

TUGAS AKHIR

ANALISA TEGANGAN PIPA PADA JALUR PEMIPAAN GAS DENGAN PENDEKATAN PERANGKAT LUNAK

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Pendidikan Tingkat Sarjana (S1) pada Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Bengkulu



Oleh

ARNO ABDILLAH
NPM G1C008004

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BENGKULU
2014**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa sesungguhnya dalam skripsi ini yang berjudul “ANALISA TEGANGAN PIPA PADA JALUR PEMIPAAN GAS DENGAN PENDEKATAN PERANGKAT LUNAK” tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin, atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat, pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah tulisan saya sendiri, kecuali yang tertulis diacu dalam naskah dan disebut dalam daftar pustaka. Apabila saya melakukan hal tersebut diatas, baik sengaja atau tidak sengaja, dengan ini saya siap menyatakan menarik skripsi yang saya ajukan sebagai hasil tulisan saya sendiri.

Bengkulu, 10 Februari 2014

ARNO ABDILLAH

G1C008004

MOTTO

Jalani hidup itu dengan apa adanya, dan hidup itu harus dinikmati

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan kepada :

- *ALLAH S.W.T Sang Pencipta Alam Semesta yang telah memberikan kesehatan, rezeki, akal dan pikiran.*
- *NABI MUHAMMAD S.A.W Nabi akhir zaman yang telah membawa kita ke alam yang terang berderang.*
- *Ayah dan Ibunda tercinta yang telah memberikan segenap kasih sayang baik materi maupun moril.*
- *Kakakku dan adik-adikku tersayang yang selalu mendukungku.*
- *“Seseorang” yang telah memberikan ku semangat dan inspirasi dalam hidup ini.*
- *Kawan-kawan sahabatku di TEKNIK UNIB terutama TEKNIK MESIN UNIB.*

ABSTRAK

Pipa adalah komponen yang berbentuk silinder berlubang yang digunakan untuk membawa atau mengalirkan fluida. Pada penggunaannya pipa akan melalui jarak dan medan yang sangat beragam, salah satunya melalui bawah laut atau daerah di lepas pantai. Sehingga dalam pengoperasiannya akan banyak ditemukan berbagai macam persoalan pada pipa tersebut. Untuk itu dalam perancangan pipa salah satu yang harus dilakukan adalah analisis tegangan (*stress analysis*), yang mana harus diupayakan agar tegangan maksimum yang terjadi pada pipa tidak melebihi tegangan izin material yang digunakan dalam perancangan.

Penelitian ini mencoba menganalisis tegangan yang terjadi pada jalur pemipaan gas sejauh 1497,63 m. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak metode elemen hingga dengan menggunakan variasi beban *pressure* dan *temperature*.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada pipa dengan *pressure* 1000 Psi, *temperature* 140 °F sebesar 9212,6 Psi dan pada *pressure* 1400 Psi, *temperature* 160 °F sebesar 12387 Psi. Nilai tegangan maksimum tersebut masih jauh dibawah tegangan izin materialnya, dan pipa tidak mengalami *overstress* karena tegangan yang terjadi tidak melebihi tegangan izin maksimum dari material pipa. Sehingga jalur pemipaan dapat dikatakan aman.

Kata kunci: *Pipa, Analisa Tegangan, Tegangan izin material, Tekanan, Temperature*

ABSTRACT

Pipe is hollow cylindrical component used to carry or drain fluid. In the pipeline going through its use of distance and terrain is very diverse, one of them through the underwater area off the coast. So the operation will be found in a wide variety of problems in the pipeline. For it in the design of one of the pipes that must be done is the analysis of stress (stress analysis), which must be aligned to a maximum voltage that occurs in the pipe does not exceed the voltage permits the material used in the design.

This study tried to analyze the stress that occurs in the gas pipeline as far as 1497.63 m. Modeling is done by using the finite element method software using pressure and temprature load variations.

The results of this study indicate that the maximum stress occurs in the pipe with a pressure 1000 Psi, temperature of 140 °F 9212.6 Psi and 1400 Psi in pressure, temperature of 160 °F 12387 Psi. The maximum voltage value is still far below the voltage of the material permits, and the pipe is not experiencing overstress voltage occurs because voltage does not exceed the maximum permission of the pipe material. So that the pipeline can be said to be safe.

Keywords: Pipe, Stress Analysis, Allowable Stress, Pressure, Temperature

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan lancar. Sholawat serta salam juga penulis haturkan kepada Rasulullah Muhammad SAW beserta sahabat.

Tugas akhir yang penulis bahas ini berjudul "*Analisa Tegangan Pipa Pada Jalur Pemipaan Gas Dengan Pendekatan Perangkat Lunak*". Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik (FT), Universitas Bengkulu (UNIB).

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penulisan penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pihak lain. Akhir kata penulis hanya dapat berharap penelitian ini bermanfaat bagi kemajuan dunia pendidikan khususnya bidang konstruksi dan perancangan.

Melalui kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Bapak Khairul Amri S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Bengkulu.
2. Bapak Angky Puspawan S.T., M.Eng., selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Universitas Bengkulu.
3. Bapak Erinofiardi, S.T.,M.T, selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah membimbing dengan penuh kesabaran, serta memberi banyak saran-saran yang sangat membantu.
4. Bapak Ahmad Fauzan Suryono, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, motivasi serta koreksinya dalam penulisan skripsi ini.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Mesin Universitas Bengkulu yang telah memberikan ilmu dan pengalaman-pengalaman yang berharga bagi penulis.

6. Kedua orang tua serta saudara-saudara penulis yang selalu mendukung dengan penuh kasih sayang seluruh aktivitas baik moril maupun materil.
7. Teman-teman seperjuangan khususnya angkatan 2008 yang telah banyak memberi kritik, saran, serta motivasi bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
8. Kepada semua pihak yang telah memberi kritik, saran, serta motivasi bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Terakhir penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua khususnya bagi penulis.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Bengkulu, Februari 2014

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR SIMBOL	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Batasan Masalah	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II DASAR TEORI	
2.1 Pipa	4
2.1.1 Piping	4
2.1.2 Pipeline.....	4
2.2 Ketebalan Pipa	6
2.3 Code dan Standard Sistem Perpipaan	7
2.4 Jenis-Jenis Beban Pada Sistem Perpipaan	8
2.4.1 Beban Sustain.....	9

2.4.2 Beban Ekspansi Thermal	9
2.4.3 Beban Operasi	9
2.4.4 Beban Occasional	9
2.5 Tegangan pada Sistem Perpipaan	10
2.5.1 Komponen Tegangan Normal	11
2.5.2 Komponen Tegangan Geser	16
2.6 Analisa Tegangan pada Pipeline	19
2.6.1 Tegangan Tangensial	19
2.6.2 Tegangan Longitudial	19
2.6.3 Tegangan Gabungan	20
2.7 Perangkat Lunak Metode Elemen Hingga.....	22

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	24
3.2 Data Penelitian	27
3.3 Pemodelan Pipeline dengan Perangkat Lunak Metode Elemen Hingga.....	28

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perhitungan	37
4.2 Hasil Pemodelan Pipeline dengan Perangkat Lunak Metode Elemen Hingga.....	39
4.3 Pembahasan	42

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	47

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel *Standard Schedule* Pipa

Tabel 2.2 *Design Factors for Offshore pipelines, platform piping, and pipeline Risers*

Tabel 2.3 *Temperature derating factor*

Tabel 2.4 *Specified Minimum Yield Strength (SMYS) & Allowable Stress (S)*

Tabel 2.5 *Construction design factor*

Tabel 3.1 Data pipa jalur pemipaan gas sejauh 1497,63 m.

Tabel 3.2 Data Variasi model dan pembebanan pada pipa

Tabel 4.1 Tegangan-tegangan yang terjadi pada pipa

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1 Perbedaan *Piping* dan *Pipeline*
- Gambar 2.2 *Onshore Pipeline* dan *Offshore Pipeline*
- Gambar 2.3 Diagram tegangan-regangan baja lunak dan diagram tegangan-regangan bahan getas
- Gambar 2.4 Tegangan aksial pada pipa
- Gambar 2.5 Tegangan tekuk pada pipa
- Gambar 2.6 Tegangan longitudinal tekan pada pipa
- Gambar 2.7 Tegangan tangensial atau tegangan keliling
- Gambar 2.8 Tegangan radial (*radial stress*)
- Gambar 2.9 Tegangan geser (*shear stress*)
- Gambar 2.10 Tegangan puntir atau tegangan torsi dengan sudut ϕ (dalam radian)
- Gambar 2.11 Tegangan puntir atau tegangan torsi maksimum saat $r = c$
- Gambar 3.1 Diagram alir penelitian
- Gambar 3.2 Diagram alir Penyelesaian Perangkat Lunak Elemen Hingga
- Gambar 3.3 Peta letak instalasi jalur pemipaan gas sejauh 1497,63 m
- Gambar 3.4 Pemodelan node
- Gambar 3.5 *Input* data geometri pada perangkat lunak metode elemen hingga
- Gambar 3.6 Kekakuan batas
- Gambar 3.7 Pemodelan pada pipa dengan perangkat lunak metode elemen hingga
- Gambar 3.8 *Warning* pada pemodelan pipa
- Gambar 3.9 perangkat lunak metode elemen hingga menyarankan untuk kembali ke *input* data pipa
- Gambar 3.10 Adanya *error* pada pemodelan pipa
- Gambar 3.11 Contoh tampilan *output* pipa yang telah dikonversikan
- Gambar 3.12 Contoh tampilan *output load case* (kondisi) tegangan pada pipa
- Gambar 3.13 Contoh tampilan output dari tegangan yang terjadi pada pipa akibat *Temperature* dan *pressure*
- Gambar 4.1 Input data pipa

Gambar 4.2 Plot 3 dimensi pipa

Gambar 4.3 Bagian pipa yang telah mendapatkan pembebanan tekanan dan temperatur (pada gambar ditunjukkan dengan timbulnya tegangan)

Gambar 4.4 Tampilan *output* dari tegangan yang terjadi pada pipa akibat
Temperature 140 °F dan *pressure 1000 psi*

Gambar 4.5 Tampilan *output* dari tegangan yang terjadi pada pipa akibat
Temperature 160 °F dan *pressure 1400 psi*

DAFTAR SIMBOL

t_m	: Tebal Pipa
P_i	: Tekanan desain
OD	: Diameter luar
S	: <i>Specified Minimum Yield Strength</i>
F	: <i>Design Factor</i>
E	: <i>Longitudinal Joint Factor</i>
T	: <i>Temperature Derating Factor</i>
A	: <i>Allowance</i>
MT	: Toleransi pabrik
σ_{ax}	: Tegangan Axial
F_{ax}	: Gaya Axial
A	: Luas Penampang
D_i	: Diameter dalam Pipa
σ_b	: Tegangan Bending
M	: Momen pada Ujung-ujung pipa
I	: Momen Inersia
σ_{Lp}	: Tegangan Longitudinal Tekan
σ_{Sh}	: Tegangan Tangensial
σ_R	: Tegangan Radial
σ_{max}	: Tegangan Geser
V	: Gaya Geser
Q	: Factor Bentuk
σ_T	: Tegangan Torsional
J	: Momen Inersia Polar
r_i	: Jari-jari dalam pipa
r_o	: Jari-jari luar pipa

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pipa adalah komponen yang berbentuk silinder berlubang yang digunakan untuk membawa atau mengalirkan fluida. Pipa memiliki beberapa sistem pemipaan, salah satunya adalah *pipeline*. *Pipeline* merupakan suatu sistem pemipaan yang sering digunakan sebagai alat pendistribusian minyak dan gas bumi dalam jumlah besar. Pada pengoperasiannya *pipeline* akan melalui jarak dan medan yang sangat beragam, baik melalui jalur darat (diatas permukaan tanah maupun dibawah permukaan tanah), sungai, bawah laut atau daerah di lepas pantai. Di Indonesia telah banyak proyek eksploitasi minyak dan gas bumi yang dilakukan, yang mana sebagian besar dari proyek-proyek tersebut menggunakan pipa bawah laut sebagai media penyaluran hasil eksploitasi.

Penggunaan pipa bawah laut harus dirancang dan dipasang sedemikian rupa agar dapat menjamin penyaluran hasil eksploitasi yang aman, efisien dan terhindar dari hal-hal yang tidak di inginkan, seperti kebocoran dan juga ledakan pada pipa. Salah satu penyebab permasalahan tersebut adalah tegangan yang terjadi pada pipa. Pada saat perancangan tegangan pada pipa harus dianalisa terlebih dahulu, supaya tidak melebihi tegangan izin material yang digunakan dalam perancangan. Analisa tegangan pada pipa dilakukan berdasarkan *code* ASME, salah satunya ASME B31.8, untuk pipa gas.

Oleh karena mengingat pentingnya analisa tegangan pada pipa, maka perlu kiranya dilakukan perhitungan perancangan pada salah satu *pipeline*. Perhitungan dilakukan dengan perumusan yang ada dan disempurnakan dengan pendekatan metode elemen hingga menggunakan perangkat lunak untuk panjang tertentu yang sulit dilakukan dengan perhitungan manual.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini yaitu :

Bagaimana cara menganalisa tegangan yang terjadi pada jalur pemipaan gas sejauh 1497.63 m ?

1.3 Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

Menganalisa tegangan (*stress*) yang terjadi pada jalur pemipaan gas, berdasarkan *code* ASME B31.8. Dan membandingkan tegangan yang terjadi dengan tegangan izin material pipa API 5L X65 (*allowable stress*).

1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari tugas akhir ini adalah :

1. Untuk mengetahui kesesuaian analisa tegangan dengan *code* ASME B31.8 yang digunakan.
2. Menjamin keselamatan jalur pipa.

1.5 Batasan Masalah

Mengingat luasnya permasalahan tentang perancangan pipa, maka perlu dibatasi permasalahan yang akan di bahas dalam tugas akhir ini. Adapun batasan masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Analisa tegangan pada pipa 20" yang terjadi pada jalur pemipaan gas sejauh 1497.63 m.
2. Pipa yang akan dianalisa berdasarkan perancangan sistem pemipaan, yaitu *code* ASME B31.8 (transmisi gas dan pipa distribusi, 2003).
3. Pemodelan sistem pemipaan menggunakan perangkat lunak metode elemen hingga.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang dipakai :

BAB I. PENDAHULUAN, berisi tentang : Latar Belakang, Perumusan Masalah, Tujuan, Manfaat, Batasan Masalah, dan Sistematika Penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA, berisi tentang : Pipa, Ketebalan Pipa, *Code* dan *Standard* Sistem Pemipaan, Jenis-Jenis Beban pada Sistem Pemipaan, Tegangan pada Sistem Pemipaan, Analisa Tegangan pada Pipa, Perangkat Lunak Metode Elemen Hingga.

BAB III. METODE PENELITIAN, berisi tentang : Diagram Alir Penelitian, Data Penelitian dan Pemodelan Pipa dengan Perangkat Lunak Metode Elemen Hingga.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN, berisi tentang : Hasil Perhitungan, Hasil Pemodelan Pipa dengan Perangkat Lunak Metode Elemen Hingga Dan Pembahasan.

BAB V. PENUTUP, berisi tentang : Kesimpulan dan Saran.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pipa

Pada dasarnya pipa berfungsi untuk mengalirkan fluida (zat cair, gas) dari satu atau beberapa titik ke satu atau beberapa titik lainnya. Dalam mengalirkan fluida pipa tidak boleh bocor dan pengaliran fluida perlu ada perbedaan tekanan antara titik awal dan titik akhir, serta gesekan yang terjadi antara pipa dan fluida harus diatasi. (Parisher. *et al*, 2002)

Pipa dimanfaatkan dalam berbagai macam industri pada sebuah plant, baik itu LNG, pabrik petrokimia, Pupuk, Nuklir, Panas Bumi, Gas, dan lain-lain baik di *OnShore* maupun di *Offshore*. Semua industri tersebut mempunyai dan membutuhkan instalasi pipa baik *pipeline* ataupun *piping*, seperti pada gambar 2.1 di bawah ini. (Smith. *et al*, 1987).

2.1.1 *Piping*

Piping mempunyai fungsi untuk proses pada suatu plant, seperti terminal atau kilang.



Gambar 2.1 Perbedaan *Piping* dan *Pipeline* (Fenn, 2012)

2.1.2 *pipeline*

pipeline mempunyai fungsi untuk mengalirkan fluida dari satu tempat ke tempat lainnya yang jaraknya jauh. Fluida yang berada didalamnya bisa berupa gas ataupun air yang mempunyai tekanan dan temperatur tertentu (Puja, 2011).

Beberapa Negara maju telah menggunakan *pipeline* sebagai sarana transportasi untuk berbagai pengangkutan diantaranya sebagai berikut (Liu, 2005) :

1. Mendistribusikan air dari pusat pengolahan menuju perumahan atau bangunan-bangunan lain.
2. Mendistribusikan kotoran dari rumah dan tempat industri menuju tempat pengolahan limbah.
3. Mendistribusikan gas alam ke daerah-daerah yang jaraknya ribuan mil.
4. Mendistribusikan minyak mentah dari sumur menuju kilang minyak.
5. Mendistribusikan hasil proses bensin, solar, oli dari kilang minyak ke beberapa kota dengan jarak ratusan mil.

Pipeline terbagi atas dua lokasi, seperti pada gambar 2.2 dibawah ini :



Gambar 2.2 *Onshore Pipeline* dan *Offshore Pipeline* (Fenn, 2012)

Onshore pipeline adalah *pipeline* yang berada/ditempatkan di daratan baik itu pegunungan, gurun, lereng, hutan, padang rumput, perkotaan, bawah tanah dan lain-lain. Sedangkan *offshore pipeline* adalah *pipeline* yang berada /ditempatkan di daerah lepas pantai atau bawah laut.

Pada pipa terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan pada saat perancangannya. Kita harus menyesuaikan lokasi pipa yang akan di rancang dengan kondisi geometri pipa (tebal pipa, panjang pipa, dan lain-lain) dan *standard code* yang digunakan dalam perancangan. Hal ini agar dapat menjamin keamanan pipa yang di rancang.

2.2 Ketebalan Pipa (*wall Thickness*)

Pipa di produksi dalam berbagai macam ketebalan yang sudah distandarkan. Setiap ketebalan tertentu pada pipa diberi penamaan dalam bentuk *schedule number* bukan dalam bentuk ketebalan pipa sebenarnya (Donny, 2009).

Ketebalan pipa sangat menentukan tegangan-tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan. Sehingga perhitungan ketebalan pipa sangat perlu dikaji dengan baik, dan disesuaikan dengan rumus yang ada pada *standard code* pipa. Selain itu penentuan *standard code* yang dipakai dalam perhitungan ketebalan pipa harus sesuai dengan fluida apa yang mengalir di dalam sistem perpipaan tersebut.

Dalam tugas akhir ini *code* yang digunakan adalah ASME B31.8, karena fluida yang mengalir dalam sistem perpipaan berupa gas. Berikut rumus yang digunakan :

$$t_m = \frac{P_i D_0}{2SFET} \quad (2.1)$$

Setelah didapat t_m kita akan menghitung tebal *require* (t_r) sesuai dengan rumus yang ada di *standard code* ASME B31.8, yaitu :

$$t_{req} = \frac{t_m + A}{(1 - MT)} \quad (2.2)$$

Dari nilai t_{req} maka pilih t_{sel} (*wall thickness selected*) yang ada di tabel *standard schedule* pipa :

$$t_{sel} > t_{req} \quad (\text{Di dapat dari tabel 2.1})$$

dimana :

t_{sel} = ketebalan pipa, in

D_0 = diameter luar pipa, in

E = *longitudinal joint factor*

F = faktor desain

P_i = Tekanan desain, psi

S = *specified minimum yield strength*, psi

T = temperature derating factor

A = allowance

MT = Toleransi pabrik

Berikut tabel *standard schedule* pipa yang sering digunakan dalam perancangan sistem perpipaan :

Tabel 2.1 Tabel *standard schedule* pipa (Puja, 2011)

Nominal pipe size	Outside diameter	Nominal Wall Thickness																
		Sch 5S	Sch 10S	Sch 10	Sch 20	Sch 30	Std	Sch 40	Sch 40	Extra Strong	Sch 80	Sch 100	Sch 120	Sch 140	Sch 160	XX Strong		
1/8 in	0.405	-	0.048	-	-	-	0.068	0.068	-	0.062	0.062	-	-	-	-	-		
0.25	0.540	-	0.055	-	-	-	0.088	0.088	-	0.110	0.110	-	-	-	-	-		
3/8 in	0.675	-	0.055	-	-	-	0.09	0.09	-	0.125	0.125	-	-	-	-	-		
0.5	0.840	0.055	0.055	-	-	-	0.09	0.09	-	0.147	0.147	-	-	-	0.100	0.294		
0.75	1.070	0.055	0.055	-	-	-	0.13	0.13	-	0.154	0.154	-	-	-	0.119	0.309		
1	1.315	0.055	0.100	-	-	-	0.33	0.33	-	0.175	0.175	-	-	-	0.25	0.359		
1.25	1.590	0.055	0.100	-	-	-	0.40	0.40	-	0.191	0.191	-	-	-	0.25	0.382		
1.5	1.900	0.055	0.100	-	-	-	0.45	0.45	-	0.200	0.200	-	-	-	0.261	0.4		
2	2.375	0.055	0.100	-	-	-	0.54	0.54	-	0.218	0.218	-	-	-	0.264	0.437		
2.5	2.875	0.055	0.125	-	-	-	0.203	0.203	-	0.275	0.275	-	-	-	0.376	0.562		
3	3.5	0.055	0.125	-	-	-	0.216	0.216	-	0.300	0.300	-	-	-	0.400	0.6		
3.5	4.0	0.055	0.125	-	-	-	0.230	0.230	-	0.318	0.318	-	-	-	-	-		
4	4.5	0.055	0.125	-	-	-	0.237	0.237	-	0.337	0.337	-	-	0.338	-	0.531	0.678	
4.5	5.0	0.100	0.125	-	-	-	0.258	0.258	-	0.375	0.375	-	-	0.300	-	0.526	0.75	
6	6.625	0.100	0.134	-	-	-	0.260	0.260	-	0.432	0.432	-	-	0.562	-	0.719	0.694	
8	8.625	0.100	0.148	-	-	0.250	0.277	0.322	0.322	0.400	0.500	0.500	0.504	0.719	0.812	0.900	0.875	
10	10.75	0.125	0.155	-	-	0.250	0.307	0.358	0.358	0.500	0.600	0.600	0.719	0.811	0.900	1.125	1.000	
12	12.75	0.150	0.150	-	-	0.250	0.330	0.375	0.408	0.562	0.600	0.600	0.694	0.944	1.200	1.125	1.312	1.000
14.00	14.0	0.150	0.158	0.225	0.312	0.375	0.375	0.438	0.564	0.600	0.750	0.698	1.064	1.250	1.400	-	-	-
16.00	16.0	0.150	0.188	0.250	0.312	0.375	0.375	0.500	0.600	0.600	0.844	1.000	1.219	1.438	1.594	-	-	-
18.00	18.0	0.150	0.188	0.250	0.312	0.375	0.375	0.600	0.700	0.600	0.938	1.156	1.375	1.600	1.781	-	-	-
20.00	20.0	0.150	0.210	0.250	0.375	0.500	0.375	0.564	0.612	0.600	1.031	1.200	1.500	1.750	1.989	-	-	-
22.00	22.0	0.188	0.218	0.250	0.375	0.500	0.375	-	0.675	0.600	1.125	1.375	1.625	1.875	2.125	-	-	-
24.00	24.0	0.210	0.250	0.250	0.375	0.500	0.375	0.688	0.680	0.600	1.216	1.591	1.812	2.092	2.344	-	-	-
26.00	26.0	-	-	0.312	0.500	-	0.375	-	-	0.600	-	-	-	-	-	-	-	-
28.00	28.0	-	-	0.312	0.500	0.625	0.375	-	-	0.600	-	-	-	-	-	-	-	-
30.00	30.0	0.250	0.312	0.312	0.500	0.625	0.375	-	-	0.600	-	-	-	-	-	-	-	-
32.00	32.0	-	-	0.312	0.500	0.625	0.375	0.688	-	0.600	-	-	-	-	-	-	-	-
34.00	34.0	-	-	0.312	0.500	0.625	0.375	0.688	-	0.600	-	-	-	-	-	-	-	-
36.00	36.0	-	-	0.312	0.500	0.625	0.375	0.750	-	0.600	-	-	-	-	-	-	-	-
42.00	42.0	-	-	-	-	-	0.375	-	-	0.600	-	-	-	-	-	-	-	-

2.3 Code dan Standard Sistem Pemipaan

Code adalah sekelompok aturan umum atau standar yang sistematis untuk suatu desain, material, fabrikasi, instalasi, pengetesan, dan inspeksi yang telah di akui dan memiliki kekuatan hukum. (Smith. *et al*, 1987)

Standard adalah dokumen umum yang mengandung peraturan desain dan konstruksi yang dipakai banyak orang dibidang teknik untuk mempermudah, sesuai dengan persyaratan individu dari komponen yang telah di atur sedemikian rupa. (Smith. *et al*, 1987)

Code dan *standard* pada sistem pemipaan sangat berperan dalam perancangan pipa, karena bertujuan untuk mendapatkan kepastian agar sistem pipa aman dan tidak

membahayakan jiwa manusia. Selain itu *code* dan *standard* sistem perpipaan juga mempermudah dalam pemilihan dan pemakaian peralatan, jenis material dan prosedur perancangan pipa. Sehingga pada saat perancangan sistem pemipaan yang akan dibuat dapat menghemat biaya produksi.

Berikut ini *standard* yang sering digunakan dalam perancangan pipa, yaitu :

- ANSI (*American National Standard Institute*)
 - ANSI B16.5 “*Pipe Flange and Flanged Fitting*”

Berikut ini *code* yang sering digunakan dalam perancangan pipa, yaitu :

- ASME (*American Society of Mechanical Engineers*)
 - ASME B31.8 “*Gas Transmission and Distribution Pipeline*”
- API (*American Petroleum Institute*)
 - API 5L X65

2.4 Jenis-Jenis Beban pada Sistem Pemipaan

Secara umum sistem pemipaan mengalami 2 jenis pembebanan yaitu beban *internal* dan beban *eksternal* (Smith. *et al*, 1987) :

1. Beban *Internal*

Beban internal merupakan beban yang timbul karena efek dari berat pipa, tekanan dan temperature fluida. Beban internal yang bekerja pada sistem perpipaan antara lain, beban *sustain*, beban *ekspansi* dan beban *operasi*.

2. Beban *Eksternal*

Beban eksternal disebut juga dengan beban *occasional*, merupakan beban yang terjadi kadang-kadang dan timbul karena pergerakan angin, gelombang air laut, gempa bumi dan lain-lain.

Berikut penggolongan pembebanan pada sistem pemipaan berdasarkan pada jenis beban-beban yang terjadi, meliputi beban-beban *sustain*, beban *ekspansi*, beban *operasi* dan beban *occasional* :

2.4.1 Beban Sustain (*Sustain Loads*)

Beban *sustain* adalah beban yang bekerja terus-menerus selama operasi. Beban ini merupakan kombinasi beban yang diakibatkan oleh tekanan internal dari fluida yang dialirkan dan beban berat (berat fluida dan berat pipa). (Smith. *et al*, 1987).

Pada beban *sustain* terjadi tegangan akibat *internal pressure* dan tegangan akibat gaya berat sistem perpipaan.

2.4.2 Beban Ekspansi Termal (*Expansion Load*)

Beban *ekspansi* merupakan beban yang timbul akibat adanya perpindahan pada struktur pipa (*ekspansi termal*) pada sistem perpipaan. Beban *ekspansi termal* dapat dibagi menjadi (Smith. *et al*, 1987) :

- Beban *ekspansi termal* akibat pembatasan gerak oleh tumpuan saat pipa mengalami *ekspansi*.
- Beban *termal* akibat perbedaan temperatur yang besar dan sangat cepat dalam dinding pipa sehingga mampu menimbulkan tegangan.
- Beban akibat perbedaan koefisien *ekspansi* pipa yang tersusun dari dua atau lebih material logam yang berbeda.

Pada beban *ekspansi* terjadi tegangan normal maupun tegangan geser yang diakibatkan oleh adanya *ekspansi* material pipa akibat perbedaan temperatur pipa dengan temperatur lingkungan sekitar.

2.4.3. Beban Operasi (*Operating Load*)

Beban operasi merupakan beban kombinasi dari beban *sustain* dan beban *termal*. Beban tersebut diterima oleh pipa selama operasi berlangsung. Dengan kata lain Beban operasi dapat dituliskan sebagai berikut (Smith. *et al*, 1987).

$$\text{Beban operasi} = \text{Beban } \textit{sustain} + \text{Beban } \textit{ekspansi}$$

2.4.4 Beban Occasional (*Occasional Load*)

Beban *occasional* adalah beban yang terjadi ”kadang-kadang” selama operasi pada sistem perpipaan. Ada beberapa hal yang dapat menyebabkan timbulnya beban *occasional*, yaitu (Smith. *et al*, 1987) :

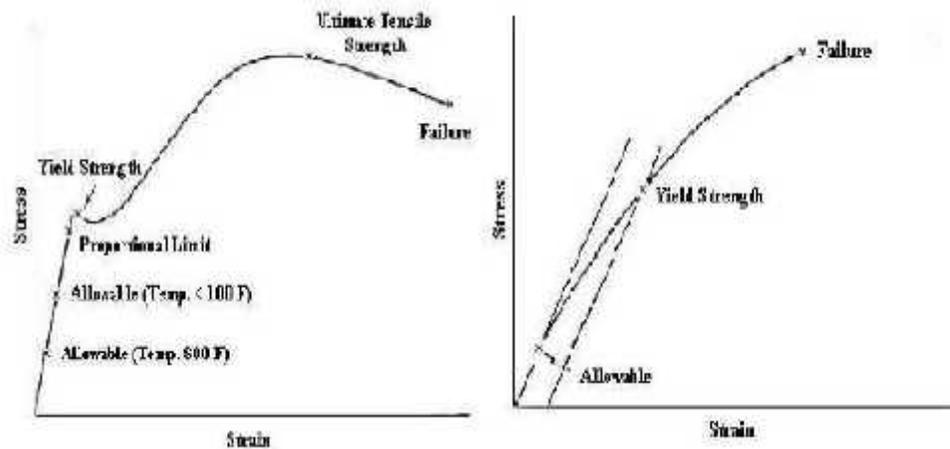
- Salju, terjadi pada sistem perpipaan yang berada pada lokasi yang mengalami musim salju. Salju yang jatuh di atas pipa akan menimbulkan pembebanan berat yang berlebih yang harus ditahan oleh pipa.
- Fenomena alam, seperti gempa bumi, angin topan, badai dan lain-lain akan menimbulkan eksistasi terhadap pipa yang bersifat dinamik. Analisa dinamik pada sistem perpipaan diperlukan untuk mendapatkan distribusi berat yang berlebih yang harus ditahan oleh pipa.
- *Unusual plan operation*, merupakan kesalahan yang terjadi pada kondisi operasi yang dimungkinkan oleh adanya kelalaian operator ataupun kesalahan prosedur kerja dalam mengoperasikan sistem perpipaan.

Pada beban *occasional* terjadi tegangan akibat beban sustain dan tegangan akibat gaya *occasional*. Tegangan akibat gaya-gaya *occasional* merupakan tegangan yang ditimbulkan akibat gaya *eksternal* yang terjadi dan bersifat “kadang-kadang”.

Dari jenis-jenis beban yang ada pada sistem pemipaan tersebut, semuanya diakibatkan oleh jenis input pembebanan yang berbeda-beda. Pembebanan itu terjadi akibat dari kondisi operasi sistem pemipaan sendiri maupun dari lingkungan sekitar sistem pemipaan. Sehingga dalam merancang sistem perpipaan yang aman, tiap komponen beban baik akibat kondisi dari beban *internal* maupun akibat beban *eksternal* harus diperhatikan.

2.5 Tegangan pada Sistem Pemipaan

Tegangan adalah besaran vektor yang selain memiliki nilai juga memerlukan arah. Nilai dari tegangan didefinisikan sebagai gaya (F) per satuan luas (A). Pada sistem pemipaan, teori tegangan secara umum merupakan pengembangan dari teori tegangan yang sudah ada. Tegangan yang terjadi dalam sistem pemipaan disebabkan oleh tekanan *internal*, tekanan *eksternal*, beban berat dan beban *ekspansi* akibat perbedaan temperatur. Dalam analisa tegangan pada sistem pemipaan kita menyesuaikan pada diagram tegangan-regangan yang ditunjukkan pada gambar 2.3 dibawah ini (Beer. *et al*, 2006) :



Gambar 2.3 Diagram tegangan-regangan baja lunak dan diagram tegangan-regangan bahan getas (Beer. *et al*, 2006)

Pada gambar 2.3 diatas titik tegangan luluh (*yield strength*) merupakan titik acuan sebagai batas tegangan ijin dalam perancangan. Sedangkan tegangan maksimum (*ultimate strength*) merupakan titik yang menunjukkan besar tegangan maksimum yang mampu ditahan material sebelum mengalami kegagalan. Titik *failure* merupakan titik dimana material tersebut mengalami kegagalan. Di bawah titik *yield strength* material bersifat elastis. Dan di sebelah kanan titik tegangan *yield*, material bersifat plastis.

Pada bab ini analisis tegangan yang terjadi pada pipa berdasarkan pada standar sistem pemipaan dari *code ASME B31.8*, sehingga tegangan dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu :

- 1) Tegangan Normal (*Normal Stress*)
- 2) Tegangan Geser (*Shear Stress*).

2.5.1 Komponen Tegangan Normal

1. Tegangan Longitudinal (*Longitudinal Stress*)

Tegangan *longitudinal* adalah tegangan yang bekerja searah sumbu pipa. Tegangan longitudinal terdiri dari tegangan aksial (*axial stress*), tegangan tekuk (*bending stress*) dan tegangan longitudinal tekanan (*pressure stress*). Berikut uraian dari tegangan longitudinal.

- Tegangan aksial (σ_{ax}) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh gaya aksial (F_{ax}) yang bekerja searah dengan sumbu pipa. Dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.4 Tegangan aksial pada pipa (Puja, 2011)

Berikut rumus tegangan aksial : (Beer. *et al*, 2006)

$$\sigma_{ax} = \frac{F_{ax}}{A} \quad (2.3)$$

$$A = \left(\frac{\pi(d_o^2 - d_i^2)}{4} \right)$$

Dimana :

A = luas penampang pipa

d_0 = diameter luar pipa

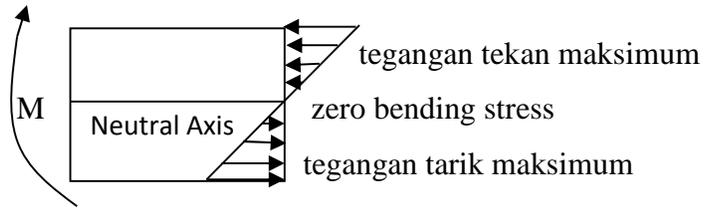
d_1 = diameter dalam pipa

F_{ax} = gaya aksial yang terjadi sepanjang pipa

σ_{ax} = tegangan aksial

- Tegangan tekuk (σ_b) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh momen (M) yang bekerja diujung-ujung pipa. Dalam hal ini tegangan yang terjadi dapat berupa tegangan tekuk tekan (*tensile bending*) atau tegangan tekuk tarik (*compression bending*). Tegangan tekuk itu maksimum pada permukaan pipa dan nol pada sumbu pipa, karena tegangan tersebut merupakan fungsi jarak dari sumbu ke permukaan pipa (c). Dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

Variation in Bending Stress Thru Cross Section



Gambar 2.5 Tegangan tekuk pada pipa (Beer. *et al*, 2011)

Rumus tegangan Tekuk : (Beer. *et al*, 2006)

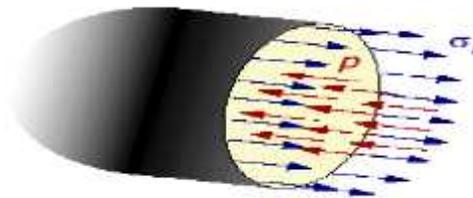
$$b = \frac{M c}{I} \quad (2.4)$$

$$I = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{64}$$

Dimana :

- c = jarak dinding pipa ke sumbu netral
- d_i = diameter dalam pada pipa
- d_o = diameter luar pada pipa
- I = momen inersia penampang
- M = moment pada ujung-ujung pipa
- b = tegangan tekuk

- Tegangan longitudinal tekan (σ_L) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh gaya tekan *internal* (p) yang bekerja pada dinding pipa searah sumbu pipa (lihat Gambar 2.6) :



Gambar 2.6 Tegangan longitudinal tekan pada pipa (Puja, 2011)

Rumus tegangan longitudinal tekan : (ASME B31.8)

$$L_p = \frac{PA_i}{A_m} = \frac{Pd_i^2}{(d_o^2 - d_i^2)} = \frac{Pd_i^2}{4td_m} = \frac{Pd_o}{4t} \quad (2.5)$$

Dimana:

A_i = luas permukaan dalam pipa

A_m = luas rata-rata permukaan pipa

d_o = diameter luar pipa

P = tekanan pada pipa

t = tebal pipa

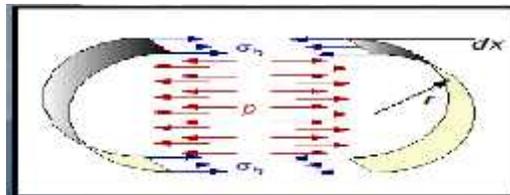
L_p = tegangan longitudinal tekan

Jadi tegangan longitudinal yang bekerja pada sistem pemipaan adalah : (ASME B31.8).

$$L = \frac{Mc}{I} + \frac{F_{ax}}{A} + \frac{Pd_o}{4t} \quad (2.6)$$

2. Tegangan Tangensial (*Hoop Stress*)

Tegangan tangensial (σ_h) ditimbulkan oleh tekanan *internal* yang bekerja secara tangensial dan besarnya bervariasi tergantung pada tebal dinding pipa. Berikut dapat dilihat pada gambar Gambar 2.7 :



Gambar 2.7 Tegangan tangensial atau tegangan keliling (Puja, 2011)

Rumus tegangan tangensial (*hoop stress*) : (ASME B31.8)

$$\sigma_h = \frac{Pd_i L}{2tL} = \frac{Pd_i}{2t} = \frac{Pd_o}{2t} \quad (2.7)$$

Dimana :

d_o = diameter luar pipa

P = tekanan pada pipa

t = tebal pipa

s_h = tegangan tangensial (*hoop stress*)

3. Tegangan Radial (*Radial Stress*)

Tegangan radial adalah tegangan yang besar tegangannya bervariasi dari permukaan dalam pipa ke permukaan luarnya dan dapat dinyatakan dengan rumus berikut : (Puja, 2011)

$$R = \frac{P(r_i^2 - \frac{r_l^2 r_o^2}{r^2})}{(r_o^2 - r_l^2)} \quad (2.8)$$

Dimana :

P = tekanan pada pipa

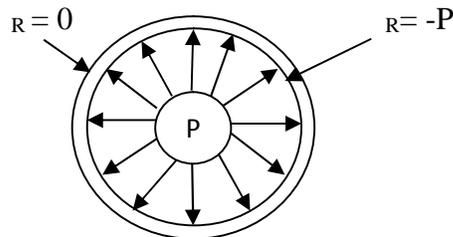
r_i = jari-jari dalam pada pipa

r_o = jari-jari luar pada pipa

R = Tegangan radial

r = jarak radius ke titik yang diperhatikan

Tekanan internal pada tegangan radial maksimum terjadi pada permukaan dalam pipa dan tegangan minimum pada permukaan luarnya. Kedua tegangan ini berlawanan dengan tegangan tekuk, sehingga tegangan radial tersebut sangat kecil dibandingkan dengan tegangan tekuk. Jadi tegangan radial dapat diabaikan.

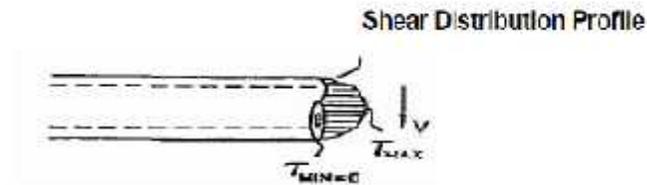


Gambar 2.8 Tegangan radial (*radial stress*) (Puja, 2011)

2.5.2 Komponen Tegangan Geser

1. Tegangan Geser (*Shear Stress*)

Tegangan geser adalah tegangan akibat gaya geser yang bekerja searah penampang pipa. Dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.9 Tegangan geser (*shear stress*) (Puja, 2011)

Rumus tegangan geser (*shear stress*) : (Beer. *et al*, 2006)

$$\tau_{\max} = \frac{VQ}{A_{\max}} \quad (2.9)$$

Dimana :

A_{\max} = luas penampang pipa

Q = factor bentuk (*form factor*) untuk pergeseran (= 1.33 untuk penampang lingkaran yang pejal)

V = gaya geser

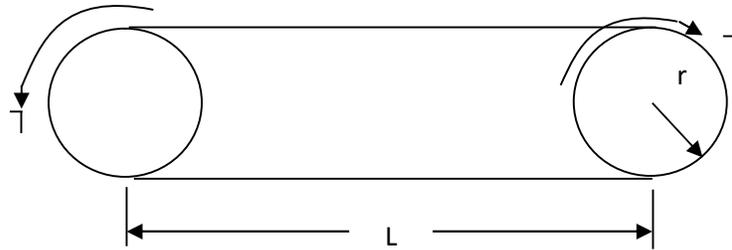
τ_{\max} = tegangan geser

Seperti halnya pada tegangan radial, besar tegangan geser ini kebalikan dari tegangan tekuk. Sehingga tegangan geser relatif kecil dibandingkan dengan tegangan tekuk dan dapat diabaikan karena tegangan geser mencapai nilai maksimum pada sumbu pipa dan minimum pada jarak terjauh dari sumbu pipa (yaitu permukaan luar pipa).

2. Tegangan Puntir atau Tegangan Torsi (*Torsional Stress*)

Tegangan puntir adalah tegangan yang terjadi pada suatu bentangan bahan dengan luas permukaan tetap yang dikenai suatu puntiran (*twisting*) pada setiap

ujungnya dan bentangan benda tersebut dikatakan sebagai poros (*shaft*). Untuk suatu poros dengan panjang L dan jari-jari r dikenai torsi T (sepasang). Sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 2.10 dibawah ini. Pergeseran sudut (*angular displacement*) ujung satu terhadap yang lainnya diberikan dengan sudut ϕ (dalam radian) adalah : (Beer. *et al*, 2006)



Gambar 2.10 Tegangan puntir atau tegangan torsi dengan sudut ϕ (dalam radian) (Beer. *et al*, 2006)

$$\phi = \frac{TL}{JG} \quad (2.10)$$

$$J = \frac{\pi r^4}{2}$$

Dimana :

- Φ = sudut (dalam radian)
- G = Modulus elastisitas geser
- J = *moment inersia polar*
- L = panjang .m
- T = torsi .lb/in

Dengan $J = \pi r^4/2$ adalah *moment inersia polar* pada luas permukaan, sehingga tegangan geser torsional pada suatu jarak c dari sumbu poros luas permukaan adalah : (Beer. *et al*, 2006)

$$\tau = \frac{Tc}{J} \quad (2.11)$$

Dimana :

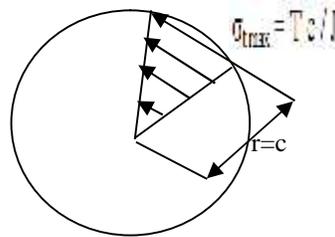
- τ = tegangan geser torsional
- J = *moment inersia polar*
- c = jarak dari sumbu poros .m
- T = torsi .lb/in

Untuk tegangan geser maksimum yang bertambah secara linier yang terlihat dalam gambar 2.11. Maksimum tegangan geser yang terjadi pada $r = c$ adalah $\tau_{max} = T r / J$ untuk poros berlubang yang mempunyai jari-jari dalam dan jari-jari luar. Semua formula di atas akan berlaku dengan : (Beer. *et al*, 2006)

$$J = \frac{\pi(r_0^4 - r_i^4)}{2} \quad (2.12)$$

Dimana :

- J = *moment inersia polar*
- r_0 = jari-jari luar pada pipa .m
- r_i = jari-jari dalam pada pipa .m



Gambar 2.11 Tegangan puntir atau tegangan torsi maksimum saat $r = c$ (Beer. *et al*, 2006)

Dari kelima macam tegangan yang terjadi pada sistem pemipaan tersebut ada tiga macam tegangan yang patut dipertimbangkan, yaitu tegangan longitudinal, tegangan torsional dan tegangan tangensial serta dua macam tegangan yang di abaikan yaitu tegangan radial dan tegangan geser (Puja, 2011).

2.6 Analisa Tegangan pada Pipa

Dalam merancang sebuah sistem pemipaan pada jalur Pemipaan gas dapat dilakukan analisa tegangan dengan menggunakan beberapa pendekatan rumus dari *code ASME B31.8* sebagai berikut :

2.6.1 Tegangan Tangensial (*hoop stress*) (ASME B31.8)

Untuk menghitung tegangan tangensial yang terjadi dapat menggunakan rumus 2.13.

$$|s_{sh}| \leq F_1 S T \quad (2.13)$$

Dimana :

F_1 = factor desain tegangan hoop, pada Table 2.2

S = Tegangan izin material, psi. pada tabel 2.4

T = *temperature derating factor*, pada Table 2.3

s_{sh} = Tegangan tangensial, Psi

2.6.2 Tegangan Longitudinal (*longitudinal stress*) (ASME B31.8)

Untuk menghitung tegangan *longitudinal* yang terjadi dapat menggunakan rumus 2.14.

$$|L| \leq F_2 S \quad (2.14)$$

$$L = a_x + b$$

Dimana :

F_2 = Faktor desain tegangan longitudinal, pada Table 2.2

S = Tegangan izin material, psi. pada Tabel 2.4

L = Tegangan longitudinal maksimum, Psi.

a_x = Tegangan aksial, Psi.

b = Tegangan Bending, Psi

2.6.3 Tegangan Gabungan (*combined stress*) (ASME B31.8)

Untuk menghitung tegangan gabungan yang terjadi dapat menggunakan rumus 2.15.

$$\sqrt{\frac{\sigma_L - \sigma_{sh}}{2}}^2 + \sigma_t^2 \leq F_3 S \quad (2.15)$$

Dimana :

F_3 = faktor desain tegangan gabungan, pada Table 2.2

S = Tegangan izin material, Psi

σ_{sh} = Tegangan tangensial, Psi

σ_L = Tegangan longitudinal maksimum, Psi.

σ_t = Tegangan torsional, Psi

Pada analisa tegangan pipa kita menggunakan beberapa tabel untuk membantu proses perhitungan, berikut tabel-tabel yang digunakan :

Tabel 2.2 *Design factors for offshore pipelines, platform piping, and pipeline risers* (ASME B31.8) :

Lokasi	F_1	F_2	F_3
	Tegangan Tangensial	Tegangan Longitudinal	Tegangan Kombinasi
<i>Offshore Pipeline</i>	0.72	0.80	0.90
<i>Platform piping and risers</i>	0.50	0.80	0.90

Tabel 2.2 dipakai untuk mendapatkan nilai faktor desain tegangan pada sistem pemipaan, yang mana disesuaikan apakah sistem pemipaan kita offshore pipeline atau platform piping and risers.

Tabel 2.3 *Temperature derating factor* (ASME B31.8) :

<i>Temperature derating factor</i>	<i>Temperature operasi</i>
1.0	250 °F
0.967	300 °F
0.933	350 °F
0.9	400 °F
0.867	450 °F

Tabel 2.3 dipakai untuk mendapatkan nilai *temperature derating factor* pada sistem pemipaan. Untuk mendapatkan nilai *temperature derating factor*, kita harus mengetahui berapa besar temperatur operasi yang bekerja pada sistem pemipaan yang kita analisa lalu di sesuaikan dengan tabel 2.3

Tabel 2.4 *Specified minimum yield strength (SMYS) & allowable stress (S)* (ASME B31.8) :

Specification	Grade	Specified Min. Yield Strength, psi (MPa)	Weld Joint Factor <i>E</i>	Allowable Stress Value <i>S</i> , -20°F to 250°F (-30°C to 120°C), psi (MPa)
Seamless				
API 5L	A25	25,000 (172)	1.00	18,000 (124)
API 5L, ASTM A 53, ASTM A 106	A	30,000 (207)	1.00	21,600 (149)
API 5L, ASTM A 53, ASTM A 106	B	35,000 (241)	1.00	25,200 (174)
API 5L	X42	42,000 (289)	1.00	30,250 (208)
API 5L	X46	46,000 (317)	1.00	33,100 (228)
API 5L	X52	52,000 (358)	1.00	37,450 (258)
API 5L	X56	56,000 (386)	1.00	40,300 (278)
API 5L	X60	60,000 (413)	1.00	43,200 (298)
API 5L	X65	65,000 (448)	1.00	46,800 (323)
API 5L	X70	70,000 (482)	1.00	50,400 (347)
API 5L	X80	80,000 (551)	1.00	57,600 (397)

Tabel 2.4 dipakai untuk mendapatkan nilai *specified minimum yield strength* (*S*). Untuk mendapatkan nilai *S*, kita dapat menyesuaikan dengan material yang akan kita gunakan. Misalkan material yang digunakan API 5L X 65, maka nilai *S* adalah 65000 psi.

Tabel 2.5 *Construction design factor* (ASME B31.8) :

<i>Construction Type</i>	<i>Design Factor (F)</i>
A (Lokasi jarang penduduk)	0.72
B (Pinggir kota/desa)	0.60
C (Kota/desa, gedung 3 tingkat)	0.50
D (Kota/desa, gedung 3 tingkat)	0.40

Tabel 2.5 dipakai untuk mendapatkan nilai factor desain konstruksi (F) pada sistem pemipaan. Untuk mendapatkan nilai F, kita harus mengetahui lokasi sistem pemipaan yang kita analisa berada, lalu di sesuaikan dengan tabel 2.5

2.7 Perangkat Lunak Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga (*finite element method*) atau biasa disebut FEM adalah suatu teknik numerik untuk menemukan solusi perkiraan persamaan *diferensial parsial* (PDP) serta persamaan integral. Pendekatan solusi didasarkan baik pada menghilangkan persamaan *diferensial* sepenuhnya (masalah *steady state*), atau rendering PDP ke sistem mendekati persamaan diferensial biasa, yang kemudian diintegrasikan secara numerik menggunakan teknik standar seperti metode Euler, Runge-Kutta, dll. (id.wikipedia).

Metode elemen hingga paling banyak dipakai di dunia *engineering* (sipil, mesin, penerbangan, mikroelektronik, *bioengineering*, material) dan diajarkan di dunia (baik akademika maupun industri). Meski berupa pendekatan, metode ini dikenal cukup ampuh memecahkan struktur-struktur yang kompleks dalam analisis mekanika benda padat (*solid mechanics*) dan perpindahan panas (*heat transfer*).

Pada metode elemen hingga kita dapat memberikan data masukan berupa :

- dimensi dan jenis material
- parameter operasi : temperatur, tekanan, fluida
- parameter beban : berat isolasi, perpindahan, angin, gempa, dll
- *code* yang digunakan
- Pemodelan : node, elemen, tumpuan.

Selain itu kita juga dapat mengetahui aturan penempatan node:

- definisi geometri : sistem *start*, interseksi, perubahan arah, *end*
- perubahan parameter operasi : perubahan temperatur, tekanan, isolasi
- definisi parameter kekakuan elemen : perubahan ukuran pipa, *valve*, *tee*, dll.
- posisi kondisi batas : *restrain*, *anchor*
- aplikasi pembebanan : aplikasi gaya, berat isolasi, gempa, dll
- pengambilan informasi dari hasil analisis : gaya dalam, tegangan, *displacement*, reaksi tumpuan, dll.

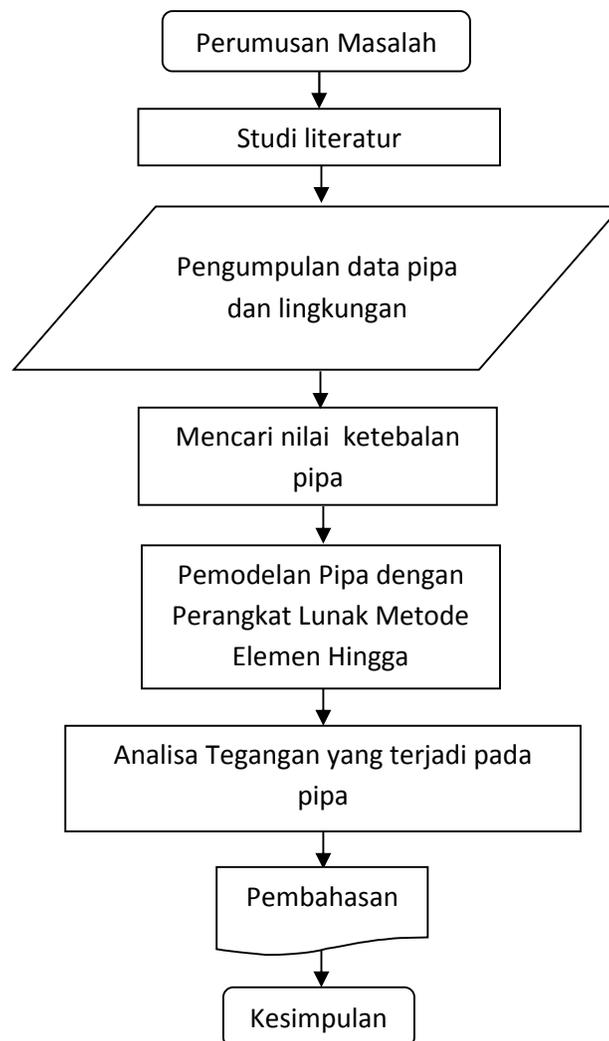
(Puruhita, 2008).

BAB III

METODOLOGI

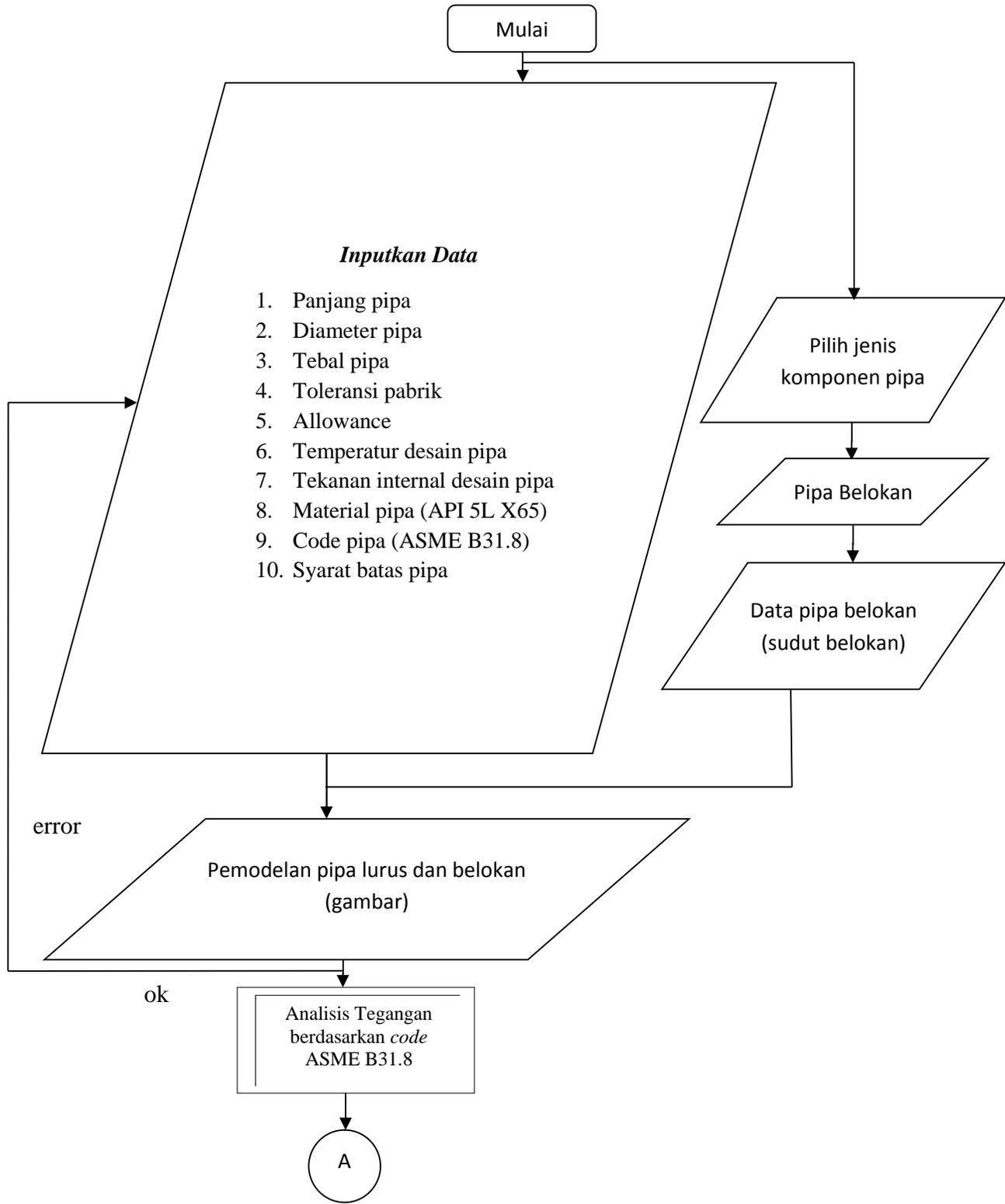
3.1 Diagram Alir Penelitian

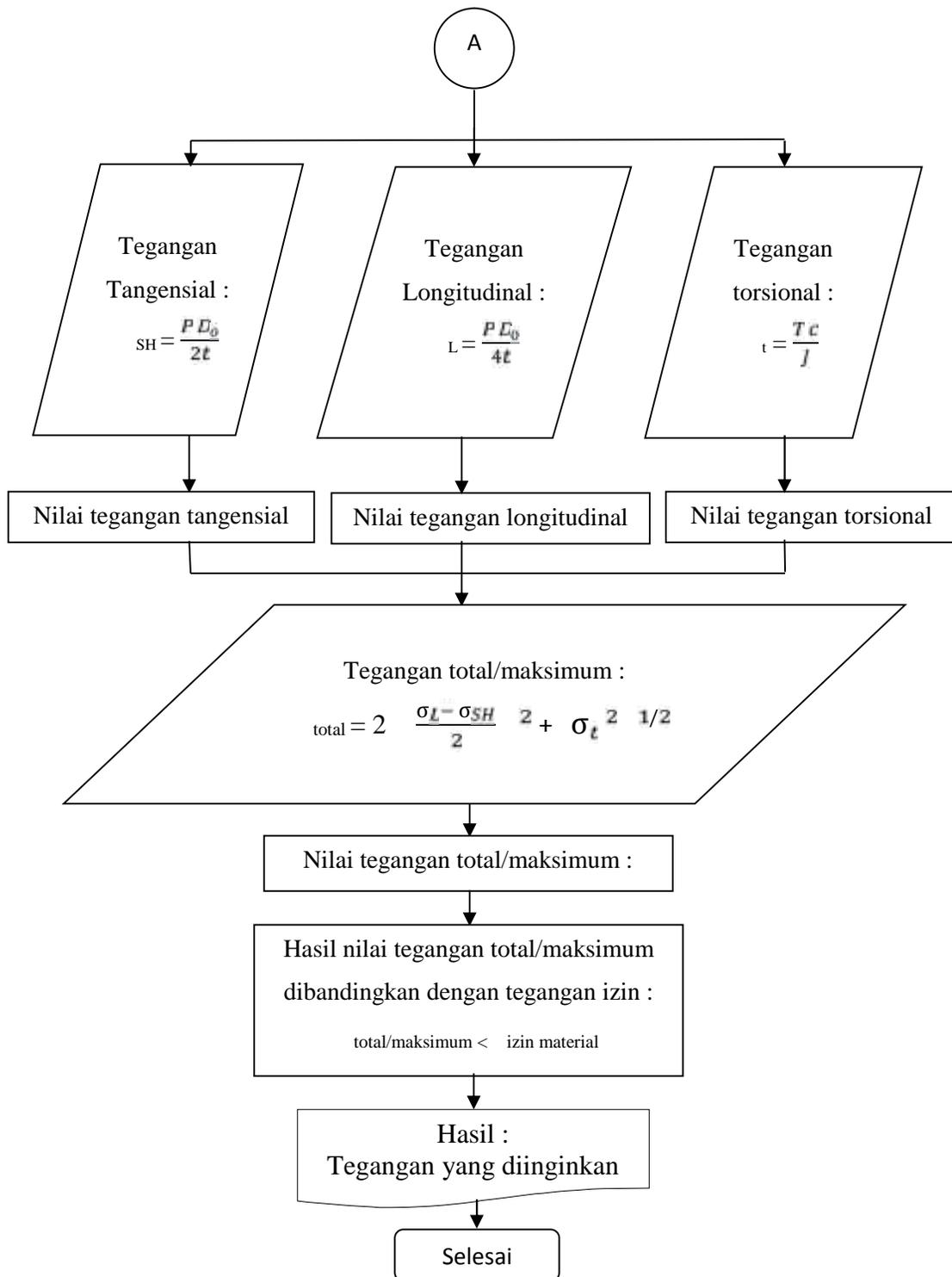
Diagram alir menunjukkan proses yang dilakukan dari awal sampai akhir hingga diperoleh suatu kesimpulan. Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Diagram Alir Penyelesaian Perangkat Lunak Elemen Hingga :

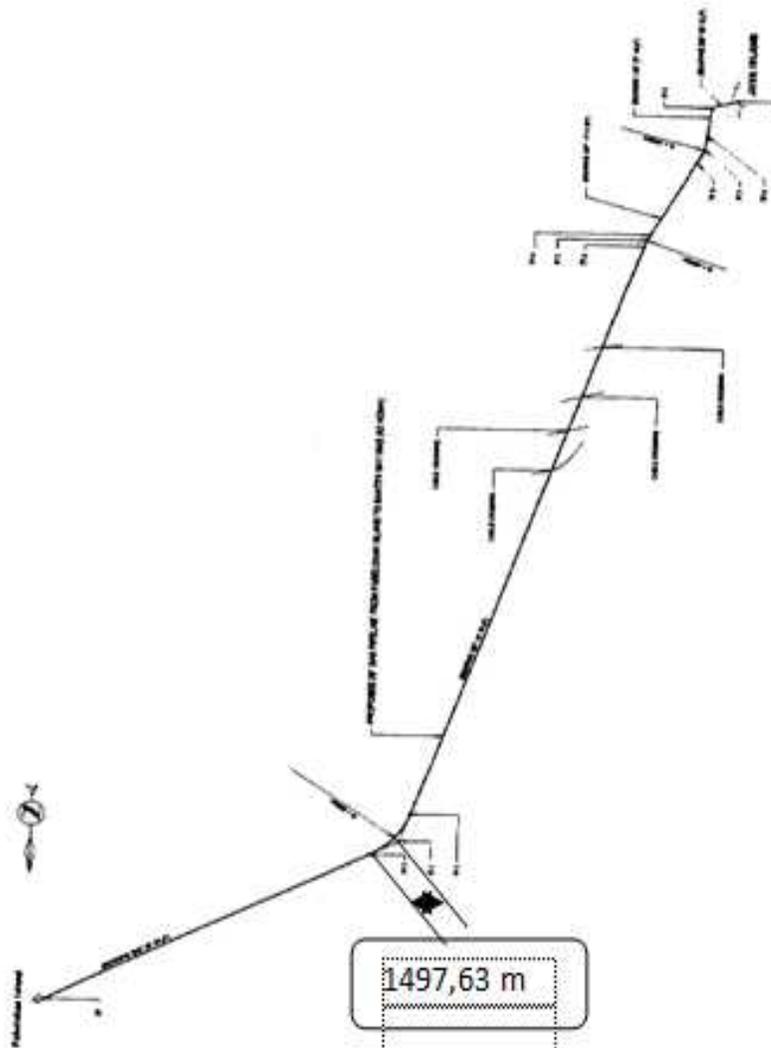




Gambar 3.2 Diagram Alir Penyelesaian Perangkat Lunak Elemen Hingga

3.2 Data Penelitian

Untuk mencapai tujuan dan mendapatkan hasil analisa yang sesuai maka standar yang digunakan adalah standar *code ASME B31.8* Dan data yang dipakai dalam tugas akhir ini adalah data jalur pemipaan gas sejauh 1497,63 m serta data lingkungan yang telah ada.



Gambar 3.3 Peta letak jalur pemipaan gas

Berikut data-data yang ada pada jalur Pemipaan gas sejauh 1497,63 m.

Tabel 3.1 Data pipa pada jalur pemipaan gas sejauh 1497,63m :

Design Standard Code	ASME B31.8
Outside Diameter (Do)	20 inch
Corrosion Allowance (A)	0.118 inch
Design Temperature	140 °F
Internal Design Pressure (Pi)	1000 Psi
Joint Efficiency (E)	1 (Seamless)
Temperature derating factor (T)	1 (for Temperature < 250 F)
Design Safety Factor	0.3
Pipeline Material & Specified Minimum Yield Strength (SMYS) API 5L B X65 (S)	65,000 Psi
Modulus elastisitas pipa	2.07E+05
Design Factor (F)	0,72
Mill Tolerance	12,5 %

3.3 Pemodelan Pipa dengan Metode Elemen Hingga

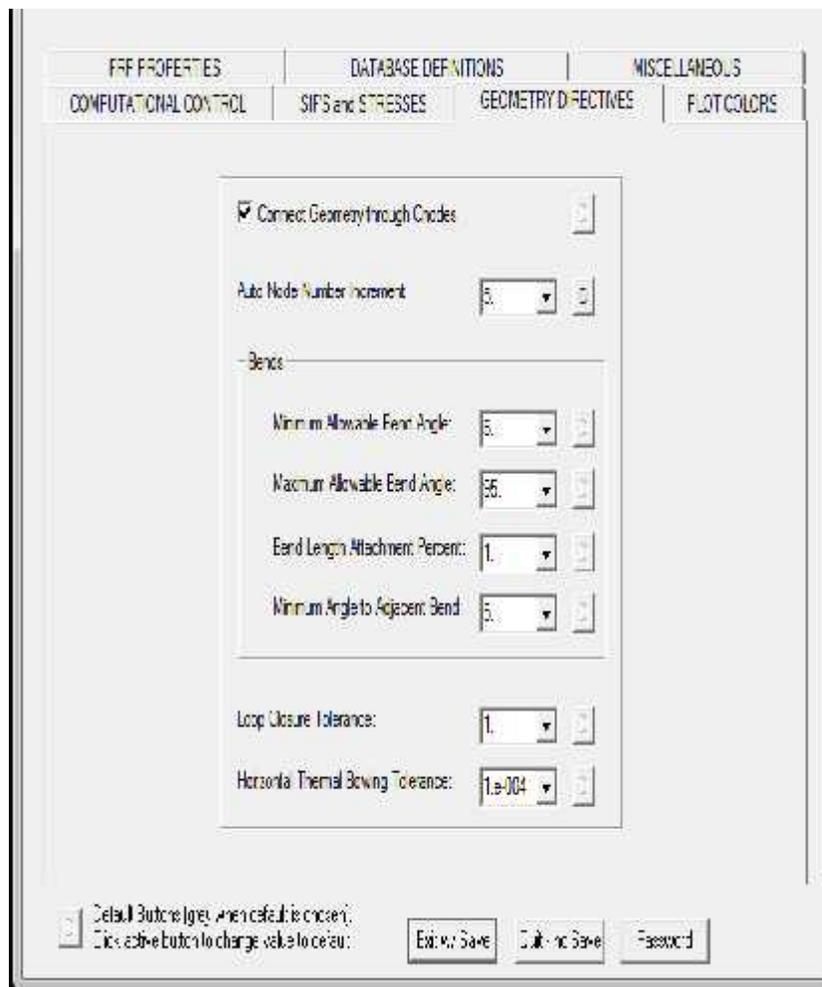
Pada tugas akhir ini akan dianalisa tegangan yang terjadi pada jalur pemipaan gas yang disesuaikan dengan *code ASME B31.8*, yaitu sistem pemipaan yang ada pada bawah laut. Sebelum melakukan analisa tegangan yang terjadi, terlebih dahulu kita harus membuat pemodelan pipa.

Berikut langkah-langkah dalam pemodelan pipa dengan menggunakan metode elemen hingga, yaitu :

1. *Pre procesing* :

➤ Pemodelan *node*, elemen, tumpuan, dengan aturan penentuan *node* :

1. titik awal, interaksi, perubahan arah, dan titik akhir
2. Perubahan parameter operasi



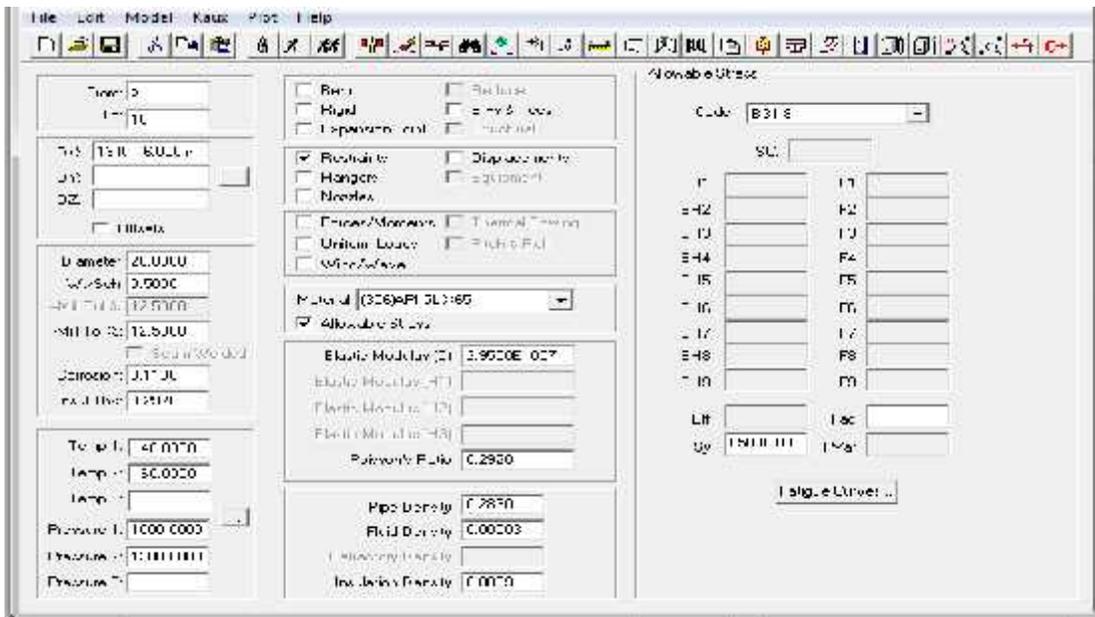
Gambar 3.4 Pemodelan node

➤ Pemodelan geometri ,berupa :

1. Dimensi dan jenis material
2. Parameter operasi (temperatur, tekanan fluida)
3. Parameter beban

4. *Code* yang digunakan

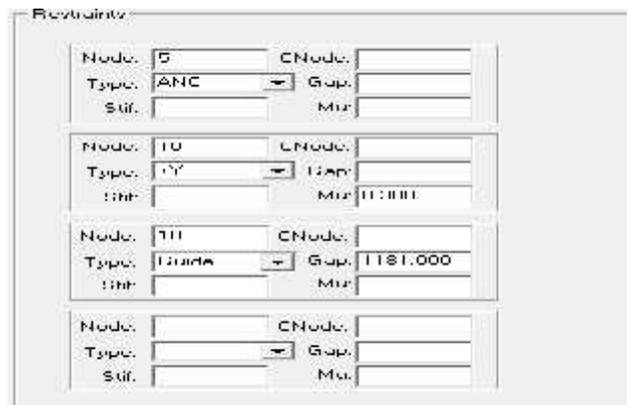
Berikut data geometri pada pipa dapat dilihat dari gambar 3.5 dibawah ini adalah :



Gambar 3.5 Input data

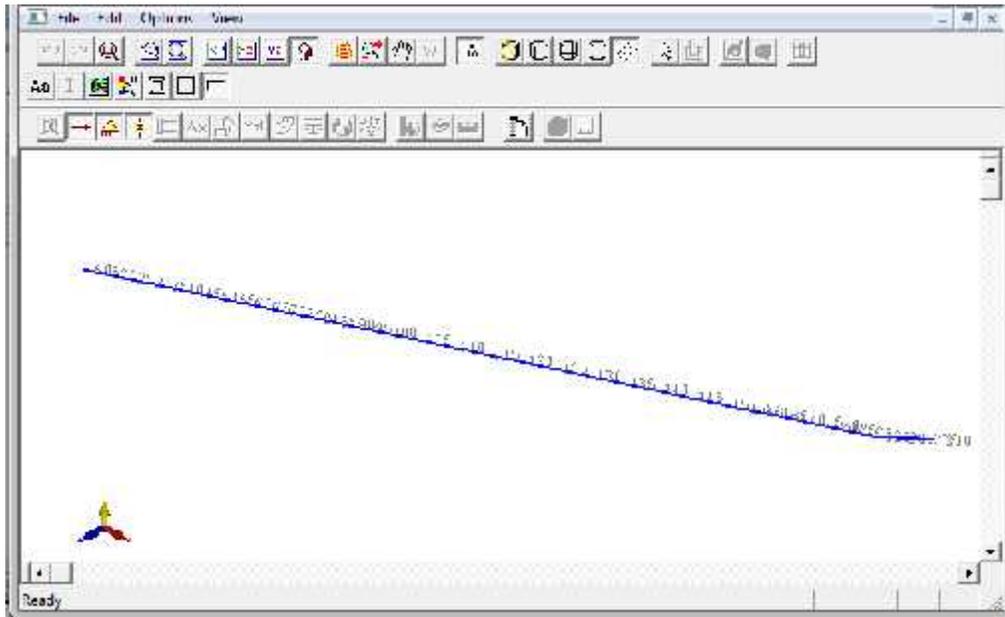
➤ Memposisikan kekakuan batas (*restrain, angkor*)

Dalam menentukan posisi kekakuan batas, kita harus mengetahui Instalasi jalur pipa yang akan dilakukan pemodelan, yaitu sejauh 1497.63 m. Selain itu kita memerlukan beberapa data perancangan dan data operasi yang dibutuhkan yaitu posisi jalur pipa, tekanan rancang, temperatur operasi, diameter, tebal pipa dan data masukan lainnya.



Gambar 3.6 Kekakuan batas

Berikut adalah gambar pemodelan pipa bawah laut:

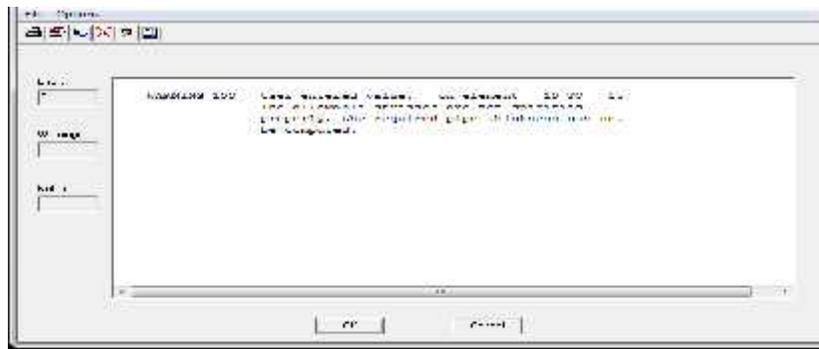


Gambar 3.7 Pemodelan pipa bawah laut

2. *Running Model* :

Setelah pemodelan pipa selesai dan semua data telah dimasukkan, maka kita dapat *merunning* desain struktur pipa yang telah dibuat dengan menganalisa material pada pipa dan beban yang telah dibuat gagal atau tidak. Jika gagal maka cek lagi data-data yang ada.

Pada analisa dengan menggunakan metode elemen hingga ini terdapat 2 komponen tipe kesalahan pemodelan. Pertama *warning*, apabila terdapat *warning* pada hasil running program maka pemodelan ini harus diperbaiki oleh pengguna dimana pemodelan harus ditinjau ulang. Biasanya tampilan pada metode elemen hingga akan memberitahukan kesalahan pemodelan yang dapat diperbaiki oleh perangkat lunak tanpa meninjau ulang pemodelan kita. Berikut adalah gambar kesalahan pada pemodelan yang masih dapat diperbaiki oleh perangkat lunak metode elemen hingga :



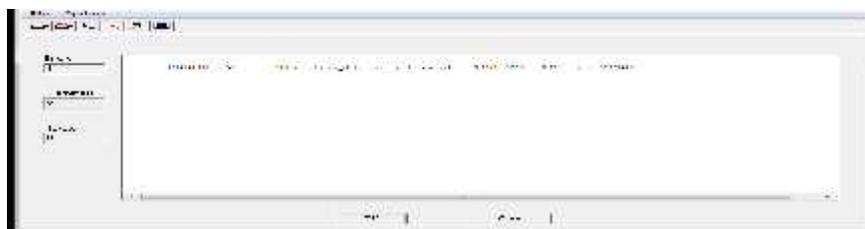
Gambar 3.8 *Warning* pada Pemodelan pipa

Pada gambar 3.8 diatas menunjukkan bahwa pemodelan dengan metode elemen hingga dapat dianalisis dan kesalahan pada pemodelannya masih dapat diperbaiki. Apabila pada pemodelan pipa terjadi *fatal error* maka tampilan setelah itu akan tampak seperti pada gambar 3.9 yang ada dibawah ini :



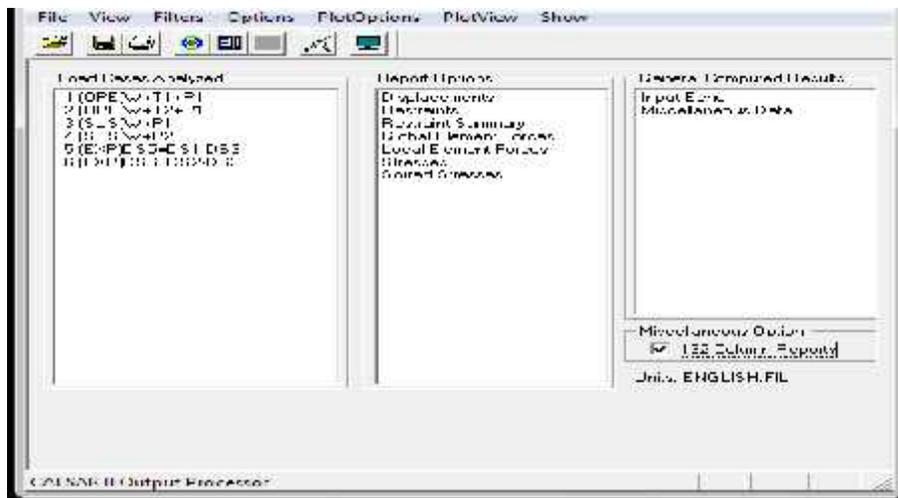
Gambar 3.9 metode elemen hingga menyarankan untuk kembali ke *input* data pipa

Pada gambar 3.9 yang ada diatas perangkat lunak metode elemen hingga menyarankan untuk kembali ke *piping input* karena adanya kesalahan fatal saat pemodelan yang tidak dapat diperbaiki atau dimengerti oleh perangkat lunak tersebut. Apabila ada *error checked* pada perangkat lunak metode elemen hingga maka akan menunjukkan *report error* yang terjadi seperti contoh pada gambar 3.10 dibawah ini :



Gambar 3.10 Adanya *error* pada pemodelan pipa

Error tersebut adalah tidak adanya panjang pipa dari *node* 100 ke 105. Berarti yang dilakukan adalah memberi masukan data panjang pipa dari node 45 ke node 50 seperti yang diminta oleh perangkat lunak metode elemen hingga. Setelah *error* sudah selesai diperbaiki maka dapat dilakukan analisa statik Untuk mengetahui laporan kondisi tegangan (*stress analysis*), displacement dan lain lain, dengan mengklik *ikon view reports* yang berwarna hijau pada gambar 3.11. Dan apabila ingin melihat kondisi tegangan, displacement dan lain-lain dengan bentuk gambar atau animasi klik *ikon display graphical results* yang berada disebelah *ikon view reports*.



Gambar 3.11 Contoh tampilan *output* pipa yang telah dikonversikan

3. Pre procesing :

➤ Variasi Pembebanan

Setelah melakukan *running* dengan menggunakan perangkat lunak metode elemen hingga, maka kita dapat melakukan variasi terhadap pembebanan temperatur operasi dan tekanan operasi. Pada Tabel 3.2 dibawah ini adalah pembebanan pada pipa 20” pada jalur pemipaan gas yang akan dimodelkan dengan menggunakan perangkat lunak metode elemen hingga dengan variasi tekanan sebesar 1000 psi dan 1300 psi serta dengan variasi temperatur pipa sebesar 140 °F dan 160 °F. Dipilihnya variasi terhadap tekanan dan temperature tersebut adalah mengacu pada data material pipa

yang dikeluarkan oleh *standar atau code* yang telah ditentukan yaitu *API 5L X 65*.

Tabel 3.2 Data Variasi model dan pembebanan pada pipa

<i>Pressure (P 1) Desain Psi</i>	<i>Pressure (P 2) operasi Psi</i>	<i>Temperature (T 1) desain °F</i>	<i>Temperature (T 2) operasi °F</i>
1000	1000	140	140
	1300		160

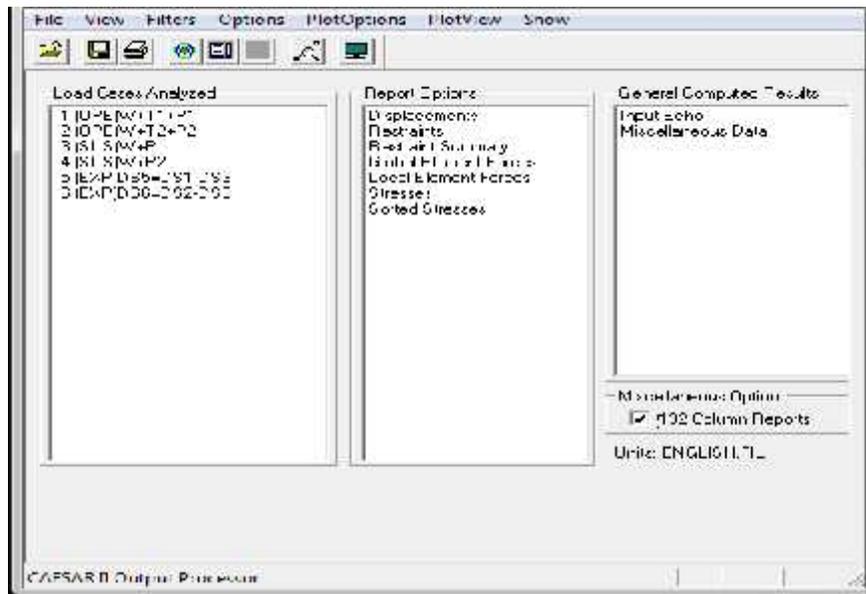
Setelah memasukkan variasi data pembebanan yang diakibatkan oleh temperatur dan tekanan saat operasi, maka akan diketahui tegangan yang terjadi melebihi atau tidak melebihi ratio yang diijinkan sesuai dengan *code* atau ketentuan yang telah ditetapkan oleh *code ASME B31.8*.

➤ Analisa tegangan yang terjadi pada pipa

Analisa tegangan yang terjadi pada pipa ini akan dilakukan dalam dua kondisi pembebanan (*load case*), yaitu sebagai berikut :

1. Analisa tegangan *pipeline* pada saat kondisi operasi. Analisa ini dilakukan setelah pipa beroperasi dan dengan pembebanan saat kondisi operasi ($W+T1+P1$) yang diharapkan tidak melebihi *SMYS* dan *safety factor* yang telah ditentukan oleh *code ASME B31.8*.
2. Analisa tegangan pipa pada saat kondisi operasi. Analisa ini dilakukan setelah pipa beroperasi dan dengan pembebanan saat kondisi operasi ($W+T2+P2$) yang diharapkan tidak melebihi *SMYS* dan *safety factor* yang telah ditentukan oleh *code ASME B31.8*.

Hasil output dari analisa yang ada diatas dapat dilihat seperti pada gambar 3.12 seperti yang ada dibawah ini :



Gambar 3.12 Contoh tampilan *output load case* (kondisi) tegangan pada pipa

Pada gambar yang ditunjukkan diatas adalah Contoh tampilan *output load case* (kondisi) tegangan pada pipa. Setelah dilakukan analisa terhadap kondisi pembebanan seperti yang ada diatas (*load case*), maka tiap-tiap kondisi tegangan yang terjadi juga dapat dianalisa dengan lebih detail dan lebih akurasi dengan mengeluarkan *output* analisa tegangan yang dihasilkan adalah :

a. Tegangan Aksial

Analisa ini digunakan untuk mendapatkan berapa besar tegangan aksial yang terjadi pada pipa dan mengetahui distribusi tegangan aksial maksimum yang terjadi disepanjang pipa.

b. Tegangan Bending

Analisa ini digunakan untuk mendapatkan berapa besarnya tegangan bending yang terjadi pada pipa dan mengetahui distribusi tegangan bending maksimum yang terjadi disepanjang pipa.

c. Tegangan Torsional

Analisa ini digunakan untuk mendapatkan berapa besar tegangan torsional yang terjadi pada pipa dan mengetahui distribusi tegangan torsional maksimum yang terjadi disepanjang pipa.

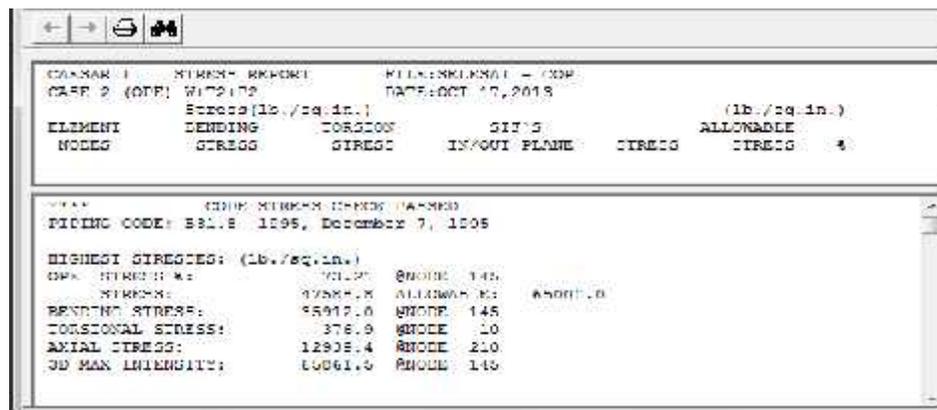
d. Tegangan Tangensial

Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai besarnya tegangan tangensial agar tidak melampaui batas maksimum yang telah ditentukan pada *code ASME B31.8* dan mengetahui distribusi tegangan tangensial maksimum yang terjadi disepanjang pipa.

e. Tegangan Gabungan

Analisa tegangan gabungan atau juga disebut dengan analisa *code stress*. Ini merupakan gabungan dari tegangan aksial, tegangan bending (tegangan longitudinal), tegangan torsional dan tegangan tangensial. Pada tegangan gabungan ini juga tidak diijinkan untuk melebihi batas yang telah ditetapkan oleh *code ASME B31.8*

Hasil *output* dari analisa yang ada diatas dapat dilihat seperti pada gambar 3.13 seperti yang ada dibawah ini, bahwa pipa mengalami beberapa tegangan yang dapat dianalisa dan diketahui letak distribusi tegangan maksimumnya sebagai berikut :



Gambar 3.13 Contoh tampilan output dari tegangan yang terjadi pada pipa akibat *Temperature dan pressure*