

**BAB II**  
**DASAR TEORI**

**2.1. Teori Tegangan – Regangan Umum**

Untuk merancang sistem perpipaan yang baik dan benar, seorang *engineer* harus memahami perilaku sistem perpipaan akibat pembebanan dan regulasi yang mengatur perancangan sistem perpipaan itu sendiri. Perilaku pada sistem perpipaan antara lain digambarkan dengan parameter-parameter fisik berikut, seperti : perpindahan, percepatan, tegangan, gaya, momen, dan besaran-besaran lainnya. Kegiatan di dalam *engineering* untuk memperoleh perilaku sistem perpipaan ini dikenal dengan analisis tegangan pipa.

Tegangan ( $\sigma$ ) dalam suatu elemen mesin adalah besarnya gaya yang bekerja tiap satuan luas penampang. Tegangan dapat diketahui dengan melakukan pengujian, dan besarnya kekuatan sangat tergantung pada jenis material yang diuji. Bahan yang sering dan umum digunakan adalah baja (*steel*). Rumus untuk mencari nilai tegangan, yaitu:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan :

- $\sigma$  = Tegangan ( $N/m^2$ )
- F = Gaya yang diberikan (N)
- A = Luas penampang ( $m^2$ )

Regangan ( $\epsilon$ ) merupakan perubahan panjang per satuan panjang awal. Regangan rata-rata dinyatakan oleh perubahan panjang dibagi dengan panjang awal, atau secara matematis dapat dituliskan :

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

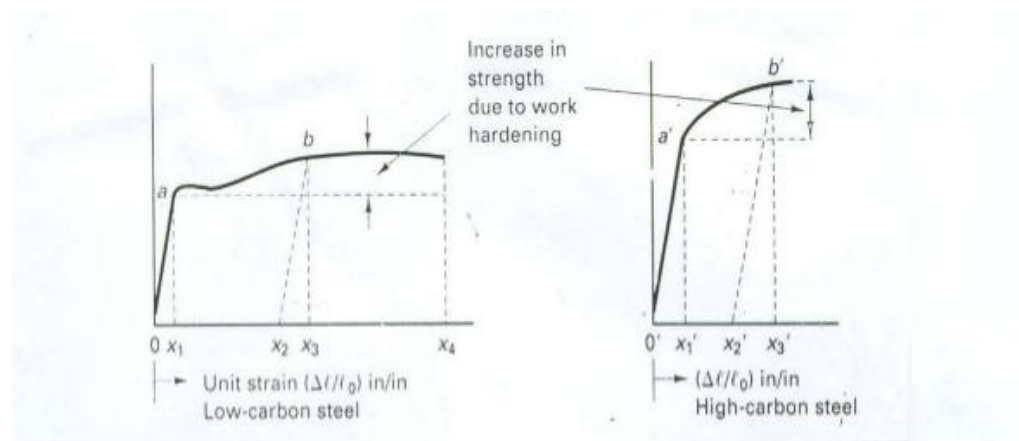
$\varepsilon$  = Regangan

$\Delta L$  = Perubahan panjang batang (m)

$$= L_1 - L$$

$L_1$  = Akhir panjang batang (m)

$L$  = Panjang batang awal (m)



**Gambar 2.1.** Kurva Tegangan – Regangan untuk Baja Karbon. Pradana (2014)

1. Titik a adalah batas proporsional
2. O – B adalah daerah elastis, dimana :
  - Regangan (deformasi = perubahan bentuk) akan sebanding dengan tegangan yang bekerja :

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \text{ (Hukum Hooke)}$$

Dengan :  $\sigma$  = Tegangan

$E$  = Modulus elastisitas

$\varepsilon$  = Regangan

Apabila beban tidak bekerja lagi, maka material akan kembali ke bentuk semula.

3. X2 – X3 adalah daerah plastis, dimana :
  - Tegangan yang bekerja melampaui kekuatan luluh (*yield strength*)

material, maka perubahan bentuk yang terjadi akan permanen meskipun beban ditiadakan.

4. X4 adalah daerah tegangan material tertinggi, dimana :
  - Tegangan mencapai harga kekuatan tarik (*tensile strength*) material, maka material akan mengecil di bagian tertentu dan akhirnya patah/putus.

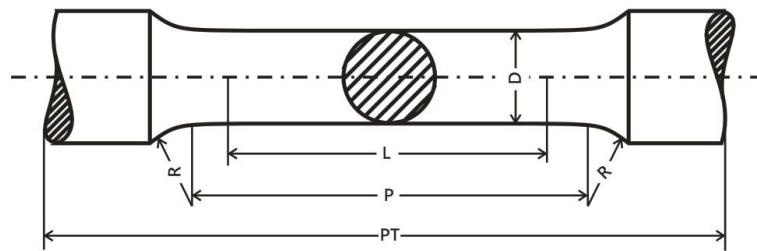
## **2.2. Macam-macam Tegangan yang Terjadi Pada Suatu Material**

### **2.2.1. Tegangan Normal**

Syidad (2016) mengatakan tegangan normal ( $\sigma$ ) adalah intensitas gaya yang bekerja normal (tegak lurus) terhadap irisan yang mengalami tegangan. Bila gaya-gaya luar yang bekerja pada suatu batang yang sejajar terhadap sumbu utamanya dan potongan batang penampang tersebut konstan, tegangan internal yang dihasilkan adalah sejajar pada sumbu-sumbu tersebut. Terdapat beban-beban yang menyebabkan terjadinya tegangan normal, yaitu:

#### **A. Gaya Tarik**

Kekuatan dari gaya tarik dapat diperoleh dengan melakukan percobaan uji tarik terhadap spesimen yang mempunyai luas penampang A dan panjang L, seperti ditunjukkan pada gambar 2.3. Spesimen dijepit pada mesin uji lalu diberikan gaya tarik berlawanan arah, hingga spesimen tersebut putus. Spesimen tersebut akan mengalami yang disebut pertambahan panjang ( $\Delta_L$ ) dan pengecilan luas penampang pada bagian yang memiliki kekuatan yang lebih besar.



**Gambar 2.2.** Spesimen Uji Tarik. Ceper (2011)

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2.3)$$

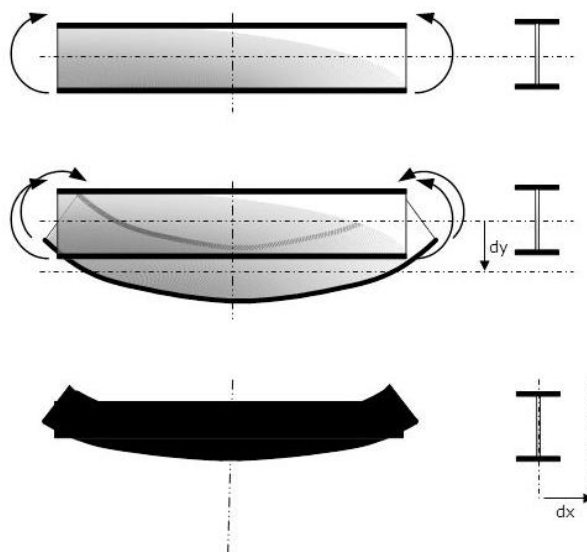
Dengan :

$\sigma_t$  = Tegangan tarik ( $N/m^2$ )

F = Gaya yang diberikan (N)

A = Luas penampang ( $m^2$ )

**B. Momen Lentur**



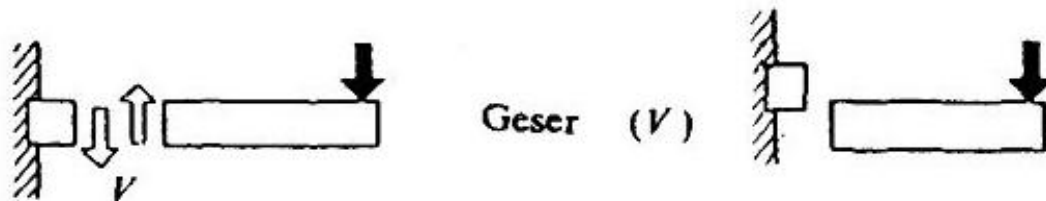
**Gambar 2.3.** Momen Lentur. Haris (2015)

### 2.2.2. Tegangan Geser

Mytho (2010) mengatakan tegangan geser ( $\tau$ ) adalah tegangan yang bekerja sejajar dengan bidang pembebanan. Tegangan geser terjadi jika suatu benda bekerja dengan dua gaya yang berlawanan arah, tegak lurus sumbu batang, tidak segaris gaya namun pada penampangnya tidak terjadi momen. Tegangan ini banyak terjadi pada konstruksi. Macam-macam beban yang menyebabkan terjadinya tegangan geser adalah sebagai berikut :

#### A. Gaya Geser

Gaya geser cenderung untuk memutar bahan searah jarum jam dan bekerja kebagian bawah. Gaya geser ada dua macam yaitu geser tunggal dan geser ganda, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.4 ini adalah gaya geser tunggal :



**Gambar 2.4.** Gaya geser Tunggal. Subhan (2015)

$$\tau_g = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan :

$\tau_g$  = Tegangan geser ( $\text{N/m}^2$ )

F = Gaya geser yang bekerja (N)

A = Luas penampang ( $\text{m}^2$ )

## B. Momen Puntir

Puntir adalah suatu kondisi yang dialami oleh suatu benda, dimana terjadi akibat adanya gaya yang bekerja berlawanan arah terhadap kedua ujungnya. Khoonah (2014) mengatakan bila material mendapat beban puntiran, maka antara suatu penampang lintang dengan penampang lintang yang lain akan mengalami pergeseran sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.5 yang menunjukkan terjadinya pergeseran yang akan mengakibatkan rotasi pada penampang lintangnya.



**Gambar 2.5.** Batang Silindris dengan Beban Puntiran. Khoonah (2014)

### 2.3. Kode Standar Desain Pipa

Kode standar desain pipa adalah pedoman untuk mendesain atau membangun suatu sistem perpipaan yang dibuat dengan berdasarkan pengalaman-pengalaman para *engineer* dibidang industri, tujuan utamanya adalah sebagai solusi dari masalah-masalah mengenai terjadinya banyak kegagalan pada sistem perpipaan karena tidak dibuat atau dirancang dengan aman.

Menurut Santoso (2014) pada saat ini terdapat beberapa kode *standard* dari komite B31, yang sering dipakai sebagai pedoman di Indonesia sesuai dengan kebutuhan masing-masing industri, yaitu :

- *ASME / ANSI B31.1* digunakan pada sistem perpipaan di industri pembangkit listrik.
- *ASME / ANSI B31.3* digunakan pada sistem perpipaan di industri proses & petrokimia

- *ASME / ANSI B31.4* digunakan pada *pipe transport* minyak dan zat cair lainnya.
- *ASME / ANSI B31.5* digunakan pada sistem perpipaan pendingin
- *ASME / ANSI B31.8* digunakan pada pipa transport gas

Selain *ASME B31*, ada beberapa kode standar pipa yang lain, baik dari Amerika maupun dari negara lain, seperti :

1. *ASME Boiler and pressure Vessel, section III, subsection NB, NC, ND*, untuk sistem perpipaan di industri pembangkit listrik tenaga nuklir.
2. *API* kode seri untuk industri di bidang migas.
3. *Stoomwezen* dari Belanda.
4. *SNCT* kode dari Prancis untuk petrokimia.
5. *Canadian Z662* dari Kanada.
6. *BS7195* dari Inggris.
7. *NORWEGIAN* dan *DNV* dari Norwegia.

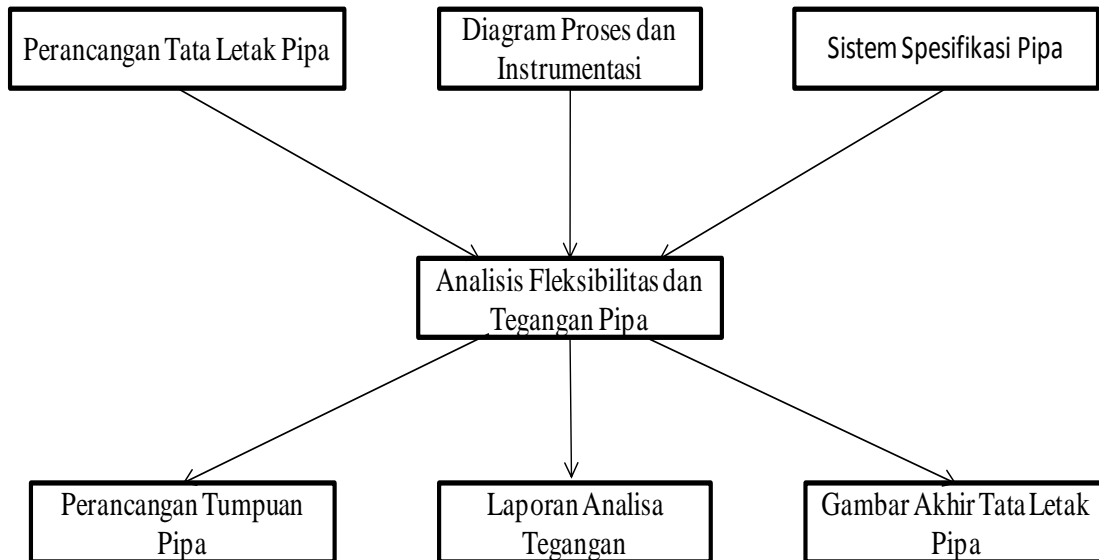
Kode standar desain pipa ini bukanlah buku petunjuk perancangan yang memberi instruksi bagaimana cara merancang atau membuat sistem perpipaan. Kode standar desain pipa ini hanya sebuah alat yang digunakan untuk mengkaji sebuah rancangan sistem perpipaan dengan memberikan persamaan-persamaan yang telah disederhanakan guna menentukan besarnya tegangan dan menjamin keamanan pada sistem perpipaan.

#### **2.4. Beberapa Tahap Perancangan Dalam Analisis Tegangan Pipa**

Analisis tegangan pipa adalah suatu ilmu yang membahas tentang aspek tegangan yang terjadi dalam suatu instalasi perpipaan akibat beban-beban yang terjadi. Berfungsi untuk memeriksa tegangan maksimum yang terjadi pada sistem perpipaan agar tidak melebihi tegangan yang diizinkan material.

Menurut Santoso (2007) analisa tegangan pipa juga sebagai salah satu bagian dari proses perancangan sistem perpipaan dan *pipe transport*, yang berkaitan erat dengan tata letak pipa, perancangan pada sistem spesifikasi pipa, serta perancangan

tumpuan pipa (*piping support*). Sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.6. Hubungan antara beberapa disiplin ilmu yang berhubungan dengan analisa tegangan pipa :



**Gambar 2.6.** Hubungan Antara Beberapa Disiplin Ilmu. Santoso (2007)

Hasil-hasil yang dihasilkan dari kelompok analisa tegangan pipa mencakup dan menginformasikan mengenai data yang berisi gambar isometrik pipa beserta informasi mengenai tegangan, gaya dan perpindahan, serta data *input* dan *output* dari perangkat lunak (*software*). Hasil-hasil yang diperoleh dapat digunakan atau difungsikan sebagai acuan perubahan tata letak pipa, tumpuan pipa, dan penyusunan laporan analisa tegangan.

## 2.5. Teori Dasar Tegangan Pipa

Dalam perancangan suatu sistem perpipaan, seorang *engineer* harus mengerti prinsip dasar tegangan pipa dan hal-hal yang berhubungan dengan tegangan pipa. Sebuah konstruksi pipa akan dinyatakan rusak apabila tegangan dalam yang terjadi melebihi tegangan batas material atau tegangan yang diizinkan.

Tegangan dalam pipa disebabkan oleh beban luar seperti berat mati, tekanan, pemuaian termal dan bergantung pada geometri pipa dan jenis material pipa.

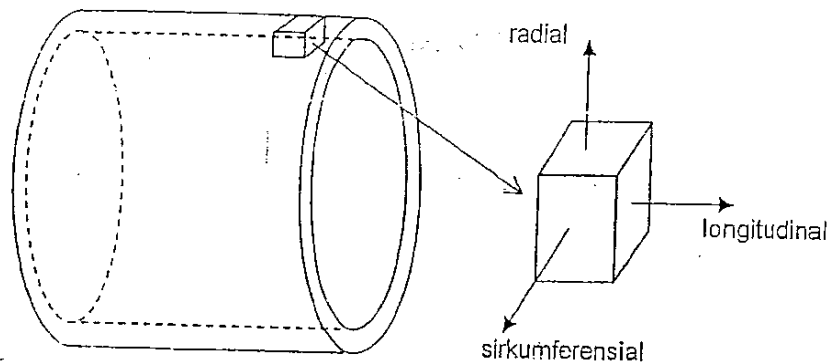


Sedangkan tegangan batas yang diizinkan lebih banyak ditentukan oleh jenis material dan metode produksinya.

Dalam membahas kode standar, pengertian tegangan pipa dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

- a. Tegangan pipa aktual, yaitu tegangan hasil pengukuran dengan perhitungan analisa secara manual ataupun dengan perangkat lunak komputer.
- b. Tegangan pipa kode, yaitu tegangan hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan tegangan yang tertera dalam kode standar tertentu.

Menurut Santoso (2007) tegangan adalah besaran vektor yang selain memiliki nilai juga memiliki 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 sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.7



**Gambar 2.7.** Prinsip Arah Tegangan pada Pipa. Santoso (2007)

Sumbu terletak di bidang tengah dinding pipa dan salah satu yang arahnya sejajar dengan panjang pipa disebut sumbu *axial* atau *longitudinal*. Sumbu yang tegak lurus terhadap dinding pipa dengan arahnya bergerak dari sudut pipa menuju luar

pipa disebut sumbu *radial*, sedangkan sumbu yang sejajar dengan dinding pipa tapi tegak lurus dengan sumbu *axial* disebut sumbu *tangensial*.

## 2.6. Faktor-Faktor Yang Menyebabkan Tegangan Dalam Pipa

Beberapa faktor yang dapat menyebabkan tegangan dalam pipa, antara lain:

1. Beban panas (*thermal*)
2. Beban berat (komponen-komponen pipa dan fluida)
3. Tekanan internal

### 2.6.1 Beban Panas (*Thermal*)

Menurut Santoso (2007) suhu yang sangat tinggi tentu saja akan menimbulkan perubahan panjang pada pipa. Perubahan panjang pipa :

$$\Delta L = L_1 - L_0 = \alpha \cdot (T_1 - T_0) \cdot L_0 \dots\dots\dots(2.15)$$

Tegangan aksial yang terjadi,  $\sigma$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = E \cdot \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{E \cdot \alpha \cdot (T_1 - T_0)}{L_0} \cdot L_0 \dots\dots\dots(2.16)$$

$$\sigma = E \cdot \alpha \cdot (T_1 - T_0) \dots\dots\dots(2.17)$$

Dengan :

$\sigma$  = Tegangan (N/m<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  = Regangan (m)

E = Modulus elastisitas (N/m<sup>2</sup>)

$\Delta L$  = Perubahan panjang batang (m)

$T_0$  = Suhu awal atau instalasi (<sup>0</sup>F)

$T_1$  = Suhu operasi (<sup>0</sup>F)

$\alpha$  = Koefisien muai material pipa

$L_1$  = Pertambahan panjang batang(m)

$L_0$  = Panjang awal (m)

### 2.6.2 Beban Berat

Tegangan-tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan juga diakibatkan oleh pengaruh berat. Gaya berat ini arahnya sama dengan pada umumnya yaitu vertikal ke bawah sesuai dengan arah gravitasi. Beban tersebut dibagi menjadi 2, yaitu :

1. Beban mati (*dead load*)

Beban mati adalah beban dengan kondisi atau besar yang konstan, meliputi berat pipa dan berat komponen-komponen pipa.

2. Beban hidup (*live load*)

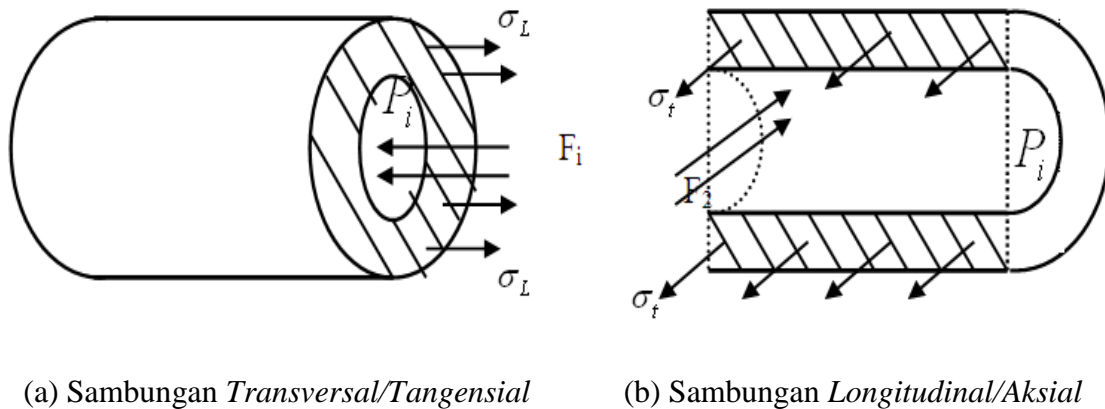
Beban hidup adalah seluruh beban yang tidak tetap, meliputi berat pipa, komponen-komponen pipa dan berat fluida yang mengalir.

Beban berat sendiri akan menimbulkan terjadinya defleksi atau lengkungan. Masalah yang terjadi pada beban berat rata-rata dialami pada pipa-pipa yang memiliki diameter besar. Arah dari beban berat sendiri adalah ke bagian bawah.

Sebuah beban berat dapat diatasi dengan menambah penyangga pipa (*pipe support*), untuk menghemat jumlah penyangga pipa dapat dilakukan dengan membuat bentangan (*span*) yang besar, namun *span* yang besar juga pasti akan menimbulkan lengkungan yang besar sehingga pasti akan menimbulkan tegangan yang besar . Sehingga penambahan bentangan (*span*) maksimum yang diperbolehkan, tergantung dari diameter dan *schedule* pipa.

### 2.6.3 Tekanan *Internal*

Tekanan *Internal* dari fluida kerja yang mengalir di dalam pipa akan menimbulkan tegangan-tegangan pada pipa. Menurut Santoso (2007) untuk tekanan yang relatif kecil, pengaruh tegangan yang ditimbulkan juga relatif kecil, sebaliknya untuk tekanan tinggi akan menyebabkan tegangan yang tinggi pula, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.8

(a) Sambungan *Transversal/Tangensial*(b) Sambungan *Longitudinal/Aksial***Gambar 2.8.** Sambungan pada Pipa. Santoso (2007)

Jenis-jenis tegangan yang terjadi menurut jenis sambungan pada pipa adalah :

#### **A. Tegangan *Longitudinal* atau *Aksial***

Tegangan *longitudinal* adalah tegangan yang arahnya sejajar dengan pipa. Beberapa hal yang menyebabkan terjadinya tegangan *longitudinal* seperti *axial force* dan *internal pressure*.

#### **B. Tegangan *Transversal***

Tegangan *transversal* ini terjadi pada pipa dengan jenis sambungan *longitudinal* atau *aksial*.

### **2.7. Teori Tegangan Normal Maksimum**

Teori tegangan normal maksimum merupakan sebuah teori kegagalan yang sederhana, Santoso (2007) mengatakan kegagalan akan terjadi bila tegangan normal maksimum terjadi melebihi dari tegangan luluhnya.

### **2.8. Teori Tegangan Geser Maksimum (*TRESCA*)**

Teori ini sering disebut juga dengan teori *Tresca*. *Tresca* menulis suatu *paper* yang penting, berhubungan dengan teori tegangan geser maksimum pada tahun 1864,

dan J Guest dari Inggris menguji penggunaan teori ini sekitar tahun 1900. Oleh karena itu teori tegangan geser ini kemudian disebut dengan teori *Tresca* atau teori *Guest*.

Guest J (1900) menyatakan bahwa konstruksi akan berada di daerah aman apabila beban yang diberikan memberikan tegangan normal yang tidak lebih dari tegangan luluhnya dan tegangan geser tidak lebih dari setengah tegangan luluhnya.

### **2.9. Teori Energi Distorsi Maksimum (*Von Mises*)**

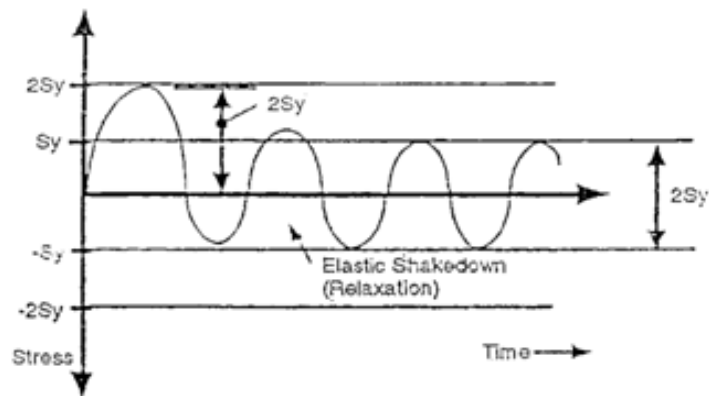
Energi elastis total dibagi ke dalam dua bagian yaitu yang berhubungan dengan perubahan volumetrik bahan, sedang yang lain menyebabkan distorsi geser (gangguan), untuk material-material ulet, misalnya baja dan besi cor.

Von Mises dan Hencky (1925) bahan ulet (*ductile*) yang dibebani dalam berbagai arah (*hidrostatik*), mempunyai batas tegangan yang lebih besar dari tegangan batas yang dihitung seperti pada teori *Tresca*. Batas tegangan tersebut disebut tegangan ekuivalen.

### **2.10. Kelelahan Metal**

Sistem perpipaan mempunyai banyak komponen perpipaan, dimulai dari pipa, bejana, dan peralatan-peralatan yang sering mengalami kerusakan setelah beroperasi selama bertahun-tahun. Kegagalan-kegagalan pada suatu komponen seperti ini dikenal dengan nama kelelahan metal (*fatigue*), yang disebabkan oleh pembebanan berulang-ulang yang besarnya cenderung rendah. Kegagalan dapat terjadi dimana tegangan pipa lebih rendah dibandingkan kekuatan luluhnya. Menurut Ceria (2012) kelelahan metal disebabkan karena konsentrasi tegangan yang besar menyebabkan deformasi plastis yang pada akhirnya menyebabkan timbulnya retakan-retakan halus, sementara tegangan rata-rata pada keseluruhan penampang pipa maupun bejana tekan jauh di bawah kekuatan luluhnya. Jika beban ini terjadi secara berulang kali maka retakan halus tersebut akan merambat sampai kegagalan yang menyeluruh pada dinding pipa maupun komponen-komponen sistem perpipaan lainnya.

Secara umum kelelahan metal disebabkan oleh beban perpindahan, bukan oleh beban gaya (*force load*). Santoso (2007) mengatakan jika beban perpindahan menyebabkan tegangan lokal di material pipa yang melebihi titik plastis atau tegangan luluh, maka akan terjadi beberapa hal yang penting. Bila beban perpindahan ini diulang, maka tegangan residu harus dilawan dahulu, lalu kemudian tegangan luluh yang baru dapat dilampaui. Fenomena ini menghasilkan tegangan *absolute* yang lebih rendah daripada beban perpindahan yang sama besar sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.9. dimana maksimum *range* dari tegangan dibatasi sebesar dua kali tegangan luluh ( $2S_y$ ).



**Gambar 2.9.** Kurva Maksimum Range dari Tegangan. Santoso (2007)

Berdasarkan fenomena ini, besar maksimum dari perbedaan tegangan ekspansi (*Stress expansion range*) pada pipa adalah dua kali tegangan leleh.

### 2.11. Tegangan Primer dan Tegangan Sekunder

Tegangan kode memberikan standar kriteria kegagalan untuk perancangan sistem pipa. Ada dua kriteria kegagalan yang berbeda, yaitu :

1. Kegagalan yang disebabkan oleh beban primer.
2. Kegagalan yang disebabkan oleh beban sekunder.

### 2.11.1. Beban Primer

Karakteristik beban primer diantaranya adalah :

- a. Beban primer pada umumnya disebabkan oleh gaya (*force*), seperti : tekanan, gaya berat (bobot mati), gaya pegas (*spring*), gaya dari *relief valve* dan *fluid hammer*.
- b. Beban primer tidak bersifat membatasi diri (*self limiting*), artinya setelah deformasi plastis terjadi, selama beban itu bekerja, maka deformasi akan berlanjut hingga kesetimbangan gaya dapat tercapai.
- c. Beban sifatnya tidak berulang-ulang (kecuali beban dengan variasi tekanan, selain dikategorikan sebagai beban primer, juga dikategorikan sebagai beban sekunder).
- d. Batas tegangan yang diijinkan pada tegangan primer didapatkan melalui teori kegagalan, seperti : teori *Von Mises*, *Tresca*, dan *Rankine*.
- e. Kegagalan dapat terjadi oleh satu beban tunggal yang menimbulkan deformasi plastis total atau patah.

### 2.11.2. Beban sekunder

Karakteristik Beban Sekunder adalah :

- a. Beban sekunder pada umumnya biasa disebabkan oleh perpindahan (*displacement*), seperti : ekspansi *thermal*, getaran, dan perpindahan *anchor*.
- b. Beban sekunder bersifat membatasi diri sendiri (*self limiting*), artinya setelah deformasi plastis terjadi, deformasi tidak berlanjut terus menerus karena tegangan berkurang dengan sendirinya bahkan cenderung menghilang.
- c. Beban sekunder memiliki sifat berulang.
- d. Batas tegangan yang diizinkan untuk tegangan sekunder didapat berdasarkan jumlah siklus beban dari kegagalan kelelahan metal.

Kegagalan tidak dapat terjadi olehs atu beban tunggal, melainkan kerusakan dapat terjadi setelah sejumlah beban berulang bekerja pada sistem perpipaan. Maka

dari itu, meskipun sebuah sistem perpipaan sudah sukses beroperasi bertahun-tahun, hal ini tidak menjamin perancangan perpipaan yang baik.

### **2.12. Beban *Occasional***

Beban *occasional* adalah beban primer yang terjadi dalam waktu yang singkat dan jarang terjadinya. Karena beban ini hanya bekerja sebentar, beban ini tidak akan mengakibatkan kegagalan karena rangkai (*creep*), sehingga tegangan yang terjadi diperbolehkan melebihi tegangan akibat beban primer yang tetap (*sustained load*).

Yang termasuk beban *occasional* pada sistem perpipaan adalah:

1. Beban angin
2. Beban gempa
3. Beban *fluid transient*, karena perubahan tekanan maupun suhu seperti beban kejut.

Beban *occasional* memiliki sifat yang dinamis baik besarnya maupun arahnya, sangat cepat sehingga pipa tidak cukup waktu untuk merespon seperti pada beban statis. Karena itu untuk mengevaluasi akibat beban ini, seharusnya dilakukan dengan analisa dinamis. Beban Occasional dapat dibedakan menurut profil beban sebagai fungsi waktu, yaitu beban yang acak (*random*) dan beban kejut.

#### **2.12.1. Beban *Random***

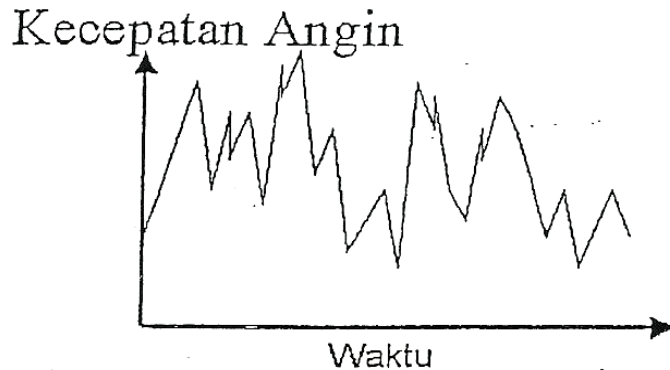
Beban acak (*random*) mengalami perubahan besar dan arah secara acak. Beban yang termasuk tipe ini adalah :

##### **A. Beban angin**

Santoso (2007) mengatakan jika udara mengalir membentur permukaan dinding pipa maka akan menimbulkan “tekanan *equivalen*” pada pipa, yang diakibatkan berkurangnya momentum yang dimiliki angin tersebut. Walaupun angin memiliki sifat yang tidak bisa diprediksi seperti arah dan kecepatan rata-rata, namun perubahan arah dan kecepatan sering terjadi, misalnya karena hembusan angin kuat yang datang secara tiba-tiba. Perubahan arah dan kecepatan angin ini bersifat acak



(*random*) sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.10



**Gambar 2.10.** Profil Beban Angin. Santoso (2007)

Menurut Santoso (2007) perumusan yang digunakan dalam menghitung besarnya beban angin sebagai berikut :

$$F_{WL} = q_z \cdot G_z \cdot C_d \cdot A \cdot \sin \theta \dots\dots\dots(2.27)$$

Dengan :

$q_z$  = tekanan *ekuivalen* angin

$G_z$  = *Gust-Factor*

$C_d$  = koefisien bentuk

= 0,5-1,2 tergantung kekasaran dan tinggi pipa

$A$  =  $D \cdot l$

$\theta$  = sudut antara sumbu aksial pipa dan arah angin

Menurut Santoso (2007) tekanan *equivalen* angin ( $q_z$ ) adalah energi angin yang besarnya berbanding lurus dengan berat jenis udara dan kecepatan angin dalam kuadrat, sering ditulis dalam kode setelah nilai berat jenis dimasukkan dan memperhatikan koefisien *exposure* ( $K_z$ ) dan koefisien *Importance* (I) dan juga koefisien *topografi* ( $K_{zt}$ ).

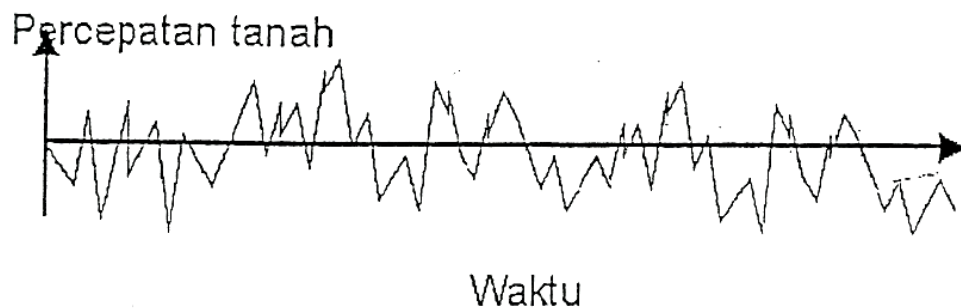
$$q_z = 0,613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot V^2 \cdot I \cdot (N/m^2) \dots\dots\dots(2.28)$$

Dengan :

- $K_z$  = koefisien *exposure*  
 $K_{zt}$  = koefisien *topografi*  
 $V$  = kecepatan dasar angin (mph atau ./dtk)  
 $I$  = faktor importansi dari perumahan

## B. Beban Gempa

Beban gempa disebut juga dengan beban *seismic*, disebabkan oleh bergeraknya tanah secara *random* atau acak. Sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.11



**Gambar 2.11.** Profil Beban Gempa. Santoso (2007)

Menurut Santoso (2007) rumus beban total akibat gempa sebagai berikut :

$$V = Z \cdot I \cdot K \cdot C \cdot S \cdot W \quad \dots\dots\dots(2.29)$$

Dengan:

- $Z$  = koefisien zona gempa  
 = 1/8 untuk zona 0 (hanya pada ANSI 58.1)  
 = 3/16 untuk zona 1  
 = 3/8 untuk zona 2  
 = 3/4 untuk zona 3  
 = 1 untuk zona 4  
 $I$  = *importance factor* pemakai  
 = 1,0 untuk pipa dan bejana tekan

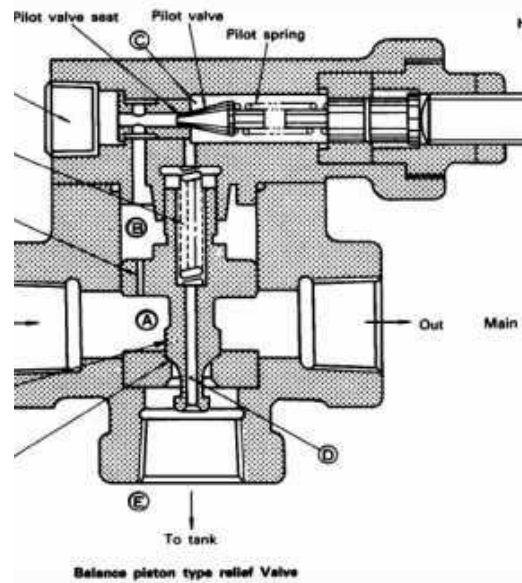
- K = konstanta jenis ukur  
 = 2,0 untuk struktur selain gedung termasuk pipa dan bejana tekan
- C = faktor beban geser =  $1/(15T)^{1/2} < 0,12$
- T = periode natural dari struktur
- S = koefisien *soil*  
 = 1,0-1,5 dimana  $CS < 0,14$
- W = berat mati dari pipa

### 2.12.2. Beban Kejut

Perubahan tekanan dan temperatur secara mendadak karena sebuah proses, dapat menimbulkan tegangan dan gaya yang perlu diperhitungkan besarnya. Beban yang terjadi akibat perubahan mendadak ini memiliki karakteristik kejut, yaitu dari beban yang minimum menjadi maksimum, kemudian setelah durasi tertentu aksi beban ini menghilang kembali. Contoh dari jenis beban ini adalah:

#### A. Beban *relief valve*

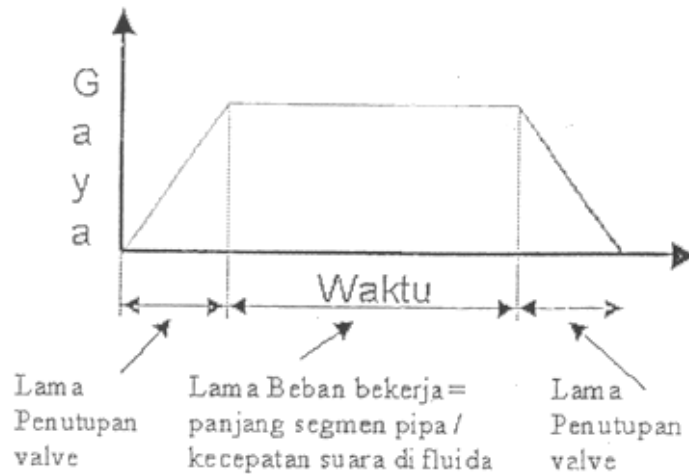
Katup *relief valve* adalah katup yang membatasi tekanan rangkaian maksimum, mencegah bagian tekanan menjadi tekanan dengan beban berlebih, dan mengontrol torsi yang dibangkitkan oleh motor dan silinder hidrolis. Sistem perpipaan mencapai *level* tertentu, maka *relief valve* akan terbuka dan membebaskan fluida keluar untuk menurunkan tekanan dalam pipa, pada saat melepaskan fluida tersebut timbul gaya yang bekerja pada katup (*valve*) atau pipa. Gaya ini berubah dari nihil sampai nilai maksimum selama *valve* mengalami pembukaan, lalu nilai itu tetap selama *valve* terbuka penuh untuk melepaskan fluida secukupnya, sehingga tekanan berlebih akan menghilang. Kemudian *valve* menutup, dimana besar gaya dari nilai maksimum berkurang sampai nihil selama proses menutupnya *valve* tersebut. Sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.12. berikut.



**Gambar 2.12.** *relief valve.* Lit2 (2008)

### **B. Beban karena *water* atau *fluid hammer***

Menurut Prastowo dan Sisiwanto (2014) mengungkapkan bahwa jika aliran fluida dihentikan secara tiba-tiba oleh pompa atau *valve* yang menutup, fluida dari pipa *upstream* tidak akan dapat berhenti secara langsung. Fluida ini memberikan tambahan kompresi (tekanan) di area penutupan. Di sisi lainnya dari area penutupan (*valve* atau pompa), aliran meninggalkan tempat penutupan tersebut menyebabkan penurunan tekanan. Perubahan tekanan ini ikut mengalir dengan fluida. Perbedaan tekanan ini pada pipa lurus antara dua *bend* atau *elbow* menyebabkan gaya aksial yang tidak *balance*, karena batas perbedaan tekanan ini ikut mengalir, dengan kecepatan suara di fluida. Beban yang tidak *balance* ini juga berpindah dari satu *segment* pipa lurus, ke *segment* pipa lurus lainnya sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.13. berikut.



**Gambar 2.13.** Profil Beban *Water* atau *Fluid Hammer*. Sisiwanto, Prastowo, dan Cahyono (2014)

**2.13. Persamaan Tegangan Kode ASME/ANSI B31.3**

1. Menurut Santoso (2007) rumus tegangan karena beban tetap (*Sustained Load*)

$$S_1 = \frac{F_{ax}}{A_m} + \frac{\sqrt{(i_i \cdot M_i)^2 + (i_o \cdot M_o)^2}}{Z} + \frac{P \cdot d_o}{4 \cdot t} \leq S_h \dots\dots\dots(2.30)$$

Tegangan Longitudinal pipa disebabkan oleh bobot berat dan tekanan.

Dengan :

$F_{ax}$  = gaya aksial karena beban tetap (lb)

$M_i$  = momen lendutan dalam bidang (*in plane*) karena beban tetap (in-lb)

$M_o$  = momen lendutan luar bidang (*out plane*) karena beban tetap (in-lb)

$i_i, i_o$  = faktor intensifikasi (SIF) *in plane* dan *out plane*

$S_h$  = tegangan dasar yang diizinkan oleh material menurut Appendiks A dari ASME/ANSI B31.3 *code*.

2. Menurut Santoso (2007) tegangan karena beban Ekspansi (*Expansion Load*)

$$S_E = \frac{\sqrt{(i_i \cdot M_i)^2 + (i_o \cdot M_o)^2 + 4 \cdot (M_T)^2}}{Z} \leq S_A = f \cdot (1,25 \cdot S_c + 1,25 \cdot S_h - S_1) \dots\dots\dots(2.31)$$

Tegangan kombinasi pipa disebabkan oleh perbedaan temperature (beban ekspansi *thermal*.)

Dengan :

$M_i$  = momen lendutan dalam bidang (*in plane*) karena beban ekspansi (in-lb)

$M_o$  = momen lendutan luar bidang (*out plane*) karena beban ekspansi (in-lb)

$M_T$  = faktor intensifikasi (SIF) *in plane* dan *out plane*

$S_h$  = tegangan dasar yang diizinkan oleh material menurut Appendix A dari ASME/ANSI B31.3 *code* pada temperatur terendah (dingin)

$S_h$  = tegangan dasar yang diizinkan oleh material menurut Appendix A dari ASME/ANSI B31.3 *code* pada temperatur tertinggi (panas)

$f$  = faktor reduksi dengan mempertimbangkan kelelahan material (beban dinamis yang berulang)

3. Menurut Santoso (2007) tegangan karena beban okasional (*Occasional Load*)

$$S_1 + S_{occ} \leq 1,33 \cdot S_h \dots\dots\dots(2.32)$$

Tegangan kombinasi pipa karena beban perpindahan tumpuan, *anchor* misalnya karena gempa bumi dan sebagainya.

#### 2.14. Pembatasan Tegangan Perpipaan Menurut *Caesar II*

*Caesar II* mendefinisikan beberapa beban kombinasi seperti beban *sustained*, beban ekspansi, beban *occasional* (kadang-kadang), dan beban operasi. Menurut Santoso (2007) berikut perumusan untuk masing-masing beban :

1. Beban *Sustained*

$$\text{- Stress} \quad : \quad S_L = \frac{P \cdot D_i^2}{(D_o^2 - D_i^2)} + \frac{\sqrt{(I_i \cdot M_i)^2 + I_o \cdot M_o^2}}{Z} + \frac{F_{axl}}{A} \dots\dots\dots(2.33).$$

- *Allowable* :  $S_h$  (*Stress* yang diizinkan untuk bahan pipa saat beroperasi)
- *Rasio* :  $\frac{S_L}{S_h}$
- *Combin* : W+P (Berat + tekanan)
- Aturan Aman :  $S_L < S_h$

## 2. Beban *Expansion*

- *Stress* :  $S_E = \sqrt{S_b^2 + 4St^2}$  .....(2.34)
- *Allowable* :  $S_A = f[1,25(S_c + S_h) - S_l]$
- *Rasio* :  $\frac{S_E}{S_A}$
- *Combin* : *Cold to T* ( *Temperatur* )
- Aturan Aman :  $S_E < S_A$

## 3. Beban *Occasional*

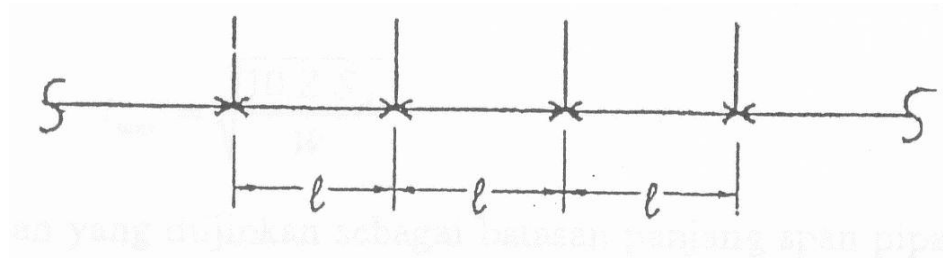
- *Stress* :  $S_0 = \frac{F_{ax}}{A} + S_b + S_{lp}$  .....(2.35)
- *Allowable* :  $K \cdot S_h$
- *Rasio* :  $S_{LO} / (1,33 \cdot S_H)$
- *Combin* : W+P+T+(beban dinamis)
- Aturan Aman :  $S_L < 1,33 \cdot S_H$

4. Beban *Operating* : Beban *operating* merupakan beban yang didefinisikan oleh pengguna *Caesar* dan tidak memiliki *allowable stress* karena tidak diatur oleh kode, fungsinya untuk mengetahui besar tegangan apabila beberapa beban di kombinasikan.

### 2.15. Tegangan Dan Defleksi Karena Beban Bobot Mati

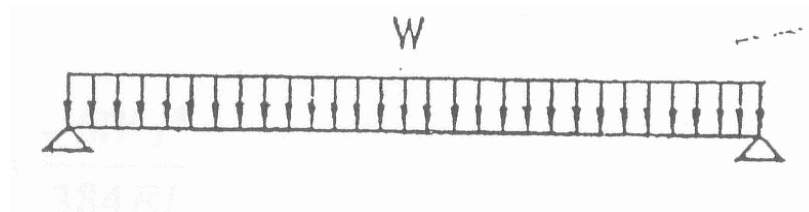
Bobot mati dari pipa diasumsikan terdistribusi merata per satuan panjang pipa, dan pipa dianggap ditumpu oleh *support* secara kontinyu pada jarak (*pipe*

*support span*) yang sama, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.14. berikut, maka teori dasar batang elastis dapat diterapkan.



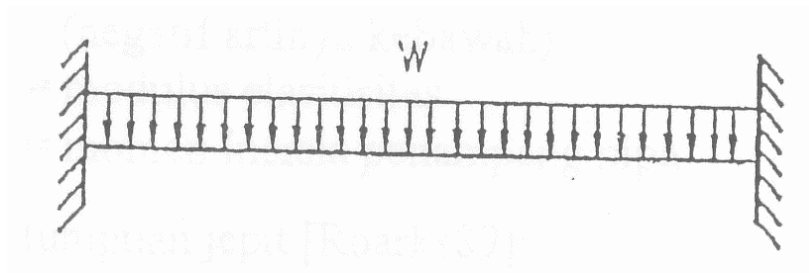
**Gambar 2.14.** Tumpuan Terdistribusi Merata. Santoso (2007)

Permasalahan yang masih ada dalam menerapkan teori batang elastis ini adalah bagaimana memodelkan jenis tumpuan tadi dalam teori, yaitu apakah tumpuan sederhana (*pinned support / simply supported*) sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.15 di mana rotasi bebas sepenuhnya.



**Gambar 2.15.** Tumpuan Sederhana. Santoso (2007)

Atau tumpuan jepit (*fixed / clamped support*) sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.16. di mana rotasi sepenuhnya ditahan.



**Gambar 2.16.** Tumpuan Jepit. Santoso (2007)



## 2.16. Jarak Antara *Support* Maksimum (*Maximum Pipe Span*)

*Manufacturur Standardization Society of the Valve and Fitting Industry* (MSS) dalam MSS-SP-69 telah mempublikasikan hasil perhitungan dengan menggunakan rumus-rumus di atas setelah dimodifikasi dengan menggunakan satuan lb, psi, ft-in.

Kemudian mengambil asumsi berikut :

- Ketebalan pipa yang digunakan adalah *standard* pipa ANSI
- Tidak ada beban terkonsentrasi di antara dua *support*
- Tidak ada perubahan arah pipa horizontal maupun vertikal di antara dua *support*
- Stress Intensification Factor*, SIF di *support* diabaikan
- Maksimum tegangan yang diizinkan 15.000 psi (*carbon steel*)
- Maksimum lendutan yang diizinkan 0,1 inci

**Tabel 2.1.** MSS-SP-69 *maksimum pipe span*. Santoso (2007)

| NOMINAL PIPE OR TUBE SIZE | STD WT STEEL PIPE |      |               |      | COPPER TUBE   |     |               |     | FIRE PROTECTION  | CAST IRON DUCTILE IRON PRESURE  | CAST IRON SOIL  | ASBESTOS CEMENT                             | CLASS   | PLASTIC   | FIBERGLASS REINFORCED |
|---------------------------|-------------------|------|---------------|------|---------------|-----|---------------|-----|--|---|---|---|---|---|-----------------------|
|                           | WATER SERVICE     |      | VAPOR SERVICE |      | WATER SERVICE |     | VAPOR SERVICE |     |  |   |   |   |   |   |                       |
|                           | ft                | m    | ft            | m    | ft            | m   | ft            | m   |  |   |   |   |   |   |                       |
| 1/4                       | 7                 | 2.1  | 8             | 2.4  | 5             | 1.5 | 5             | 1.5 | FOLLOW REQUIREMENTS OF THE NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, SEE SECTION 14. | 12 ft (3.7m) MAX SPACING MIN OF ONE (1) HANGER PER PIPE SECTION CLOSE TO JOINT OF THE BARREL. ALSO AT CHANGE OF DIRECTION AND BRANCH CONNECTIONS. | 10 ft (3.0m) MAX SPACING MIN OF ONE (1) HANGER PER PIPE SECTION CLOSE TO JOINT ON THE BARREL. ALSO AT CHANGE OF DIRECTION AND BRANCH CONNECTIONS. | FOLLOW PIPE MANUFACTURER'S RECOMMENDATIONS. | 1 ft (0.3m) MAX SPACING, FOLLOW MANUFACTURER'S RECOMMENDATIONS. SEE SECTION 11. | FOLLOW PIPE MANUFACTURER'S RECOMMENDATIONS FOR SPACING AND SERVICE CONDITION. |                       |
| 3/8                       | 7                 | 2.1  | 8             | 2.4  | 5             | 1.5 | 6             | 1.8 |  |   |   |   |   |   |                       |
| 1/2                       | 7                 | 2.1  | 8             | 2.4  | 5             | 1.5 | 6             | 1.8 |  |   |   |   |   |   |                       |
| 3/4                       | 7                 | 2.1  | 9             | 2.7  | 5             | 1.5 | 7             | 2.1 |  |   |   |   |   |   |                       |
| 1                         | 7                 | 2.1  | 9             | 2.7  | 6             | 1.8 | 8             | 2.4 |  |   |   |   |   |   |                       |
| 1 1/4                     | 7                 | 2.1  | 9             | 2.7  | 7             | 2.1 | 9             | 2.7 |  |   |   |   |   |   |                       |
| 1 1/2                     | 9                 | 2.7  | 12            | 3.7  | 8             | 2.4 | 10            | 3.0 |  |   |   |   |   |   |                       |
| 2                         | 10                | 3.0  | 13            | 4.0  | 8             | 2.4 | 11            | 3.4 |  |   |   |   |   |   |                       |
| 2 1/2                     | 11                | 3.4  | 14            | 4.3  | 9             | 2.7 | 13            | 4.0 |  |   |   |   |   |   |                       |
| 3                         | 12                | 3.7  | 15            | 4.6  | 10            | 3.0 | 14            | 4.3 |  |   |   |   |   |   |                       |
| 3 1/2                     | 13                | 4.0  | 16            | 4.9  | 11            | 3.4 | 15            | 4.6 |  |   |   |   |   |   |                       |
| 4                         | 14                | 4.3  | 17            | 5.2  | 12            | 3.7 | 16            | 4.9 |  |   |   |   |   |   |                       |
| 5                         | 16                | 4.9  | 19            | 5.8  | 13            | 4.0 | 18            | 5.5 |  |   |   |   |   |   |                       |
| 6                         | 17                | 5.2  | 21            | 6.4  | 14            | 4.3 | 20            | 6.1 |  |   |   |   |   |   |                       |
| 8                         | 19                | 5.8  | 24            | 7.3  | 16            | 4.9 | 23            | 7.0 |  |   |   |   |   |   |                       |
| 10                        | 22                | 6.1  | 26            | 7.9  | 18            | 5.5 | 25            | 7.6 |  |   |   |   |   |   |                       |
| 12                        | 23                | 7.0  | 30            | 9.1  | 19            | 5.8 | 28            | 8.5 |  |   |   |   |   |   |                       |
| 14                        | 25                | 7.6  | 32            | 9.8  |               |     |               |     |  |   |   |   |   |   |                       |
| 16                        | 27                | 8.2  | 35            | 10.7 |               |     |               |     |  |   |   |   |   |   |                       |
| 18                        | 28                | 8.5  | 37            | 11.3 |               |     |               |     |  |   |   |   |   |   |                       |
| 20                        | 30                | 9.1  | 39            | 11.9 |               |     |               |     |  |   |   |   |   |   |                       |
| 24                        | 32                | 9.8  | 42            | 12.8 |               |     |               |     |  |   |   |   |   |   |                       |
| 30                        | 35                | 10.7 | 44            | 13.4 |               |     |               |     |  |   |   |   |   |   |                       |

NOTE: (1) FOR SPACING SUPPORTS INCORPORATING TYPE 40 SHIELDS, SEE TABLE 5.  
(2) DOES NOT APPLY WHERE BEAN CALCULATIONS ARE MADE OR WHERE THERE ARE CONCENTRATED LOADS BETWEEN SUPPORTS SUCH AS FLANGES, VALVES, SPECIALTIES, ETC., OR CHANGES IN DIRECTION REQUIRING ADDITIONAL SUPPORTS.

Untuk kasus dimana asumsi di atas tidak berlaku, maka *engineer* harus memberi perhatian lebih jauh, misalnya jika ada perubahan arah horizontal mengharuskan *maksimum pipe span* dikurangi sampai 75% dari nilai acuan dari tabel. Jika hal ini tidak diperhatikan, maka *tip sagging* bisa menimbulkan masalah tegangan yang besar. Posisi *support* yang terbaik adalah tepat pada belokan (*bend*), hanya saja ini biasanya tidak dibolehkan oleh kode pipa karena menyebabkan masalah lain, yaitu konsentrasi tegangan (SIF) yang tinggi.

Untuk kasus dimana ada beban terkonsentrasi, seperti : *valve*, maka *standard MSS* merekomendasikan supaya *valve* dipasang sedekat mungkin dengan *support*. Reduksi dari *pipe span* acuan juga bisa digunakan sampai di bawah 50%.

Perubahan arah vertikal bisa dianggap sebagai beban terkonsentrasi pada bagian pipa mendatar dengan berat *riser* sebagai beban konsentrasinya. *Pipe span* di bagian pipa vertikal (*riser*) tidak ditentukan dengan *standard* ini, karena beban berat tidak menimbulkan tegangan dan defleksi seperti yang diuraikan di atas. Hal yang perlu diperhatikan adalah bahaya *buckling* akibat tegangan kompresi di *riser*, oleh karena itu direkomendasikan *riser support* yang menahan berat diletakkan di atas titik berat *riser*.

## **2.17. Metode analisis kebocoran**

Analisa kebocoran membahas tentang aspek kebocoran yang terjadi dalam suatu instalasi perpipaan akibat beban-beban yang terjadi. Berfungsi untuk menganalisa dan memeriksa kebocoran yang terjadi pada sistem perpipaan agar tidak melebihi pembebanan yang diizinkan oleh *standard* komponen - komponen *fitting* pada sistem perpipaan.

### **2.17.1. Flange**

1. Periksa tekanan keseluruhan pada *flange* :

Menurut Santoso (2007) metode perhitungan dengan tekanan *equivalen* (*peq*) berdasarkan *standard ASME Section III, Flange Check (NC-3658)* *base oil* adalah:

$$p_{eq} + P < P_{ASME} \dots\dots\dots(2.43)$$

Dengan :

$P_{ASME}$  = tekanan kerja pada *temperature* desain ASME B16.5,  
B16.47 (bar)

$P$  = tekanan operasi (bar)

$P_{eq}$  = tekanan *equivalen* (bar)

Sedangkan, nilai tekanan *equivalen* ( $p_{eq}$ ) berdasarkan *standard* ASME Section III, *Flange Check* (NC-3658) *base oil* adalah:

$$P_{eq} = \frac{509296 \times MF}{G^3} + \frac{127 \times FA}{G^2} \dots\dots\dots(2.44)$$

Dengan :

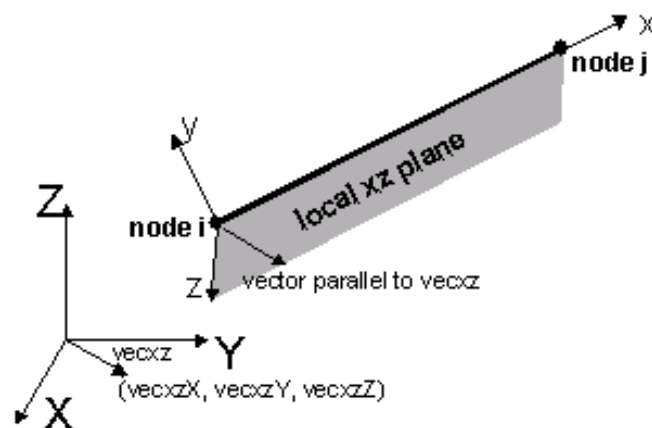
$P_{eq}$  = tekanan *equivalen* (bar)

$MF$  = resultan momen puntir pada kondisi desain (DaN.m)

$FA$  = gaya aksial pada kondisi desain (DaN)

$G$  = diameter gasket efektif (mm)

$$MF = \sqrt{M_i^2 + M_o^2} \dots\dots\dots(2.45)$$



**Gambar 2.17.** *Local Axis.* Wiki (2007)

Metode ini berlaku untuk semua *Welding Neck Flanges in Carbon Steel or Stainless Steel or Duplex stainless steel* pada temperatur  $< 120^{\circ}\text{C}$  dan terhubung pada *vessel or equipment*. Untuk temperatur  $> 120^{\circ}\text{C}$ , tekanan *equivalen*-nya ( $p_{eq}$ ), harus dibagi lagi dengan faktor koreksi ( $\beta$ ), faktor koreksi ( $\beta$ ) ditetapkan oleh perusahaan/intansi terkait untuk menghindari batasan suhu dan tekanan.

2. Menurut Santoso (2007) kesimpulan dari persamaan metode pembagian faktor koreksi :

$$\frac{p_{eq} + P}{\beta} < P_{ASME} \dots\dots\dots(2.46)$$

Dengan :

$P_{eq}$  = tekanan *equivalen* (bar)

$P_{ASME}$  = tekanan kerja pada *temperature* desain ASME B16.5, B16.47 (bar)

$P$  = tekanan operasi (bar)

$\beta$  = koefisien *beta* pada *static loads* dan *dynamic loads*

**Tabel 2.2.** Koefisien *beta* pada *static loads*. Santoso (2007)Beta Coefficients ( $\beta$ ) in Static Loads:Carbon Steel Flanges

| DN   | 150#        | 300#        | 600#        | 900#        | 1500#       | 2500#       |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Inch | ASME/ Peq+P | ASME/ Peq+P | ASME/ Peq+P | ASME/ Peq+P | ASME/ Peq+P | ASME/ Peq+P |
| ≤6   | 3.50        | 3.00        | 1.70        | 1.40        | 1.40        | 1.40        |
| 8    | 3.50        | 3.00        | 1.70        | 1.40        | 1.40        | 1.30        |
| 10   | 3.50        | 2.80        | 1.70        | 1.40        | 1.40        | 1.30        |
| 12   | 3.20        | 2.40        | 1.40        | 1.40        | 1.40        | 1.30        |
| 14   | 3.20        | 2.40        | 1.40        | 1.40        | 1.30        |             |
| 16   | 2.90        | 2.20        | 1.40        | 1.40        | 1.30        |             |
| 18   | 2.90        | 2.20        | 1.40        | 1.40        | 1.30        |             |
| 20   | 2.60        | 2.20        | 1.40        | 1.40        | 1.30        |             |
| 24   | 2.40        | 1.80        | 1.40        | 1.40        | 1.30        |             |
| 26   | 2.00        | 1.80        | 1.40        | 1.40        |             |             |
| 28   | 2.00        | 1.40        | 1.30        | 1.30        |             |             |
| 30   | 2.00        | 1.40        | 1.30        | 1.30        |             |             |
| 32   | 1.80        | 1.40        | 1.30        | 1.30        |             |             |
| 36   | 1.80        | 1.40        | 1.30        | 1.30        |             |             |
| >36  | Note 1      | Note 1      | Note 1      | Note 1      |             |             |

Stainless Steel / Duplex stainless steel Flanges

| DN   | 150#        | 300#        | 600#        | 900#        | 1500#       | 2500#       |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Inch | ASME/ Peq+P | ASME/ Peq+P | ASME/ Peq+P | ASME/ Peq+P | ASME/ Peq+P | ASME/ Peq+P |
| ≤6   | 2.40        | 1.90        | 1.40        | 1.20        | 1.30        | 1.20        |
| 8    | 2.40        | 1.90        | 1.40        | 1.20        | 1.30        | 1.20        |
| 10   | 2.40        | 1.90        | 1.30        | 1.20        | 1.30        | 1.20        |
| 12   | 2.40        | 1.70        | 1.30        | 1.20        | 1.30        | 1.20        |
| 14   | 1.80        | 1.40        | 1.30        | 1.20        | 1.20        |             |
| 16   | 1.80        | 1.40        | 1.20        | 1.20        | 1.20        |             |
| 18   | 1.80        | 1.40        | 1.20        | 1.20        | 1.20        |             |
| 20   | 1.80        | 1.40        | 1.20        | 1.20        | 1.20        |             |
| 24   | 1.60        | 1.40        | 1.20        | 1.20        | 1.20        |             |
| 26   | 1.60        | 1.40        | 1.20        | 1.20        |             |             |
| 28   | 1.60        | 1.30        | 1.20        | 1.20        |             |             |
| 30   | 1.60        | 1.30        | 1.20        | 1.20        |             |             |
| 32   | 1.50        | 1.30        | 1.20        | 1.20        |             |             |
| 36   | 1.50        | 1.30        | 1.20        | 1.20        |             |             |
| >36  | Note 1      | Note 1      | Note 1      | Note 1      |             |             |

Note 1 : A check shall be performed, for combination flanges diameter / pressure rating not included in tables above.

Note 2 : For heterogeneous connections, check shall be performed with Stainless Steel table.

**Tabel 2.3.** Koefisien *beta* pada *static loads and dinamic loads*. Santoso (2007)

**Beta Coefficients ( $\beta$ ) in Static Loads + Dynamic Loads:**

Carbon Steel Flanges

| DN   | 150#        | 300#        | 600#        | 900#        | 1500#       | 2500#       |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Inch | ASME/ Peq+P | ASME/ Peq+P | ASME/ Peq+P | ASME/ Peq+P | ASME/ Peq+P | ASME/ Peq+P |
| ≤6   | 4.30        | 3.70        | 2.10        | 1.80        | 1.80        | 1.80        |
| 8    | 4.30        | 3.70        | 2.10        | 1.80        | 1.80        | 1.60        |
| 10   | 4.30        | 3.40        | 2.10        | 1.80        | 1.80        | 1.60        |
| 12   | 4.00        | 3.00        | 1.80        | 1.80        | 1.80        | 1.60        |
| 14   | 4.00        | 3.00        | 1.80        | 1.80        | 1.60        |             |
| 16   | 3.60        | 2.70        | 1.70        | 1.70        | 1.60        |             |
| 18   | 3.60        | 2.70        | 1.70        | 1.70        | 1.60        |             |
| 20   | 3.60        | 2.70        | 1.70        | 1.70        | 1.60        |             |
| 24   | 3.00        | 2.20        | 1.70        | 1.70        | 1.60        |             |
| 26   | 2.50        | 2.20        | 1.70        | 1.70        |             |             |
| 28   | 2.50        | 1.80        | 1.60        | 1.60        |             |             |
| 30   | 2.50        | 1.80        | 1.60        | 1.60        |             |             |
| 32   | 2.20        | 1.80        | 1.60        | 1.60        |             |             |
| 36   | 2.20        | 1.80        | 1.60        | 1.60        |             |             |
| >36  | Note 1      | Note 1      | Note 1      | Note 1      |             |             |

Stainless Steel / Duplex stainless steel Flanges

| DN   | 150#        | 300#        | 600#        | 900#        | 1500#       | 2500#       |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Inch | ASME/ Peq+P | ASME/ Peq+P | ASME/ Peq+P | ASME/ Peq+P | ASME/ Peq+P | ASME/ Peq+P |
| ≤6   | 3.00        | 2.40        | 1.80        | 1.50        | 1.60        | 1.50        |
| 8    | 3.00        | 2.40        | 1.80        | 1.50        | 1.60        | 1.50        |
| 10   | 3.00        | 2.40        | 1.60        | 1.50        | 1.60        | 1.50        |
| 12   | 3.00        | 2.10        | 1.60        | 1.50        | 1.60        | 1.50        |
| 14   | 2.20        | 1.80        | 1.60        | 1.50        | 1.50        |             |
| 16   | 2.20        | 1.80        | 1.50        | 1.50        | 1.50        |             |
| 18   | 2.20        | 1.80        | 1.50        | 1.50        | 1.50        |             |
| 20   | 2.20        | 1.80        | 1.50        | 1.50        | 1.50        |             |
| 24   | 2.00        | 1.80        | 1.50        | 1.50        | 1.50        |             |
| 26   | 2.00        | 1.80        | 1.50        | 1.50        |             |             |
| 28   | 2.00        | 1.60        | 1.50        | 1.50        |             |             |
| 30   | 2.00        | 1.60        | 1.50        | 1.50        |             |             |
| 32   | 1.80        | 1.60        | 1.50        | 1.50        |             |             |
| 36   | 1.80        | 1.60        | 1.50        | 1.50        |             |             |
| >36  | Note 1      | Note 1      | Note 1      | Note 1      |             |             |

Note 1 : A check shall be performed, for all combinations flanges diameter / pressure rating not included in tables above.

Note 2 : For heterogeneous connections, check shall be performed with Stainless Steel table.

### 2.17.2. Gasket

Gasket adalah materi atau gabungan dari beberapa materi yang diapit diantara dua sambungan mekanis yang dapat dipisah. Fungsi utama dari gasket sendiri adalah untuk mencegah kebocoran selama jangka waktu tertentu.