51
0.02	56.47	22.51	28.24	277			
	GRTP1{1}				56.47	81.81	-118.79
1.42	81.89	-118.80	87.64	93			
A07 N+ SIFI= 1.77 SIFO= 1.47							
	Gravity{1}				0.00	0.12	-0.16
0.00	0.12	-0.16	0.08	1			
	Thermal 1{1}				0.00	145.47	-206.55
1.40	145.48	-206.56	103.28	3			
	Pressure 1{1}				56.47	24.02	22.21
0.02	56.47	22.21	28.24	187			
	GRTP1{1}				56.47	169.60	-184.50
1.42	169.62	-184.50	120.49	3			
+1 SIFI= 1.77 SIFO= 1.47							
	Gravity{1}				0.00	0.06	-0.09
0.00	0.06	-0.09	0.05	355			
	Thermal 1{1}				0.00	71.50	-117.37
2.01	71.55	-117.41	58.72	357			
	Pressure 1{1}				56.47	24.71	21.38
0.02	56.47	21.38	28.24	178			
	GRTP1{1}				56.47	96.27	-96.09
2.04	96.38	-96.11	76.31	357			

 MODEL +5 SEARAH
 01/20/2015 PIPELINE WALKING
 BENTLEY
 07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
 AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 19

G E N E R A L P I P E S T R E S S R E P O R T

(Stress in N/mm2)

Point	Load		Hoop	Longitudinal	
Shear	Principal	Total		Max	Min
name	combination		Stress		

Stress	Max	Min	Stress	Loc				

A07 F-	SIFI= 1.77		SIFO= 1.47					
	Gravity{1}				0.00	0.08	-0.09	
0.00	0.08	-0.09	0.04	186				
	Thermal 1{1}				0.00	129.44	-134.42	
0.33	129.44	-134.42	67.21	187				
	Pressure 1{1}				56.47	23.35	23.03	
0.00	56.47	23.03	28.24	110				
	G RTP1{1}				56.47	152.67	-111.27	
0.33	152.67	-111.27	83.87	187				
A07 F+	SIFI= 1.00		SIFO= 1.00					
	Gravity{1}				0.00	0.05	-0.05	
0.00	0.05	-0.05	0.02	271				
	Thermal 1{1}				0.00	72.58	-77.15	
0.33	72.58	-77.15	38.58	272				
	Pressure 1{1}				56.47	23.24	23.03	
0.00	56.47	23.03	28.24	105				
	G RTP1{1}				56.47	95.74	-54.04	
0.33	95.74	-54.04	55.26	272				
+1	SIFI= 1.00		SIFO= 1.00					
	Gravity{1}				0.00	0.12	-0.12	
0.00	0.12	-0.12	0.06	182				
	Thermal 1{1}				0.00	5.04	-8.27	
0.33	5.06	-8.29	4.15	207				
	Pressure 1{1}				56.47	23.47	22.73	
0.00	56.47	22.73	28.24	39				
	G RTP1{1}				56.47	28.61	14.35	
0.33	56.48	14.35	28.24	27				
+2	SIFI= 1.00		SIFO= 1.00					
	Gravity{1}				0.00	0.53	-0.53	
0.00	0.53	-0.53	0.26	1				
	Thermal 1{1}				0.00	6.54	-8.48	
0.33	6.55	-8.49	4.25	67				
	Pressure 1{1}				56.47	23.76	22.55	
0.00	56.47	22.55	28.24	192				
	G RTP1{1}				56.47	30.30	14.07	
0.33	56.48	14.06	28.24	240				
+3	SIFI= 1.00		SIFO= 1.00					
	Gravity{1}				0.00	2.04	-2.04	
0.00	2.04	-2.04	1.02	180				
	Thermal 1{1}				0.00	3.09	-3.75	
0.33	3.12	-3.78	1.90	252				

		Pressure 1{1}			56.47	24.22	22.39
0.00	56.47	22.39	28.24	273			
		GRTPl{1}			56.47	28.16	17.79
0.33	56.48	17.79	28.24	40			
A08 N- SIFI= 1.00 SIFO= 1.00							
		Gravity{1}			0.00	7.38	-7.38
0.00	7.38	-7.38	3.69	0			
		Thermal 1{1}			0.00	-0.05	-0.61
0.33	0.30	-0.75	0.45	27			
		Pressure 1{1}			56.47	24.68	21.94
0.00	56.47	21.94	28.24	270			
		GRTPl{1}			56.47	29.24	16.71
0.33	56.48	16.71	28.24	181			
A08 N+ SIFI= 1.49 SIFO= 1.24							
		Gravity{1}			0.00	11.01	-11.02
0.00	11.01	-11.02	5.51	0			
		Thermal 1{1}			0.00	0.39	-0.41
0.33	0.58	-0.59	0.39	27			
		Pressure 1{1}			56.47	25.46	21.38
0.00	56.47	21.38	28.24	360			
		GRTPl{1}			56.47	32.76	14.06
0.33	56.48	14.05	28.24	181			
+1 SIFI= 1.49 SIFO= 1.24							
		Gravity{1}			0.00	2.28	-0.18
0.00	2.28	-0.18	1.14	180			
		Thermal 1{1}			0.00	0.67	-0.66
0.20	0.72	-0.72	0.39	249			
		Pressure 1{1}			56.47	23.64	22.65
0.00	56.47	22.65	28.24	181			
		GRTPl{1}			56.47	26.29	22.10
0.20	56.48	22.10	28.24	200			
A08 F- SIFI= 1.49 SIFO= 1.24							
		Gravity{1}			0.00	4.31	-1.34
0.00	4.31	-1.34	2.15	360			
		Thermal 1{1}			0.00	0.79	-0.77
0.02	0.79	-0.77	0.40	255			

 MODEL +5 SEARAH
 01/20/2015 PIPELINE WALKING
 BENTLEY
 07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
 AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 20

 G E N E R A L P I P E S T R E S S R E P O R T

Point Shear name Stress	Load Principal combination		Total Stress	Loc	(Stress in N/mm2)		
	Max	Min			Hoop Stress	Longitudinal Max	Min
0.00	56.47	21.46	28.24	180	56.47	24.60	21.46
0.02	56.47	23.25	28.24	318	56.47	25.79	23.25
A08 F+	SIFI= 1.00		SIFO= 1.00				
0.00	3.38	-0.40	1.69	270	0.00	3.38	-0.40
0.02	0.63	-0.61	0.32	165	0.00	0.63	-0.61
0.00	56.47	21.97	28.24	0	56.47	24.07	21.97
0.02	56.47	23.60	28.24	228	56.47	25.43	23.60
A09	SIFI= 1.00		SIFO= 1.00				
0.00	9.66	0.00	4.83	90	0.00	9.66	8.63
0.02	0.20	-0.18	0.10	338	0.00	0.19	-0.17
0.00	56.47	22.73	28.24	180	56.47	23.32	22.73
0.02	56.47	31.95	28.24	41	56.47	32.40	31.95
A10	SIFI= 1.00		SIFO= 1.00				
0.00	16.97	0.00	8.49	270	0.00	16.97	16.68
0.02	0.07	-0.05	0.04	158	0.00	0.06	-0.04
0.00	56.47	22.94	28.24	90	56.47	23.10	22.94
0.02	56.47	39.79	28.24	131	56.47	39.92	39.79
A11	SIFI= 1.00		SIFO= 1.00				
	Gravity{1}				0.00	24.58	24.44

0.00	24.58	0.00	12.29	90			
	Thermal 1{1}				0.00	0.04	-0.02
0.02	0.05	-0.03	0.03	338			
	Pressure 1{1}				56.47	23.06	22.98
0.00	56.47	22.98	28.24	180			
	GRTP1{1}				56.47	47.57	47.51
0.02	56.47	47.51	28.24	41			

*** Segment A end ***

 MODEL +5 SEARAH
 01/20/2015 PIPELINE WALKING
 BENTLEY
 07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
 AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 21

S O I L F O R C E S & D E F O R M A T I O N
 S

Point	Load	FORCES (N/m)		
		Long	Vert	Horiz
DEFORMATIONS (mm)				
name	combination			
Long	Vert Horiz			
-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----

*** Segment A begin ***

A00							
	Gravity{1}				-0.26	394.46	0.00
-0.01	11.53	0.00					
	Thermal 1{1}				36.79	5.91	-0.07
1.27	0.17	0.00					
	Pressure 1{1}				-3.29	1.90	0.00
-0.11	0.06	0.00					
	GRTP1{1}				33.24	402.27	-0.07
1.15	11.76	0.00					
+1							
	Gravity{1}				-0.79	693.00	0.00
-0.03	20.26	0.00					
	Thermal 1{1}				110.76	-25.37	0.14
3.82	-0.74	0.00					
	Pressure 1{1}				-9.90	-8.16	0.00
-0.34	-0.24	0.00					
	GRTP1{1}				100.07	659.47	0.14

3.45	19.28	0.00			
+2					
	Gravity{1}		-1.32	617.28	0.00
-0.05	18.05	0.00			
	Thermal 1{1}		185.93	106.65	-0.27
6.41	3.12	0.00			
	Pressure 1{1}		-16.62	34.33	0.00
-0.57	1.00	0.00			
	G RTP1{1}		167.98	758.25	-0.27
5.79	22.17	0.00			
+3					
	Gravity{1}		-1.87	638.26	0.00
-0.06	18.66	0.00			
	Thermal 1{1}		263.11	-417.94	0.15
9.07	-12.22	0.00			
	Pressure 1{1}		-23.52	-134.64	0.00
-0.81	-3.94	0.00			
	G RTP1{1}		237.72	85.68	0.15
8.20	2.51	0.00			
A01 N					
	Gravity{1}		-14.14	638.82	0.00
-0.49	18.68	0.00			
	Thermal 1{1}		323.11	-1103.58	1.32
11.14	-32.27	0.01			
	Pressure 1{1}		-20.31	-358.66	0.00
-0.70	-10.49	0.00			
	G RTP1{1}		288.67	-823.42	1.32
9.95	-24.08	0.01			
+1					
	Gravity{1}		-38.09	637.44	0.00
-1.31	18.64	0.00			
	Thermal 1{1}		364.24	-1085.66	1.35
12.56	-31.74	0.01			
	Pressure 1{1}		-6.84	-359.37	0.00
-0.24	-10.51	0.00			
	G RTP1{1}		319.32	-807.59	1.35
11.01	-23.61	0.01			
A01 F					
	Gravity{1}		-50.31	632.13	0.00
-1.73	18.48	0.00			
	Thermal 1{1}		425.60	-404.65	0.20
14.68	-11.83	0.00			
	Pressure 1{1}		-3.67	-135.16	0.00
-0.13	-3.95	0.00			
	G RTP1{1}		371.62	92.32	0.20
12.81	2.70	0.00			
+1					
	Gravity{1}		-50.82	629.13	0.00
-1.75	18.40	0.00			

	Thermal 1{1}		510.25	103.00	-0.26
17.59	3.01	0.00			
	Pressure 1{1}		-10.87	34.43	0.00
-0.37	1.01	0.00			
	GRTP1{1}		448.57	766.55	-0.26
15.47	22.41	0.00			
+2					
	Gravity{1}		-51.27	629.97	0.00
-1.77	18.42	0.00			
	Thermal 1{1}		600.42	-24.20	0.12
20.70	-0.71	0.00			
	Pressure 1{1}		-18.18	-8.10	0.00
-0.63	-0.24	0.00			
	GRTP1{1}		530.97	597.67	0.12
18.31	17.48	0.00			
+3					
	Gravity{1}		-51.67	629.75	0.00
-1.78	18.41	0.00			
	Thermal 1{1}		697.10	5.12	-0.05
24.04	0.15	0.00			
	Pressure 1{1}		-25.69	1.72	0.00
-0.89	0.05	0.00			
	GRTP1{1}		619.73	636.59	-0.05
21.37	18.61	0.00			

 MODEL +5 SEARAH
 01/20/2015 PIPELINE WALKING
 BENTLEY
 07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
 AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 22

S O I L F O R C E S & D E F O R M A T I O N
 S

Point	Load	FORCES (N/m)		
		Long	Vert	Horiz
DEFORMATIONS (mm)				
name	combination			
Long	Vert Horiz			
-----	-----	-----	-----	-----
A02				
	Gravity{1}	-52.03	629.81	0.00
-1.79	18.42	0.00		
	Thermal 1{1}	801.33	-0.91	0.02

27.63	-0.03	0.00			
	Pressure 1{1}		-33.48	-0.31	0.00
-1.15	-0.01	0.00			
	G RTP1{1}		715.81	628.59	0.02
24.68	18.38	0.00			
+1					
	Gravity{1}		-52.35	629.79	0.00
-1.81	18.41	0.00			
	Thermal 1{1}		914.24	0.10	-0.01
31.53	0.00	0.00			
	Pressure 1{1}		-41.64	0.03	0.00
-1.44	0.00	0.00			
	G RTP1{1}		820.26	629.93	-0.01
28.28	18.42	0.00			
+2					
	Gravity{1}		-52.63	629.80	0.00
-1.81	18.41	0.00			
	Thermal 1{1}		1037.06	0.01	0.00
35.76	0.00	0.00			
	Pressure 1{1}		-50.24	0.00	0.00
-1.73	0.00	0.00			
	G RTP1{1}		934.19	629.81	0.00
32.21	18.42	0.00			
+3					
	Gravity{1}		-52.87	629.80	0.00
-1.82	18.41	0.00			
	Thermal 1{1}		1171.10	-0.01	0.00
40.38	0.00	0.00			
	Pressure 1{1}		-59.39	0.00	0.00
-2.05	0.00	0.00			
	G RTP1{1}		1058.85	629.78	0.00
36.51	18.41	0.00			
A03					
	Gravity{1}		-53.08	629.80	0.00
-1.83	18.41	0.00			
	Thermal 1{1}		1317.83	0.01	0.00
45.44	0.00	0.00			
	Pressure 1{1}		-69.18	0.00	0.00
-2.39	0.00	0.00			
	G RTP1{1}		1195.57	629.81	0.00
41.23	18.42	0.00			
+1					
	Gravity{1}		-53.26	629.80	0.00
-1.84	18.41	0.00			
	Thermal 1{1}		1478.83	0.00	-0.02
50.99	0.00	0.00			
	Pressure 1{1}		-79.72	0.00	0.00
-2.75	0.00	0.00			
	G RTP1{1}		1345.85	629.79	-0.02

46.41	18.41	0.00			
+2					
	Gravity{1}		-53.41	629.80	0.00
-1.84	18.41	0.00			
	Thermal 1{1}		1655.85	-0.01	0.13
57.10	0.00	0.00			
	Pressure 1{1}		-91.12	0.00	0.00
-3.14	0.00	0.00			
	GRTPl{1}		1511.32	629.79	0.13
52.11	18.41	0.00			
+3					
	Gravity{1}		-53.54	629.80	0.00
-1.85	18.41	0.00			
	Thermal 1{1}		1850.80	0.02	-0.64
63.82	0.00	0.00			
	Pressure 1{1}		-103.51	0.00	0.00
-3.57	0.00	0.00			
	GRTPl{1}		1693.75	629.82	-0.64
58.40	18.42	0.00			
A04					
	Gravity{1}		-53.64	629.80	0.00
-1.85	18.41	0.00			
	Thermal 1{1}		2065.79	-0.07	2.90
71.23	0.00	0.02			
	Pressure 1{1}		-117.02	0.00	0.00
-4.04	0.00	0.00			
	GRTPl{1}		1895.13	629.72	2.90
65.35	18.41	0.02			
+1					
	Gravity{1}		-53.71	629.80	0.00
-1.85	18.41	0.00			
	Thermal 1{1}		2303.15	0.20	-12.57
79.42	0.01	-0.08			
	Pressure 1{1}		-131.80	0.00	-0.02
-4.54	0.00	0.00			
	GRTPl{1}		2117.64	629.99	-12.59
73.02	18.42	-0.08			

MODEL +5 SEARAH
01/20/2015 PIPELINE WALKING
BENTLEY
07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 23

S O I L F O R C E S & D E F O R M A T I O N
S

Point name	Load combination		FORCES (N/m)		
	Long	Vert	Long	Vert	Horiz

+2					
-1.85	Gravity{1}		-53.76	629.80	-0.01
	18.41	0.00			
	Thermal 1{1}		2565.46	-0.38	52.72
88.46	-0.01	0.35			
	Pressure 1{1}		-148.00	-0.01	0.10
-5.10	0.00	0.00			
	GRTP1{1}		2363.69	629.41	52.81
81.51	18.40	0.35			
+3					
-1.85	Gravity{1}		-53.79	629.80	0.04
	18.42	0.00			
	Thermal 1{1}		2855.55	-0.01	-215.17
98.47	0.00	-1.45			
	Pressure 1{1}		-165.81	0.05	-0.47
-5.72	0.00	0.00			
	GRTP1{1}		2635.95	629.84	-215.60
90.89	18.42	-1.45			
A05					
-1.86	Gravity{1}		-53.80	629.78	-0.17
	18.41	0.00			
	Thermal 1{1}		3176.03	5.40	860.45
109.52	0.16	5.78			
	Pressure 1{1}		-185.38	-0.19	2.04
-6.39	-0.01	0.01			
	GRTP1{1}		2936.85	634.99	862.32
101.27	18.57	5.79			
+1					
-1.85	Gravity{1}		-53.78	629.86	0.62
	18.42	0.00			
	Thermal 1{1}		3530.26	-38.74	-3365.12
121.73	-1.13	-22.60			
	Pressure 1{1}		-206.92	0.72	-8.52
-7.14	0.02	-0.06			
	GRTP1{1}		3269.56	591.84	-3373.02
112.74	17.31	-22.65			
+2					
-1.85	Gravity{1}		-53.74	629.53	-2.25
	18.41	-0.02			
	Thermal 1{1}		3922.49	203.60	12926.99

135.26	5.95	86.82			
	Pressure 1{1}		-230.69	-2.50	34.72
-7.95	-0.07	0.23			
	G RTP1{1}		3638.06	830.63	12959.46
125.45	24.29	87.03			
+3					
	Gravity{1}		-53.68	630.76	8.08
-1.85	18.44	0.05			
	Thermal 1{1}		4356.95	-925.99	-48813.29
150.24	-27.08	-327.82			
	Pressure 1{1}		-256.94	8.01	-138.33
-8.86	0.23	-0.93			
	G RTP1{1}		4046.33	-287.23	-48943.55
139.53	-8.40	-328.70			
A06 N					
	Gravity{1}		-69.24	630.34	9.83
-2.39	18.43	0.07			
	Thermal 1{1}		1162.91	-818.11	-113744.4
40.10	-23.92	-763.89			
	Pressure 1{1}		-223.83	21.67	-848.05
-7.72	0.63	-5.70			
	G RTP1{1}		869.84	-166.10	-114582.6
29.99	-4.86	-769.52			
+1					
	Gravity{1}		-68.61	630.43	-17.59
-2.37	18.43	-0.12			
	Thermal 1{1}		-5704.95	1946.35	-122484.8
-196.72	56.91	-822.59			
	Pressure 1{1}		-46.02	46.99	-1366.26
-1.59	1.37	-9.18			
	G RTP1{1}		-5819.57	2623.76	-123868.6
-200.67	76.72	-831.89			
A06 F					
	Gravity{1}		-52.51	630.80	-10.25
-1.81	18.44	-0.07			
	Thermal 1{1}		-7975.11	1417.75	-54655.54
-275.00	41.45	-367.06			
	Pressure 1{1}		42.00	22.05	-486.71
1.45	0.64	-3.27			
	G RTP1{1}		-7985.62	2070.59	-55152.50
-275.36	60.54	-370.40			
+1					
	Gravity{1}		-52.54	629.54	2.83
-1.81	18.41	0.02			
	Thermal 1{1}		-7629.09	-310.30	14546.35
-263.07	-9.07	97.69			
	Pressure 1{1}		10.57	-5.44	137.00
0.36	-0.16	0.92			
	G RTP1{1}		-7671.07	313.81	14686.18

-264.52 9.18 98.63

MODEL +5 SEARAH
01/20/2015 PIPELINE WALKING
BENTLEY
07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 24

S O I L F O R C E S & D E F O R M A T I O N
S

Point	Load	FORCES (N/m)		
DEFORMATIONS (mm)				
name	combination	Long	Vert	Horiz
Long	Vert	Horiz		
-----	-----	-----	-----	-----
+2				
	Gravity{1}	-52.54	629.78	-0.81
-1.81	18.41 -0.01			
	Thermal 1{1}	-7364.70	-39.39	-3883.10
-253.95	-1.15 -26.08			
	Pressure 1{1}	-20.75	0.09	-58.59
-0.72	0.00 -0.39			
	G RTP1{1}	-7437.98	590.48	-3942.51
-256.48	17.27 -26.48			
+3				
	Gravity{1}	-52.50	630.08	0.57
-1.81	18.42 0.00			
	Thermal 1{1}	-7179.09	394.44	1538.57
-247.55	11.53 10.33			
	Pressure 1{1}	-52.29	4.43	99.87
-1.80	0.13 0.67			
	G RTP1{1}	-7283.88	1028.95	1639.00
-251.17	30.09 11.01			
A07 N				
	Gravity{1}	-48.43	631.05	9.97
-1.67	18.45 0.07			
	Thermal 1{1}	-6517.21	1242.42	13683.38
-224.73	36.33 91.90			
	Pressure 1{1}	-45.23	15.95	351.65
-1.56	0.47 2.36			
	G RTP1{1}	-6610.87	1889.42	14045.00
-227.96	55.25 94.32			

+1							
		Gravity{1}		-20.09	633.07	22.79	
-0.69	18.51	0.15					
		Thermal 1{1}		-2791.94	1764.65	31735.55	
-96.27	51.60	213.13					
		Pressure 1{1}		16.26	20.97	405.00	
0.56	0.61	2.72					
		G RTP1{1}		-2795.77	2418.68	32163.34	
-96.41	70.72	216.01					
A07 F							
		Gravity{1}		-0.12	633.54	8.91	
0.00	18.52	0.06					
		Thermal 1{1}		-224.41	695.80	12427.29	
-7.74	20.34	83.46					
		Pressure 1{1}		29.27	4.53	124.59	
1.01	0.13	0.84					
		G RTP1{1}		-195.26	1333.87	12560.79	
-6.73	39.00	84.36					
+1							
		Gravity{1}		-0.11	631.12	-2.41	
0.00	18.45	-0.02					
		Thermal 1{1}		-217.51	-183.15	-3367.91	
-7.50	-5.36	-22.62					
		Pressure 1{1}		-2.78	9.11	-33.25	
-0.10	0.27	-0.22					
		G RTP1{1}		-220.40	457.09	-3403.57	
-7.60	13.37	-22.86					
+2							
		Gravity{1}		-0.11	630.82	0.63	
0.00	18.44	0.00					
		Thermal 1{1}		-212.93	45.07	884.34	
-7.34	1.32	5.94					
		Pressure 1{1}		-34.87	-43.16	8.60	
-1.20	-1.26	0.06					
		G RTP1{1}		-247.91	632.73	893.57	
-8.55	18.50	6.00					
+3							
		Gravity{1}		-0.11	656.35	-0.13	
0.00	19.19	0.00					
		Thermal 1{1}		-210.63	-11.89	-182.19	
-7.26	-0.35	-1.22					
		Pressure 1{1}		-67.33	160.91	-1.75	
-2.32	4.70	-0.01					
		G RTP1{1}		-278.07	805.37	-184.08	
-9.59	23.55	-1.24					
A08 N							
		Gravity{1}		220.49	618.21	0.23	
7.60	18.08	0.00					
		Thermal 1{1}		-194.31	94.56	329.58	

-6.70	2.76	2.21			
	Pressure 1{1}		64.50	447.37	3.16
2.22	13.08	0.02			
	GRTP1{1}		90.69	1160.14	332.97
3.13	33.92	2.24			
+1					
	Gravity{1}		520.69	236.57	0.26
17.95	6.92	0.00			
	Thermal 1{1}		-80.43	229.67	365.35
-2.77	6.72	2.45			
	Pressure 1{1}		316.81	271.88	3.60
10.92	7.95	0.02			
	GRTP1{1}		757.07	738.12	369.20
26.11	21.58	2.48			
A08 F					

 MODEL +5 SEARAH
 01/20/2015 PIPELINE WALKING
 BENTLEY
 07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
 AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 25

S O I L F O R C E S & D E F O R M A T I O N
 S

Point	Load	FORCES (N/m)		
DEFORMATIONS (mm)		Long	Vert	Horiz
name	combination			
Long	Vert	Horiz		
-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----

*** Segment A end ***

 MODEL +5 SEARAH
 01/20/2015 PIPELINE WALKING
 BENTLEY
 07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
 AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 36

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum displacements (mm)

Comb.: GRTP1{1}	Maximum X :	1007.28	Point :	A06 F	Load
Comb.: GRTP1{1}	Maximum Y :	-152.95	Point :	A06 F	Load
Comb.: GRTP1{1}	Maximum Z :	892.18	Point :	A06 N	Load
Comb.: GRTP1{1}	Max. total:	1053.75	Point :	A06 F	Load

Maximum rotations (deg)

Comb.: GRTP1{1}	Maximum X :	-1.01	Point :	A05	Load
Comb.: GRTP1{1}	Maximum Y :	-2.32	Point :	A07 N	Load
Comb.: GRTP1{1}	Maximum Z :	-1.17	Point :	A06 F	Load
Comb.: GRTP1{1}	Max. total:	2.45	Point :	A06 F	Load

Maximum restraint forces (N)

Comb.: GRTP1{1}	Maximum X :	-230591	Point :	A00	Load
Comb.: Gravity{1}	Maximum Y :	-201730	Point :	A11	Load
Comb.: GRTP1{1}	Maximum Z :	-4	Point :	A09	Load
Comb.: GRTP1{1}	Max. total:	230638	Point :	A00	Load

Maximum restraint moments (N.m)


```

-----
      Maximum X :      -171      Point : A00      Load
Comb.: GRTP1{1}
      Maximum Y :         19      Point : A11      Load
Comb.: GRTP1{1}
      Maximum Z :     -1770      Point : A00      Load
Comb.: GRTP1{1}
      Max. total:      1778      Point : A00      Load
Comb.: GRTP1{1}

```

```

-----
MODEL +5 SEARAH
01/20/2015 PIPELINE WALKING
BENTLEY
07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 37
-----

```

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum pipe forces (N)

```

-----
      Maximum X :   1114109      Point : A06 N      Load
Comb.: GRTP1{1}
      Maximum Y :   -201730      Point : A11      Load
Comb.: Gravity{1}
      Maximum Z :   -993819      Point : A06 N      Load
Comb.: GRTP1{1}
      Max. total:  1486062      Point : A06 N      Load
Comb.: GRTP1{1}

```

Maximum pipe moments (N.m)

```

-----
      Maximum X :   -23675      Point : A06 F      Load
Comb.: GRTP1{1}
      Maximum Y :  -186005      Point : A06 N      Load
Comb.: GRTP1{1}
      Maximum Z :    25897      Point : A06 N      Load
Comb.: GRTP1{1}

```

Max. total: 188539 Point : A06 N Load
Comb.: GRTP1{1}

MODEL +5 SEARAH
01/20/2015 PIPELINE WALKING
BENTLEY
07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 38

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum Hoop stress

Point : A00
Stress N/mm2 : 53.20
Allowable N/mm2 : 103.42
Ratio : 0.51
Load combination : Max P{1}

Maximum Longitudinal stress

Point : A06 N
Stress N/mm2 : 672.39
Allowable N/mm2 : 165.47
Ratio : 4.06
Load combination : GRTP1{1}

Maximum Combined stress

Point : A06 N
Stress N/mm2 : 1538.85
Allowable N/mm2 : 186.16
Ratio : 8.27
Load combination : GRTP1{1}

MODEL +5 SEARAH

01/20/2015 PIPELINE WALKING
BENTLEY
07:29 PM MODEL +5 SEARAH.OUT
AutoPIPE Plus 9.4.0.19 RESULT PAGE 39

R E S U L T S U M M A R Y

Maximum Hoop stress ratio

Point : A00
Stress N/mm2 : 53.20
Allowable N/mm2 : 103.42
Ratio : 0.51
Load combination : Max P{1}

Maximum Longitudinal stress ratio

Point : A06 N
Stress N/mm2 : -985.26
Allowable N/mm2 : 165.47
Ratio : 5.95
Load combination : GRTP1{1}

Maximum Combined stress ratio

Point : A06 N
Stress N/mm2 : 1538.85
Allowable N/mm2 : 186.16
Ratio : 8.27
Load combination : GRTP1{1}

* * * The system does not satisfy B31.8 Offshore (2010)
code requirements * * *
* * * for the selected options
* * *

DAFTAR PUSTAKA

- Alves, L., José R. M. Sousa dan Gilberto B. Ellwanger. 2012. "Transient Thermal Effects and Walking in Submarine Pipelines". *International Journal Of Modeling And Simulation For Petroleum Industry*. Rio de Janeiro. Vol 6, no 1 (June): 37-44.
- Atkins, D., dan David J.White. 2008. "Pipe Soil Interaction During Lateral Buckling and Pipeline Walking". *Offshore Technology Conference 19589*. Houston, 4-7 (May): 1-20.
- Carr, M., F.Sinclair dan D.Bruton. 2006. "Pipeline Walking-Understanding the Field Layout Challenges and Analytical Solutions". *Society Of Petroleum Engineers* September: 1-9.
- PT. Depriwangga Engineering. 2012. *Expansion Analysis for 8" KC-KA 3 Phase Pipeline*. Pipeline Engineering Department. Jakarta.
- Reza, M. 2008. Perancangan Pipa dan Expansion Spool Pipa Penyalur SPM. Laporan Tugas Akhir. FTSP-ITB. Bandung.
- Rong, H., R. Inglis, G. Bell, Z. Huang dan R. Chan. 2009. "Evaluation and Mitigation of Axial Walking with a Focus on Deep Water Flowlines". *Offshore Technology Conference 19862*. Houston, 4-7 (May):1-10.
- Tveramo, C. 2013. *Pipeline Walking of High Pressure/Temperature Flowlines*. Master Thesis Department of Marine Technology Norwegian University of Science and Technology

BIODATA PENULIS



Faishal Abdurrahman Labib, dilahirkan di Surabaya pada tanggal 26 Januari 1993. Anak kedua dari tiga bersaudara. Menempuh pendidikan formal TK hingga SMA di Sidoarjo. Lulus SMAN 3 Sidoarjo tahun 2010 dan melanjutkan studi S1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan - Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Selama perkuliahan, penulis mengikuti beberapa organisasi kemahasiswaan dan terlibat menjadi panitia di beberapa acara yang ada di kampus. Pada tahun 2011-2012 penulis aktif menjadi staff departemen Sosial dan Masyarakat Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan. Pada tahun 2012-2013 penulis juga aktif menjadi Staff ahli Sosial dan Masyarakat Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan ITS. Penulis juga aktif mengikuti seminar dan pelatihan dalam rangka pengembangan diri. Pada tahun 2013 penulis pernah melakukan kerja praktek di perusahaan *Krakatau Hoogovens International Pipe Industries* selama 1 bulan dan pada Januari 2014 penulis melakukan kerja praktek di perusahaan Engineering PT. Depriwangga Engineering selama 1 bulan. Pada Januari 2015 penulis menyelesaikan tugas akhirnya dengan mengangkat permasalahan tentang *pipeline walking*.