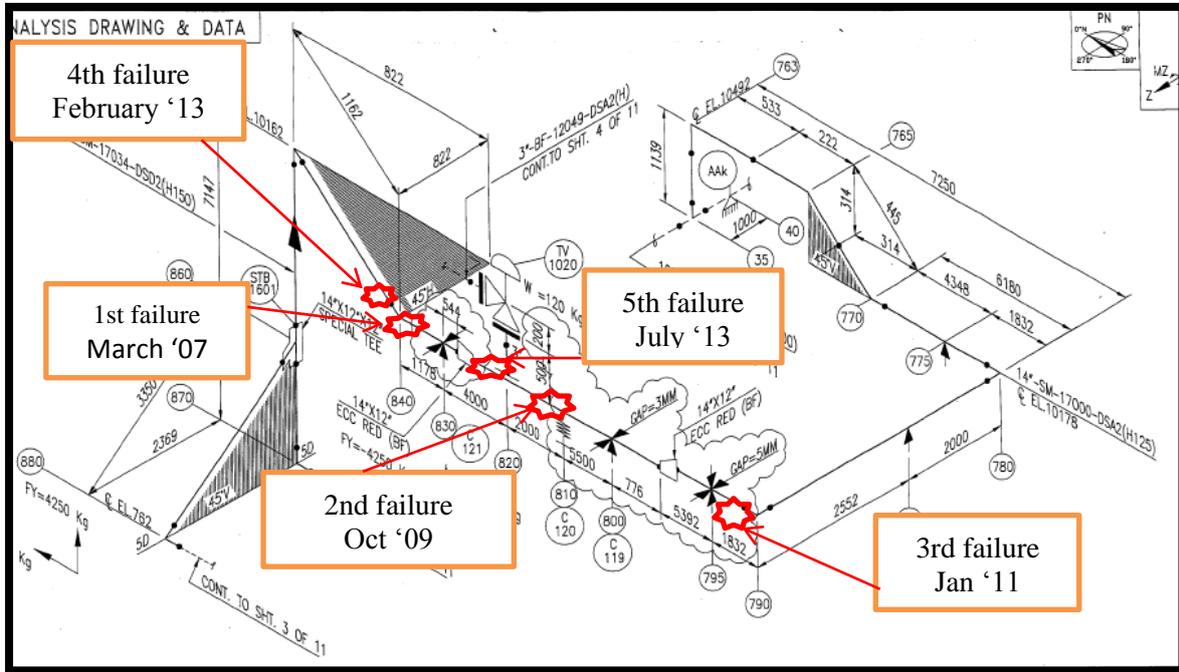


# Laporan Tugas Akhir

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Lokasi dan kondisi terjadinya kegagalan pada sistem pipa



Gambar 2.1 Riwayat Terjadinya Kegagalan Pada Sistem Perpipaan

Kegagalan yang terjadi di PLTU terjadi lima kali mulai dari maret 2007 sampai juli 2013 dapat dilihat pada gambar 2.1. Kegagalan tersebut ditandai dengan kebocoran dan pergeseran atau perpindahan pada pipa. Oleh karena itu dibutuhkan perhitungan kembali analisis tegangan pipa untuk mengetahui penyebab dan solusi untuk permasalahan kali ini.

#### 2.1.1 Kondisi Menurut Lapangan

Pada titik 830 memakai *sliding support* berupa klem support, Support terangkat sejauh 40 mm, dan bergeser ke arah utara 150 mm.



Gambar 2.2 Kondisi Node 830

## Laporan Tugas Akhir

---

Pada titik 820 memakai *sliding support* berupa klem support, Support terangkat sejauh 30 mm, dan bergeser ke arah selatan 60 mm.



Gambar 2.3 Kondisi Node 820

Pada titik 810 memakai *spring support*, Support terangkat sejauh 30 mm, dan bergeser ke arah selatan.



Gambar 2.4 Kondisi Node 810

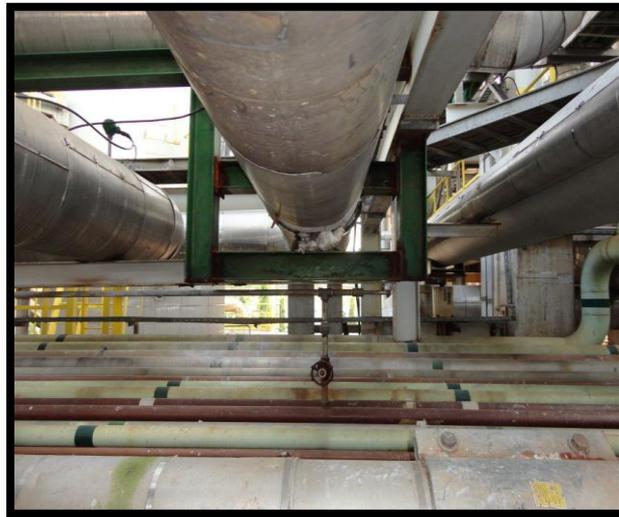
Pada titik 800 memakai *sliding support*, Support terangkat sejauh 110 mm, dan bergeser ke arah selatan.



Gambar 2.5 Kondisi Node 800

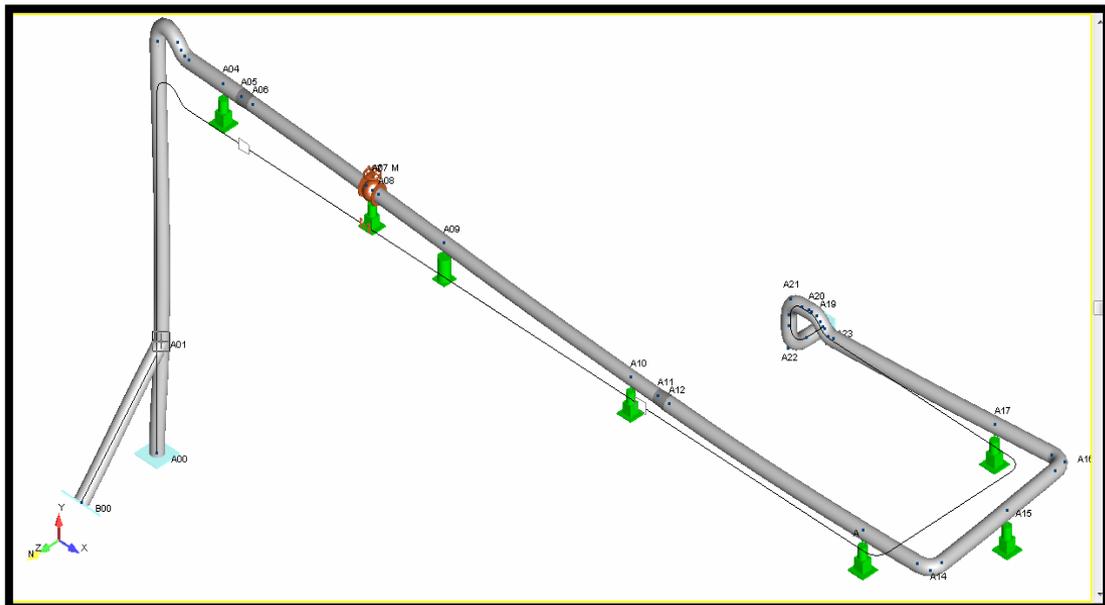
# Laporan Tugas Akhir

Pada titik 795 memakai *guide support* , gap hanya pada guide sebelah barat sebesar 2 mm sementara yang lainnya menempel pada *beam*



Gambar 2.6 Kondisi Node 795

## 2.2 Spesifikasi Desain Pipa Menurut Lapangan



Gambar 2.7 Desain Pipa Menurut Lapangan

Spesifikasi dari desain pipa

Panjang pipa = 159.97 ft

Jenis tumpuan = *constan support* dan *hanger spring* .

Material pipa = astm a 335 p.11 sch 80

temperatur = 752 °F

# Laporan Tugas Akhir

The screenshot shows a 'Pipe Properties' dialog box with the following fields and values:

Pipe Identifier :	14"	Schedule :	80
Tag No. :		Wall thickness :	0.750
Nominal Diameter:	14.000	Mill tolerance :	0.094
Actual O.D. :	14.0000	Insul material :	Calc
Corrosion Allow :	0.064	Insul density :	11.00
Insul thickness :	4.92	Clad material :	
Clad thickness :	0.00	Clad density :	
Lining thickness:	0.00	Lining density :	
Line Class :			
Specific gravity of contents :	0.000	Suppress low temp warnings:	<input type="checkbox"/>
Pipe Material :	A335-P11	Composition :	Carbon
Long weld E fac:	1.00	Long weld WL fac:	User 1.00
Stress range factor :	1.00	Long modulus :	29.7000
		Hoop modulus :	29.7000
Cold allowable :	20000.00	Shear modulus :	11.4231
Minimum yield :	30000.00	Density :	489.0
Ultimate :	60000.00	Poisson's ratio :	0.3000

Buttons: OK, Cancel, Help

Gambar 2.8 *Pipe Properties*

## 2.3 *Piping Stres Analysis*

Tujuan utama dari *piping stress analysis* adalah untuk memastikan beberapa hal seperti Keselamatan sistem perpipaan termasuk semua komponennya, Keselamatan sistem peralatan yang berhubungan langsung dengan sistem perpipaan dan struktur bangunan pendukung sistem tersebut, defleksi pipa agar tidak melebihi limitasinya. Adapun beberapa macam mode kegagalan yang bisa terjadi pada suatu sistem perpipaan, Para *piping engineer* bisa melakukan tindakan pencegahan untuk melawan mode kegagalan tersebut dengan melaksanakan *stress analysis* berdasarkan ketentuan dan aturan dalam dunia perpipaan. Dua macam mode kegagalan yang biasa terjadi pada pipa adalah sebagai berikut:

- Kegagalan karena tegangan *yield* (material melebihi deformasi plastis)
- Kegagalan karena *fracture* (material patah sebelum sampai batas tegangan luluhnya)

*Static stress analysis* adalah sebuah analisa perhitungan pada pipa untuk memastikan nilai dari semua tegangan (*stress*) akibat beban statis tidak melebihi dari limitasi yang diatur oleh aturan atau standar tertentu. Biasanya, pada *piping engineer* menggunakan aturan (*standard*) yaitu ASME B31.3 sebagai panduan untuk melakukan dan menganalisa *static stress*. ASME

---

## Laporan Tugas Akhir

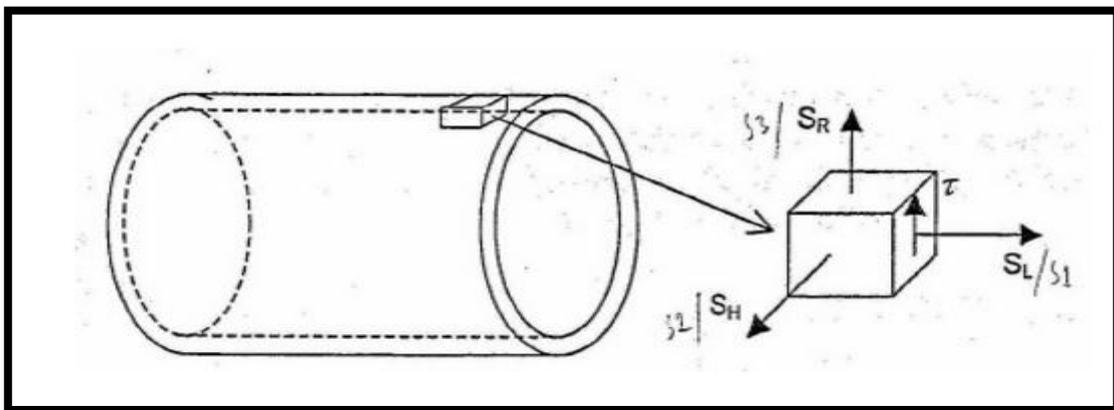
---

B31.3 mengatur semua masalah perpipaan mulai dari limitasi properti yang dibutuhkan, sampai pada pembebanan yang memperhitungkan kondisi *pressure*, berat *struktur* dan komponennya, gaya *impact*, gaya *angin*, gaya gempa bumi secara *horizontal*, getaran (*vibrasi*), *thermal expansion*, perubahan suhu serta perpindahan posisi tumpuan *anchor*.

Pendekatan dalam metode perhitungan stress analysis makin menunjukkan kemajuan ketika R. H. Tingey dalam tulisannya berjudul “*Method Of Calculation Thermal Expansion Stresses In Piping*” pada tahun 1934 memperkenalkan apa yang disebut dengan “*Virtual Center Of Gravity Or Elastic Center*”. Salah satu tonggak keberhasilan pengembangan perhitungan *stress analysis* adalah ketika departemen *engineering* dari perusahaan *Standard Oil Co ( Indiana )*, menampilkan dalam bentuk laporan internal perusahaan pada tahun 1932, yang pada intinya mengatakan bahwa koefisien bentuk dari planalar tambahan adalah merupakan turunan dari bentuk dasar melalui proses permutasi lingkaran dari sumbu koordinat. Hal ini kemudian ditampilkan pada edisi pertama buku “*Design Of Piping Systems*” oleh The M. W. Kellogg Company pada tahun 1941. Pada buku tersebut, juga diberitakan bahwa sebagai tambahan dari pendekatan yang murni teknikal analysis, maka pada tahun 1945 dikenalkanlah metode *grapho-analytical* oleh S.Crocker dan A.McCutchan pada buku *Piping Handbook* terbitan McGraw-Hill Book Co, New York.

### 2.4 Pengaruh Tegangan Terhadap Pipa

Tegangan adalah besaran vektor yang selain memiliki nilai juga mempunyai arah. Nilai dari tegangan didefinisikan sebagai gaya (F) per satuan luas (A). Untuk mendefinisikan arah pada tegangan pipa, sebuah sumbu prinsip pipa dibuat saling tegak lurus seperti terlihat pada gambar di bawah ini



Gambar 2.9 Prinsip Tegangan

## Laporan Tugas Akhir

Sumbu yang terletak di bidang tengah dinding pipa dan salah satu arahnya yang sejajar dengan panjang pipa disebut sumbu *axial* atau *longitudinal*. sumbu yang tegak lurus terhadap dinding pipa dengan arahnya bergerak dari pusat pipa menuju keluar pipa disebut sumbu radial. sumbu yang sejajar dengan dinding pipa tapi tegak lurus dengan sumbu axial disebut dengan sumbu tangensial atau sirkumferensial.

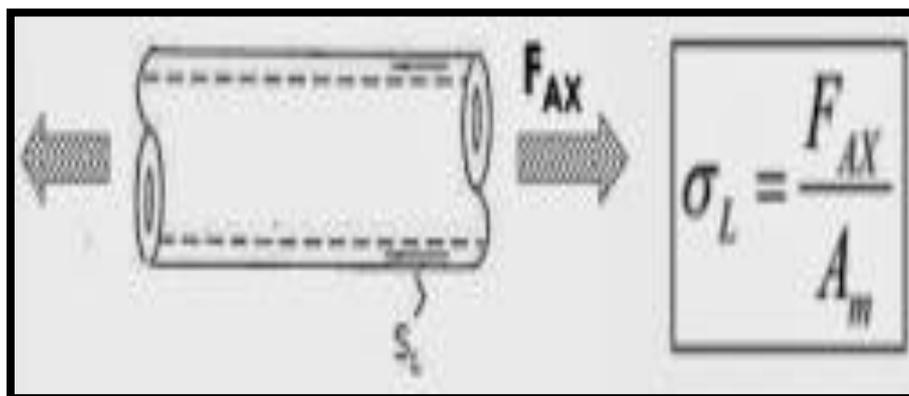
Analisa Tegangan pipa adalah suatu metode terpenting untuk meyakinkan dan menetapkan secara numerik bahwa sistem perpipaan dalam *engineering* adalah aman, atau suatu cara perhitungan tegangan (*stress*) pada pipa yang diakibatkan oleh beban statis dan beban dinamis yang merupakan efek resultan dari gaya gravitasi, perubahan temperatur, tekanan di dalam dan diluar pipa, perubahan jumlah debit fluida yang mengalir di dalam pipa dan pengaruh gaya seismik.

Analisa tegangan pipa dilakukan untuk memastikan rute pipa, beban pada nozzle, dan penyangga (*support*) pipa telah dipilih dan diletakkan tepat pada tempatnya sehingga tegangan (*stress*) yang terjadi tidak melebihi batas besaran maksimal tegangan yang diatur oleh Code dan *Standard Internasional* (ASME, ANSI, API, DNV dan lain-lain). Melakukan sebuah analisa tegangan pipa biasanya para *piping engineer* memakai pendekatan *finite element method* dengan memakai beberapa *software* umum di dunia perpipaan yaitu caesar II, AutoPipe. Dalam tugas akhir ini akan digunakan AutoPIPE.

### 2.4.1 Tegangan Yang Terjadi

Tegangan yang terjadi dapat di bedakan menjadi 2 jenis yaitu :

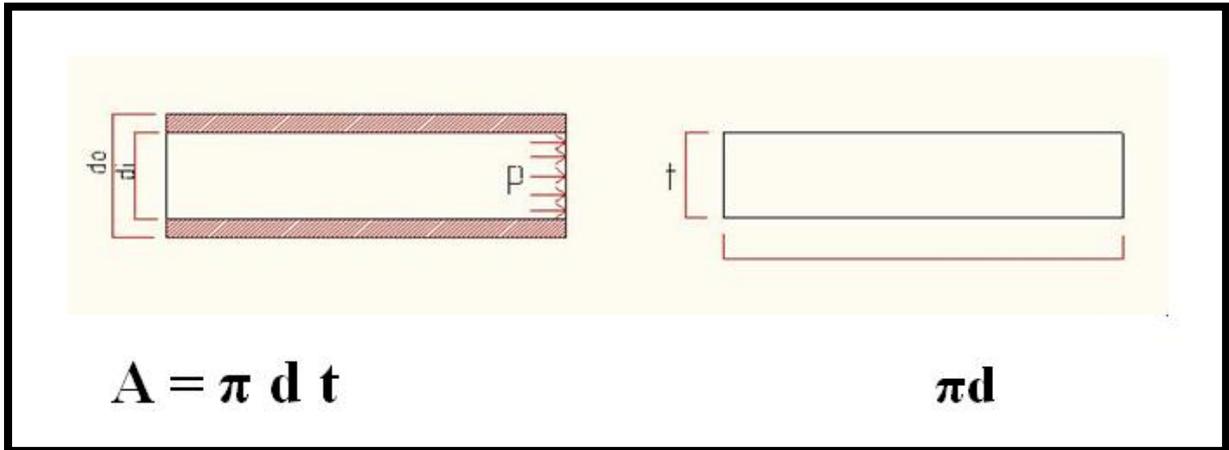
1. Tegangan Longitudinal / *longitudinal stress*



Gambar 2.10 Tegangan Longitudinal

## Laporan Tugas Akhir

Tegangan longitudinal adalah tegangan yang arahnya sejajar dengan pipa seperti gambar 2.10 , gaya tersebut paralel dengan arah pipa. dapat di samakan pula dengan arah aksialnya, tapi perlu di bedakan Antara beban dengan tegangan seperti gambar 2.11



Gambar 2.11 Arah Tekanan Dalam Pipa

F = tekanan X luas penampang

$$= P \cdot \frac{\pi d^2}{4}$$

$$\sigma_h = \frac{F}{A} = \frac{P \frac{\pi d^2}{4}}{\pi d t} = \frac{P \cdot d}{4 \cdot t}$$

(2.1)

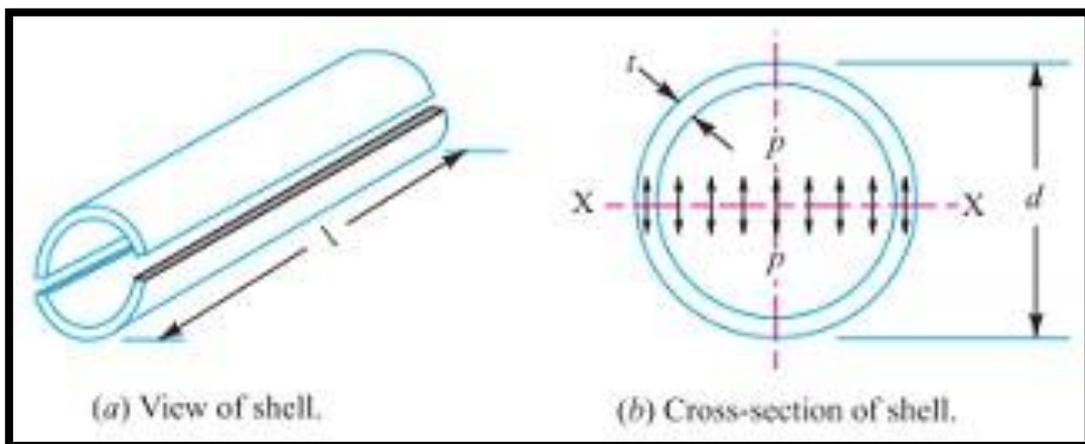
Dimana :

P = tekanan (Psi)

$\sigma_h$  = tegangan (lbf/in<sup>2</sup>)

t = tebal pipa (in)

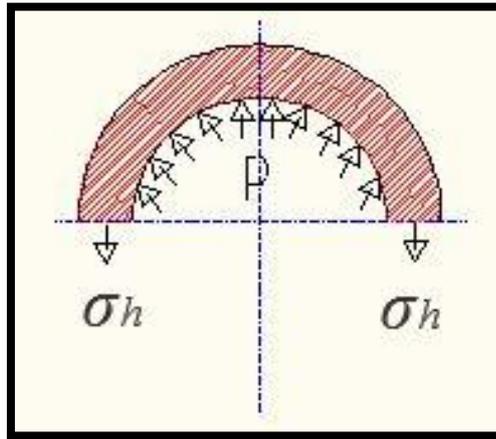
### 2 Circumferential stress atau hoop stress



Gambar 2.12 hoop stress

## Laporan Tugas Akhir

Tegangan *circumferintal* atau sebagian menyebutnya juga dengan *hoop* seperti gambar 2.12, yaitu tegangan yang arahnya tangensial terhadap area potong pipa. maksudnya seperti ini, kalau keadaan yang lebih buruk maka *circumferintal* ini akan membelah pipa menjadi dua bagian. Gaya yang membelah pipa itulah gaya *cirkumferintal*, kalau kita lihat pada lasan pipa, di situlah kira-kira gaya *hoop stress* yang akan terjadi. *Circumferintal strees* kadang dikenal dengan *tangensial stress* seperti gambar 2.13.



Gambar 2.13 *Circumferintal Stress*

$$\sum F_y = 0$$

$$p \cdot d - (\sigma_h + \sigma_h) \cdot t = 0$$

$$p \cdot d - 2\sigma_h \cdot t = 0$$

$$\sigma_h = \frac{p \cdot d}{2t} \quad (2.2)$$

keterangan :

P = tekanan (Psi)

$\sigma_h$  = tegangan *hoop* (lbf/in<sup>2</sup>)

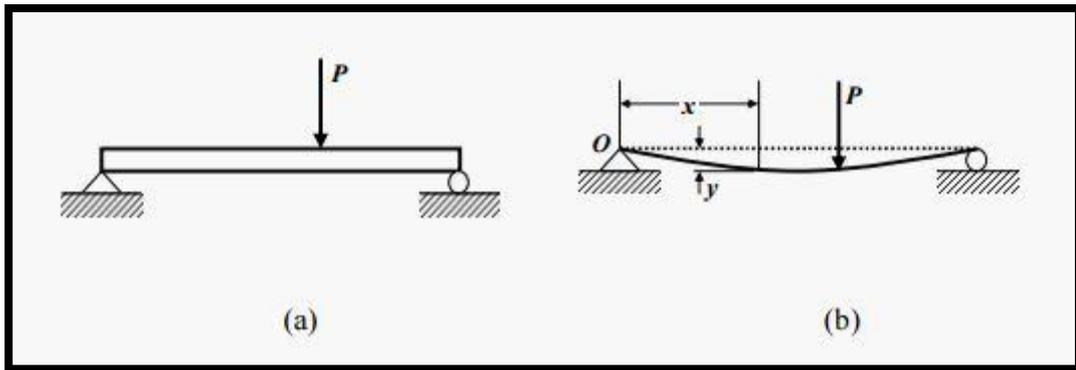
t = tebal pipa (in)

Setelah menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2 maka di dapat hoop stress sebesar 6972.18 Psi dan longitudinal stress sebesar 3486.09 Psi, selanjutnya dibandingkan dengan tegangan dari material ASTM A 335 P 11, sehingga didapat *tensile strength* 60190.66 Psi dan tegangan *yeild strength* 29732.73 Psi. Kesimpulannya tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan dari material tersebut, sehingga penggunaan material tersebut aman.

## Laporan Tugas Akhir

### 2.5 Defleksi Pada Pipa

Defleksi adalah perubahan bentuk pada Pipa dalam arah y akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada Pipa. Deformasi pada Pipa secara sangat mudah dapat dijelaskan berdasarkan defleksi Pipa dari posisinya sebelum mengalami pembebanan. Defleksi diukur dari posisi awal ke posisi akhir setelah terjadi deformasi. Konfigurasi yang diasumsikan dengan deformasi permukaan awal dikenal sebagai kurva elastis dari Pipa. Gambar memperlihatkan Pipa pada posisi awal sebelum terjadi deformasi dan Gambar adalah Pipa dalam konfigurasi terdeformasi yang diasumsikan akibat aksi pembebanan.



Gambar 2.14 (a) Pipa sebelum terjadi deformasi,(b) Pipa dalam konfigurasi terdeformasi

Defleksi karena beban merata dari berat pipa nya dapat di lihat pada gambar 2.15 di bawah ini. cara perhitungan defleksi dapat di lihat pada persamaan di bawah ini :

$$\delta = \frac{q \cdot L^3}{8 \cdot E \cdot I} \quad (2.3)$$

Dimana:

q = berat pipa persatuan panjang (lb/ft)

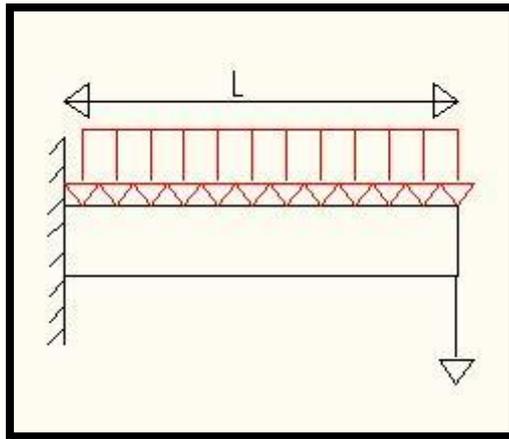
L = panjang pipa (ft,in)

E = modulus elastisitas pipa (Psi)

I = momen inersia (in<sup>4</sup>)

## Laporan Tugas Akhir

---



Gambar 2.15 Pembebanan Pipa Menyeluruh

Defleksi karena beban yang diberikan dapat dilihat pada gambar 2.16 di bawah ini .  
cara perhitungan defleksi dapat dilihat pada persamaan di bawah ini :

$$\delta = \frac{p \cdot L^3}{6 \cdot E \cdot I} \quad (2.4)$$

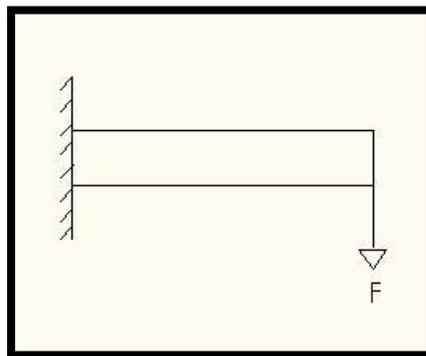
Dimana :

p = beban (lb)

L = panjang pipa (ft,in)

E = modulus elastisitas pipa (psi)

I = momen inersia ( $in^4$ )



Gambar 2.16 Pembebanan Pada Ujung Pipa

Pertambahan panjang pada pipa karena temperatur dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$e = \frac{\Delta L}{L}$$

## Laporan Tugas Akhir

$$\Delta L = e \cdot L$$

$$e \cdot L = \alpha \cdot \Delta T$$

$$\Delta L = \alpha \cdot \Delta T$$

$$e = \alpha \cdot \Delta T \quad (2.5)$$

Dimana :  $e$  = pertambahan panjang (in)

$\alpha$  = koefisien thermal material (in/100ft)

$T$  = temperatur ( $^{\circ}$ F)

Pengaruh temperatur pada Pipa akan menimbulkan pertambahan panjang biasanya di sebut dengan elongasi. Pada tugas akhir ini menggunakan material ASTM A355 P11 dengan keterangan material propertis seperti gambar 2.17

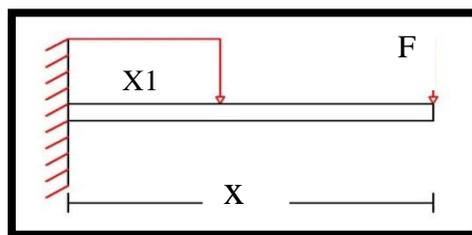
Mechanical properties for ASTM A355 P11	
Properties	Data
Tensile strength, min, (MPa)	415 Mpa
Yield strength, min, (MPa)	205 Mpa
Elongation, min, (%), L/T	30/20

Gambar 2.17 *Material Properties*

Elongasi pada material ini 30% artinya material tersebut bertambah panjang maksimal 36 mm sedangkan pada data dari perusahaan pertambahan panjang terbesar adalah 150 mm sehingga dapat di simpulkan kegagalan tersebut diakibatkan oleh ekspansi thermal atau bertambah panjang karena temperatur.

### 2.6 Reaksi Tumpuan

Dari suatu sistem perpipaan yang menerima kondisi pembebanan statik harus ditumpu dengan tumpuan jenis tumpuan statik. Beberapa tipe tumpuan yaitu tipe *slide shoe*, *guide* dan *anchor*. Salah penempatan tumpuan pada sistem perpipaan yang menerima kondisi pembebanan statik dapat menyebabkan terjadinya kegagalan pada sistem perpipaan tersebut.



Gambar 2.18 Diagram Benda Bebas

## Laporan Tugas Akhir

---

Mencari reaksi tumpuan dan momen pada gambar 2.18 dapat dilihat pada persamaan 2.6 dan persamaan 2.7 .

$$R_f = (q \cdot x) + F \quad (2.6)$$

$$M = (q \cdot x \cdot x_1) + F \cdot x \quad (2.7)$$

Dimana :

q = berat pipa (lbf)

X = panjang pipa (in)

X1= panjang tengah pipa (in)

F = gaya yang diberikan (lbf)

### 2.7 Pemasangan *Expansion Loop* Pada Sistem perpipaan.

Pemasangan *expansion loops* yang diperlukan oleh sistem pipa dalam arah tegak lurus untuk menyerap ekspansi termal yang terjadi seperti gambar 2.19. *Expansion loops* lebih aman dibandingkan dengan *expansion joints*, tetapi memerlukan lebih banyak ruang.



Gambar 2.19 *Expantion Loop*

Manfaat pemasangan *expansion loop* adalah sebagai berikut :

1. Mencegah kegagalan pipa atau tumpuan akibat *overstress/fatigue*.
2. Mencegah kebocoran pada sambungan.
3. Mencegah terjadinya distorsi pada pipa atau pada sambungan dengan peralatan lain (pompa, vessel), yang diakibatkan oleh adanya gaya dan momen yang berlebih pada sistem perpipaan.

# Laporan Tugas Akhir

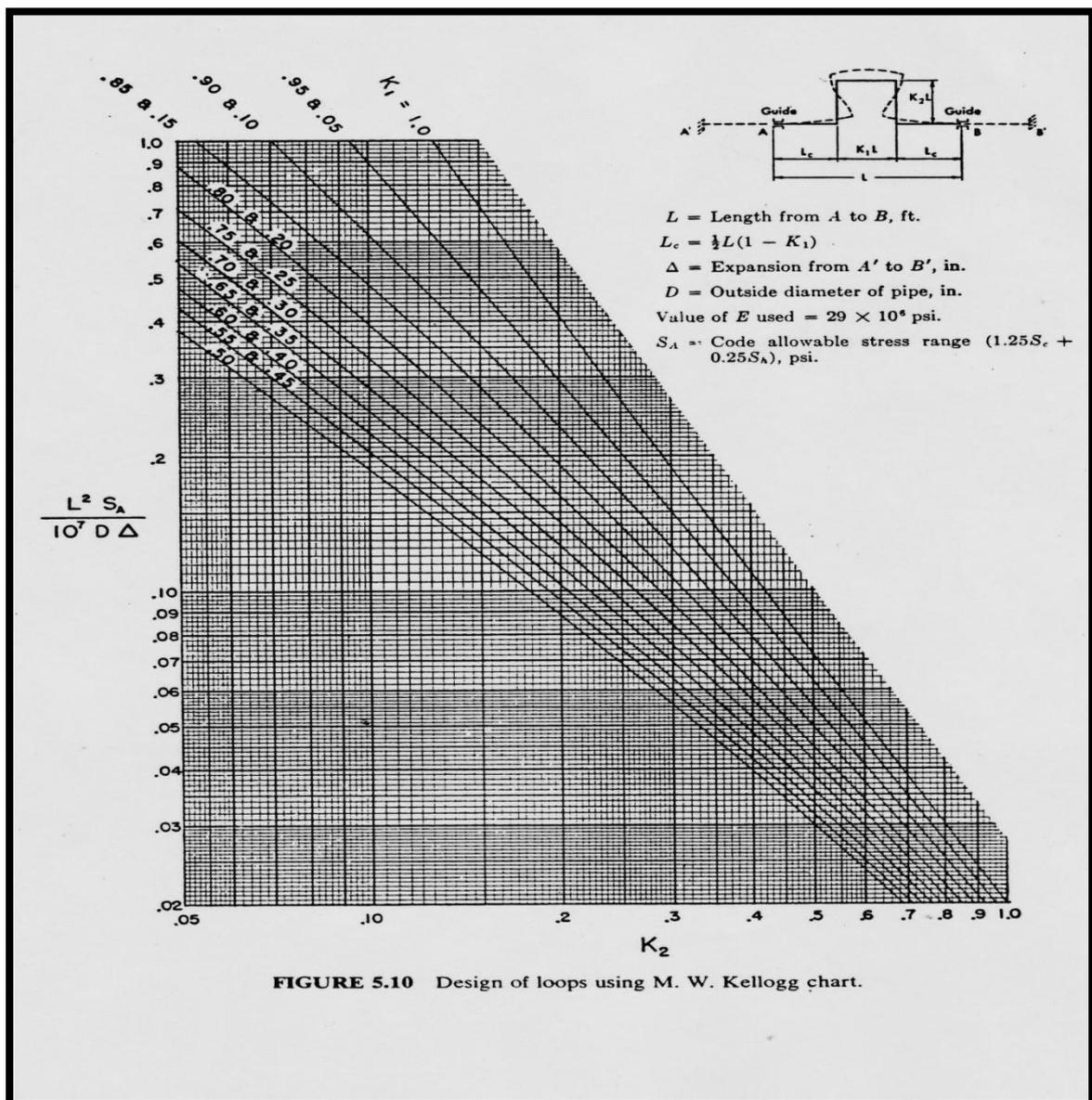
## 2.7.1 Perancangan *Expansion Loop*

Langkah pertama dalam pengerjaan perancangan *Expansion Loop* haru menentukan besaran atau harga dari loop sendiri. Berikut langkah-langkah sebagai berikut :

Langkah pertama menentukan tinggi dan lebar loop beserta panjang kaki loop dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{l^2 \times S_A}{10^7 \times D \times \Delta} \quad (2.8)$$

Setelah hasil tersebut didapat maka hasil tersebut dipakai untuk menentukan besaran k1 dan k2 pada gambar 2.12 berikut :



Gambar 2.20 Curves Desain Of Loop

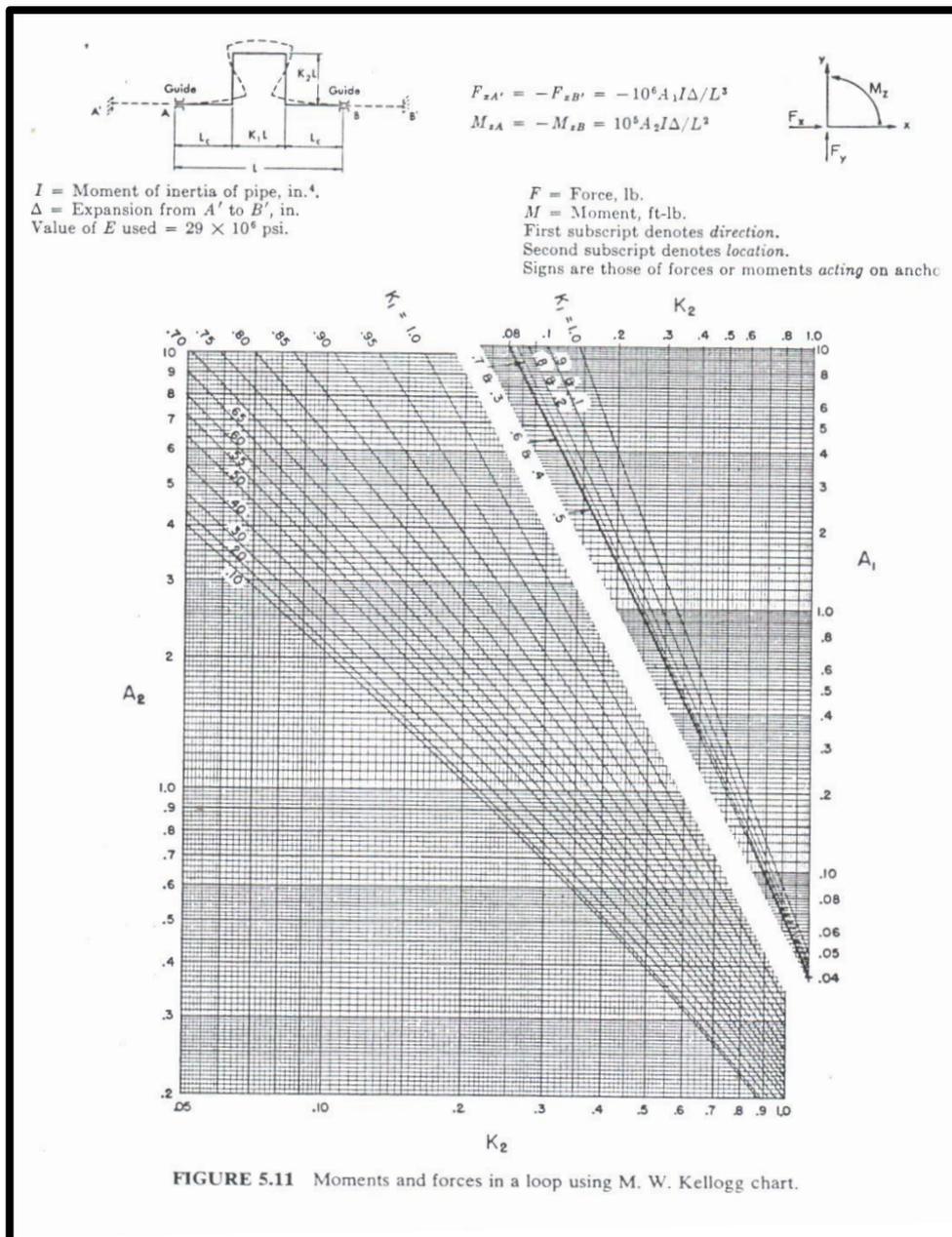
## Laporan Tugas Akhir

Persamaan atau besaran  $k_1$  dan  $k_2$  digunakan untuk mencari  $H$  dan  $W$ . dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut :

$$w = k_1 \times l \tag{2.9}$$

$$H = k_2 \times l \tag{2.10}$$

Setelah merancang loop kemudian menghitung ulang reaksi tumpuan beserta perpindahan berdasarkan *AutoPIPE* dan metode *kellogg*. Berikut penjelasan mengenai perhitungan reaksi tumpuan.



Gambar 2.21 Curves Desain Of Loop

## Laporan Tugas Akhir

---

$$f_A = \frac{10^6 x A_1 x \Delta}{L^3} \quad (2.11)$$

Dimana :

F = reaksi tumpuan (lbf)

$\Delta$  = *expansi thermal* (in)

L = panjang pace pipa (°F)

Untuk mencari A1 dapat dilihat pada gambar 2.21.