

# **DESAIN TEGANGAN PADA JALUR PEMIPAAN GAS DENGAN PENDEKATAN PERANGKAT LUNAK**

**Erinofiardi, Ahmad Fauzan Suryono, Arno Abdillah**

Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu

Jl. W.R. Supratman Kandang Limun Bengkulu

Telepon : (0736) 344087, 22105 - 227

Email : [riyuno.vandi@yahoo.com](mailto:riyuno.vandi@yahoo.com)

## **ABSTRACT**

*Pipeline will follow different route and length, one of these is offshore pipeline. To prevent trouble while operated, one must be done in pipeline design is stress analysis which calculate stress happened in pipeline operation, due to keep maximum stress happened still under allowable stress of pipeline material. This reserach concern on stress analysis of 1497.63 m gas pipeline. Models are done by using finite element method software with some pressures and temperatures discrepancy. Result of this research shows that maximum stress happened 9212.6 psi while pressure is 1000 psi and temperature is 140°F. Meanwhile, at pressure 1400 psi and temperature 160°F, maximum stress is 12387 psi. Both of those stresses is still far below allowable stress of pipeline material so that it can be said pipeline is secure.*

**Keywords:** *Pipeline, Stress Analysis, Allowable stress, Pressure, Temperature*

## **1. PENDAHULUAN**

Pada dasarnya pipa berfungsi untuk mengalirkan fluida (zat cair, gas) dari satu atau beberapa titik ke satu atau beberapa titik lainnya. Salah satu sistem pemipaan adalah *pipeline*, yang digunakan sebagai alat pendistribusian minyak dan gas bumi dalam jumlah besar, melalui jarak dan medan yang sangat beragam, baik melalui jalur darat (diatas permukaan tanah maupun dibawah permukaan tanah), sungai, daerah lepas pantai dan di bawah laut.

Penggunaan *pipeline* bawah laut harus dirancang dan di*install* sedemikian rupa agar dapat menjamin penyaluran hasil eksplorasi dengan aman, efisien dan terhindar dari hal-hal yang tidak diinginkan, seperti kebocoran dan juga ledakan pada pipa. Insiden ledakan yang besar (lebih dari 10 m<sup>3</sup> minyak tumpah ke laut) yang pernah terjadi antara tahun 1970 sampai 1994 diantaranya di Amerika (September 1992), di Mexico (Juni 1979 dan Oktober 1987), di Iran (Desember 1971 dan Februari-Maret 1983), di Arab Saudi (Oktober 1980), di Indonesia (Oktober 1984) dan yang terbesar di Nigeria (Januari

1980) yang mengakibatkan 180 orang meninggal (Holland, P. 1997).

Salah satu penyebab permasalahan tersebut adalah tegangan yang terjadi pada pipa tidak sesuai atau melebihi tegangan izin material yang digunakan dalam perancangan. Oleh karena mengingat pentingnya analisa tegangan pada pipa, maka perlu dilakukan perhitungan perancangan pada salah satu *pipeline*. Analisa tegangan pada pipa dilakukan berdasarkan *code* ASME, salah satunya ASME B31.8, untuk pipa gas. 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.

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 1. berikut ini. (Smith. *et al*, 1987).

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



**Gambar 1.** Perbedaan *Piping* dan *Pipeline* (Fenn, 2012)

*Pipeline* terbagi atas dua lokasi, seperti pada gambar 2. dibawah ini :



**Gambar 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 (*pipeline*) terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan pada saat perancangan, diantaranya adalah menyesuaikan lokasi pipa yang akan di rancang dengan kondisi geometri pipa (tebal pipa, panjang pipa), pembebanan pada pipa dan *standard code* yang digunakan dalam perancangan. Hal ini agar dapat menjamin keamanan pipa yang di rancang dan supaya tegangan yang terjadi

pada pipa berada dibawah tegangan izin materialnya.

*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 perpipaian 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. Diantaranya yang dipakai pada perancangan pipa adalah *Code ASME (American Society of Mechanical Engineers) B31.8* untuk *Gas Transmission and Distribution Pipeline* dan *API (American Petroleum Institute) 5L X65*, dan *Standard ANSI (american National Standard Institute) B16.5* tentang *Pipe Flange and Flanged Fitting*.

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

1. Beban *Internal*

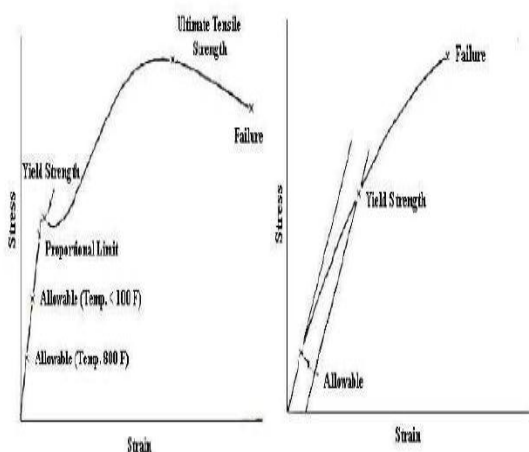
Beban internal merupakan beban yang timbul karena efek dari berat pipa, tekanan dan temperature fluida. Beban internal yang bekerja pada sistem perpipaian antara lain, beban *sustain*, beban *ekspansi* dan beban *operasi*.

## 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.

Dari jenis-jenis beban yang ada pada sistem pemipaan, semua 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.

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 menyesuaikan dengan diagram tegangan-regangan yang ditunjukkan pada gambar 3 berikut ini (Beer. *et al*, 2006) :



**Gambar 3.** Diagram tegangan-regangan baja lunak dan diagram tegangan-regangan bahan getas (Beer. *et al*, 2006)

Pada gambar tersebut 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.

Berdasarkan *code ASME B31.8*, tegangan dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu :

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

### 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 tekan (*pressure stress*). Berikut uraian dari tegangan longitudinal.

Tegangan aksial ( $\sigma_{ax}$ ) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh gaya aksial ( $F_{ax}$ ) yang bekerja searah dengan sumbu pipa (Beer. *et al*, 2006).

$$\sigma_{ax} = \frac{F_{ax}}{A} \quad (1)$$

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

Dimana :

- A = luas penampang pipa
- $d_o$  = diameter luar pipa
- $d_i$  = diameter dalam pipa
- $F_{ax}$  = gaya aksial sepanjang pipa
- $\sigma_{ax}$  = tegangan aksial

Tegangan tekuk ( $\sigma_b$ ) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh momen ( $M$ ) yang bekerja diujung-ujung pipa (Beer. *et al*, 2006)

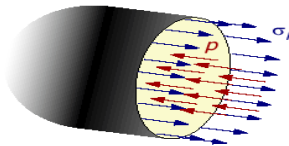
$$\sigma_b = \frac{M c}{I} \quad (3)$$

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

Dimana :

- c = jarak dinding pipa ke sumbu netral
- d<sub>i</sub> = diameter dalam pada pipa
- d<sub>o</sub> = diameter luar pada pipa
- I = momen inersia penampang
- M = moment pada ujung-ujung pipa
- σ<sub>b</sub> = tegangan tekuk

Tegangan longitudinal tekan (σ<sub>lp</sub>) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh gaya tekan *internal* (p) yang bekerja pada dinding pipa searah sumbu pipa.



**Gambar 4.** Tegangan longitudinal tekan pada pipa (Puja, 2011)

Rumus tegangan longitudinal tekan : (ASME B31.8)

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

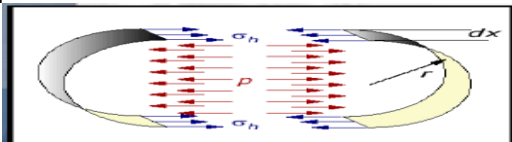
(5)

Dimana:

- A<sub>i</sub> = luas permukaan dalam pipa
- A<sub>m</sub> = luas rata-rata permukaan pipa
- d<sub>o</sub> = diameter luar pipa
- P = tekanan pada pipa
- t = tebal pipa
- σ<sub>lp</sub> = tegangan longitudinal tekan

## 2. Tegangan Tangensial (*Hoop Stress*)

Tegangan tangensial (σ<sub>sh</sub>) ditimbulkan oleh tekanan *internal* yang bekerja secara tangensial dan besarnya bervariasi tergantung pada tebal dinding pipa.



**Gambar 5.** Tegangan tangensial atau tegangan keliling (Puja, 2011)

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

$$\sigma_{sh} = \frac{Pd_1 L}{2tL} = \frac{Pd_1}{2t} = \frac{Pd_o}{2t} \quad (6)$$

Dimana :

- d<sub>o</sub> = diameter luar pipa
- P = tekanan pada pipa
- t = tebal pipa
- σ<sub>sh</sub> = tegangan tangensial (*hoop stress*)

## Komponen Tegangan Geser

### 1. 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 dengan momen inersia polar J pada luas permukaan, tegangan geser torsional pada suatu jarak c dari sumbu poros luas permukaan adalah : (Beer. *et al*, 2006)

$$\sigma_t = \frac{T c}{J} \quad (7)$$

Dimana :

- σ<sub>t</sub> = tegangan geser torsional
- J = *moment inersia polar*
- c = jarak dari sumbu poros .m
- T = torsi .lb/in

## Analisa Tegangan pada Pipa

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

### Tegangan Tangensial (*hoop stress*)

$$|\sigma_{sh}| \leq F_1 S T \quad (8)$$

Dimana :

- F<sub>1</sub> = factor desain tegangan hoop
- S = Tegangan izin material, psi
- T = *temperature derating factor*
- σ<sub>sh</sub> = Tegangan tangensial, psi

## Tegangan Longitudinal (*longitudinal stress*)

$$|\sigma_L| \leq F_2 S \quad (9)$$

$$\sigma_L = \sigma_{ax} + \sigma_b$$

Dimana :

$F_2$  = Faktor desain tegangan longitudinal

$S$  = Tegangan izin material, psi

$\sigma_L$  = Tegangan longitudinal maksimum, psi.

$\sigma_{ax}$  = Tegangan aksial, psi.

$\sigma_b$  = Tegangan Bending, psi

## Tegangan Gabungan (*combined stress*)

$$\left[ \left( \frac{\sigma_L - \sigma_{sh}}{2} \right)^2 + \sigma_t^2 \right]^{1/2} \leq F_3 S \quad (10)$$

Dimana :

$F_3$  = faktor desain tegangan gabungan

$S$  = Tegangan izin material, psi

$\sigma_{sh}$  = Tegangan tangensial, psi

$\sigma_L$  = Tegangan longitudinal maksimum, psi.

$\sigma_t$  = Tegangan torsional, psi

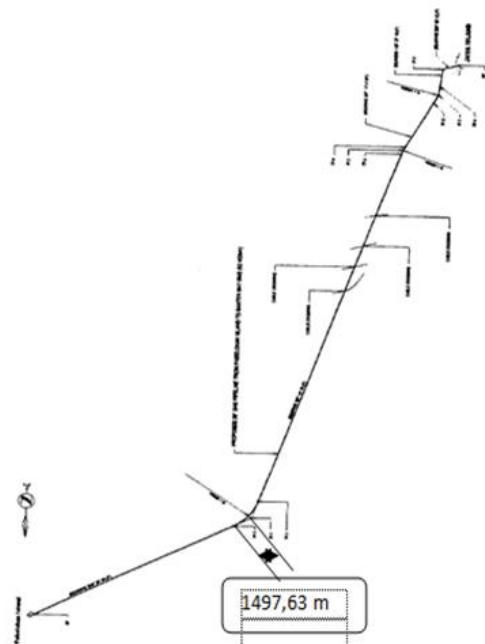
## Perangkat Lunak Metode Elemen Hingga

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).

## 2. METODE EKSPERIMENTAL

Penelitian dimulai dengan pengumpulan data pipa dan lingkungan, mencari nilai ketebalan pipa dan dilanjutkan dengan analisa tegangan yang terjadi. Data yang dipakai pada penelitian ini adalah jalur pemipaan gas dengan panjang 1497,63 m

yang berada dibawah laut (*offshore pipeline*).



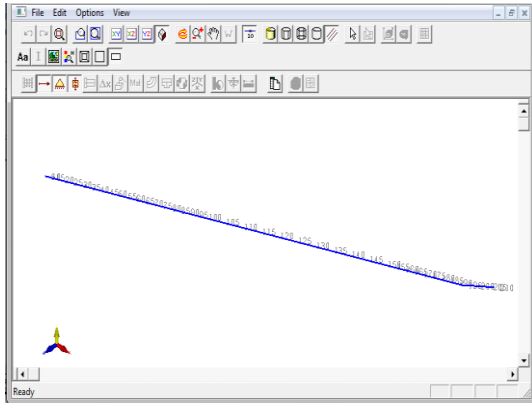
**Gambar 6.** Peta jalur pemipaan gas

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

**Tabel 1.** Data pipa jalur pemipaan gas sepanjang 1497,63 m :

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 %

Setelah melakukan perhitungan manual, proses selanjutnya dalam penelitian ini adalah dengan memodelkan menggunakan metode elemen hingga.



**Gambar 7.** Pemodelan pipa bawah laut

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

**Tabel 2.** Tegangan yang terjadi pada pipa

Temperature (°F)	Pressure (psi)	Tegangan Longitudinal ( $\sigma_L$ ) (psi)	Tegangan Tangensial ( $\sigma_{SH}$ ) (psi)	Tegangan Torsi ( $\sigma_T$ ) (psi)
140	1000	10787.6	20000	29.1
160	1300	13612.9	26000	29.1

1. Tegangan *Tangensial (hoop stress)* :  
Kondisi 1 (temperatur 140<sup>0</sup> F dan tekanan 1000 psi) :

$$|\sigma_{SH}| \leq F_1 S T$$

$$20.000 \text{ psi} \leq 0.72 \times 65.000 \text{ psi} \times 1$$

$$20.000 \text{ psi} \leq 46800 \text{ psi}$$

Kondisi 2 (temperatur 160<sup>0</sup> F dan tekanan 1300 psi):

$$|\sigma_{SH}| \leq F_1 S T$$

$$26.000 \text{ psi} \leq 0.72 \times 65.000 \text{ psi} \times 1$$

$$26.000 \text{ psi} \leq 46800 \text{ psi}$$

Dari perhitungan diatas diketahui bahwa tegangan tangensial yang terjadi pada pipa berada dibawah batas izin materialnya, sehingga pipa aman digunakan.

2. Tegangan *Longitudinal (longitudinal stress)* :

Kondisi 1 (temperatur 140<sup>0</sup> F dan tekanan 1000 psi) :

$$|\sigma_L| \leq F_2 S$$

$$10787.6 \text{ psi} \leq 0.8 \times 65000 \text{ psi}$$

$$10787.6 \text{ psi} \leq 52000 \text{ psi}$$

Kondisi 2 (temperatur 160<sup>0</sup> F dan tekanan 1300 psi) :

$$|\sigma_L| \leq F_2 S$$

$$13612.9 \text{ psi} \leq 0.8 \times 65000 \text{ psi}$$

$$13612.9 \text{ psi} \leq 52000 \text{ psi}$$

Dari perhitungan diatas diketahui bahwa tegangan longitudinal yang terjadi pada pipa berada dibawah batas izin materialnya, sehingga pipa aman digunakan.

3. Tegangan Gabungan (*combined stress*):

Kondisi 1 (temperatur 140<sup>0</sup> F dan tekanan 1000 psi) :

$$\sigma_{gab} = 2 \left[ \left( \frac{\sigma_L - \sigma_{SH}}{2} \right)^2 + \sigma_T^2 \right]^{1/2} \leq F_3 S$$

$$= 2 \left[ \left( \frac{10787.6 - 20000}{2} \right)^2 + 29.1^2 \right]^{1/2} \leq 0.9$$

$$\times 65000 \text{ psi}$$

$$= 2 \left[ \left( \frac{-9212.4}{2} \right)^2 + 846.81 \right]^{1/2} \leq 58500$$

$$\text{psi}$$

$$= 2 [21217078.44 + 846.81]^{1/2} \leq 58500$$

$$\text{psi}$$

$$= 2 [21217925.25]^{1/2} \leq 58500 \text{ psi}$$

$$= 2 \times 4606.3 \leq 58500 \text{ psi}$$

$$= 9212.6 \text{ Psi} \leq 58500 \text{ psi}$$

Kondisi 2 (temperatur 160<sup>0</sup> F dan tekanan 1300 psi) :

$$\sigma_{gab} = 2 \left[ \left( \frac{\sigma_L - \sigma_{SH}}{2} \right)^2 + \sigma_T^2 \right]^{1/2} \leq F_3 S$$

$$= 2 \left[ \left( \frac{13612.9 - 26000}{2} \right)^2 + 29.1^2 \right]^{1/2} \leq 0.9$$

$$\times 65000 \text{ psi}$$

$$= 2 \left[ \left( \frac{-12387.1}{2} \right)^2 + 846.81 \right]^{1/2} \leq 58500$$

$$\text{psi}$$

$$= 2 [38360061.6 + 846.81]^{1/2} \leq 58500$$

$$\text{psi}$$

$$= 2 [38359214.8]^{1/2} \leq 58500 \text{ psi}$$

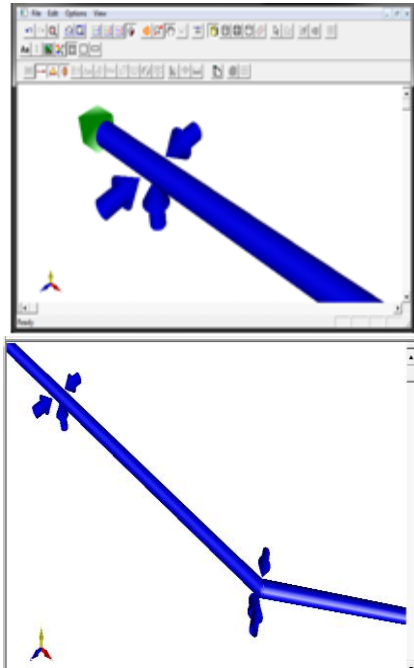
$$= 2 \times 6193.5 \leq 58500 \text{ psi}$$

$$= 12387 \text{ Psi} \leq 58500 \text{ psi}$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan nilai tegangan gabungan yang terjadi pada pipa jauh berada dibawah tegangan izin materialnya, sehingga pipa aman digunakan. Nilai tegangan gabungan pada kondisi 1 sebesar 9212.6 psi dan pada kondisi 2 sebesar 12387 psi, jauh berada

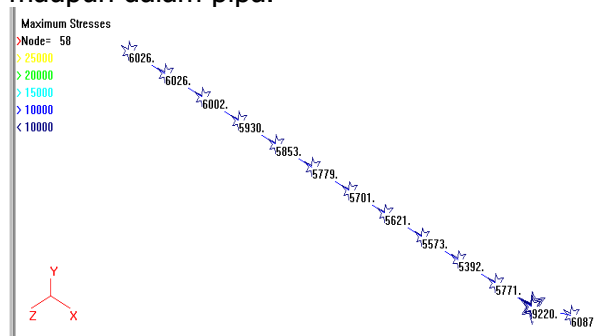
dibawah tegangan izin materialnya yaitu sebesar 58500 psi.

Untuk titik-titik tinjauan tertentu sepanjang jalur pipa, dalam membantu memudahkan perhitungan, desain tegangan dapat dipermudah dengan pemodelan metode elemen hingga.



**Gambar 8.** Plot 3 dimensi pipa

Setelah pipa dimodelkan pembebanan yang terjadi pada pipa dapat ditambahkan dengan variasi pembebanan tekanan dan temperatur operasi. Setelah dilakukan berbagai pembebanan, pipa mengalami tegangan (*stress*) pada tiap-tiap *node*-nya akibat dari beban-beban yang bekerja diluar maupun dalam pipa.



**Gambar 9.** Bagian pipa yang telah mendapatkan pembebanan tekanan dan temperatur (pada gambar ditunjukkan dengan timbulnya tegangan)

Dari hasil pemodelan tersebut dapat diketahui tegangan dan temperatur yang

terjadi disepanjang pipa nilainya bervariasi (tidak selalu sama). Meskipun demikian, semua tegangan yang terjadi disepanjang jalur pipa tersebut tidak ada yang melebihi tegangan izin materialnya, sehingga pipa aman digunakan.

Sehingga dari hasil perhitungan tegangan yang terjadi dan pemodelan pipa pada jalur pemipaan gas sepanjang 1497.63 m, dengan input pembebanan berupa tegangan dan temperatur, jalur pemipaan berada dalam kondisi aman dan tidak melebihi tegangan izin maksimum materialnya. Kondisi desain *pressure* pipa adalah sebesar 1000 psi dengan temperatur operasi desain sebesar 140 °F, dan selanjutnya saat desain *pressure* sebesar 1300 psi dengan temperatur operasi sebesar 160 °F. Dengan hasil tersebut memungkinkan untuk pemakaian pipa dalam jangka waktu yang lama (umumnya pipa dirancang untuk berumur lebih dari 20 tahun)

Namun jika pada hasil perhitungan tegangan yang terjadi melebihi tegangan izin materialnya, pipa tidak aman digunakan, akan mengalami tegangan berlebih dan dapat menyebabkan kebocoran pada pipa bahkan ledakan pipa. Untuk mengatasinya adalah dengan meninjau kembali pemakaian spesifikasi pipa agar memenuhi desain operasi.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1. KESIMPULAN

Dari data dan hasil desain di atas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Tebal dinding pipa didapatkan 0,5 in, sesuai dengan perhitungan code ASME B31.8.
2. Tegangan izin maksimum material API 5L X65 didapatkan 46.800 psi untuk tegangan tangensial, 52.000 psi untuk tegangan longitudinal dan 58.500 psi untuk tegangan gabungan berdasarkan code ASME B31.8.
3. Tegangan yang terjadi di sepanjang jalur pipa tidak melebihi tegangan yang

diizinkan untuk material API 5L X65 dengan diameter 20 in sehingga aman digunakan.

#### 4.2. SARAN

Dalam penelitian selanjutnya untuk jalur pemipaan bawah laut perlu dilakukan perhitungan tegangan akibat pengaruh beban luar seperti pemasangan anchor (*pipe support*) dan pengaruh tekanan dari air laut dalam dan gaya dari arus laut dalam.

#### Pustaka

- American Petroleum Institute. 2000. *API Spec 5L: Specification For Line Pipe 42nd Edition*.
- Anonim. 2011. Definisi 'Pipa'. Jakarta. <http://www.artikata.com/arti-138229-pipa.html> (diakses: Agustus 2013)
- ASME B31.8 Code. 2003. *Gas Transmission and Distribution piping System*. USA: New York.
- Beer Ferdinand P. et al. 2006. *Mechanics of Materials*. Fourth Edition. McGraw-Hill.
- Donny. 2009. *Sistem Pemipaan dan Perusahaan EPC*. Metode Input Trunion.
- Fenn, Donna. 2012. *Pipeline*. New York. [www.pipeline.system.com](http://www.pipeline.system.com) (diakses: agustus 2013)
- Liu, H. 2005. *Pipeline Engineering*. Boca Raton: Lewis Publishers CRC Press Company.
- Mohitpour, M. et al. 2000. *Pipeline Design & Construction*. Second Edition McGraw-Hill.
- Hutagalung, Michael. 2011. *Pengantar Finite Element Method*. Jakarta. <http://www.toodoc.com/finite-elements-ppt.html> (diakses: Juli 2013)
- Parisher Roy A. et al. 2002. *Pipe Drafting And Design*. Second Edition Butterworth-Heinemann
- Puja, Wiratmaja. 2011. *Perancangan & Konstruksi Sistem Perpipaan*. ITB.
- Puruhita, Andrey. 2010. *Tutorial Perangkat Lunak Elemen Hingga*.
- Smith, Paul R. et al. 1987. *Piping and Pipe Support Systems*. McGraw-Hill.