

BAB II DASAR TEORI

2.1. Analisa Tegangan Pipa

Analisa Tegangan pipa atau *Pipe stress Analysis (PSA)* adalah satu cara untuk memastikan bahwa suatu sistem perpipaan dapat bekerja dengan mendapatkan berbagai kondisi pembebanan. Pembebanan statis dan dinamis yang diakibatkan oleh perubahan temperatur, gaya gravitasi, tekanan dari dalam pipa, perubahan pada jumlah fluida yang mengalir dan pengaruh aktivitas yang berkaitan dengan alam.

Analisa tegangan pipa pada umumnya untuk menjaga tegangan di dalam pipa, menentukan *support*, beban pada *nozzel*, dan tegangan bejana tekan pada *piping connection* dalam range yang diizinkan oleh *code/standard international* (ASME, ANSI, API, dsb) dan peraturan pemerintah. Analisa tegangan pipa biasa menggunakan pendekatan *finite element method* (metode elemen hingga) dengan memakai perangkat lunak yang sudah umum digunakan, yaitu Caesar II 2013, Autopipe, dsb.

2.1.1. Teori Tegangan-Regangan pada Pipa

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

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

- Dengan : σ = Tegangan (N/m²)
- F = Gaya yang diberikan (N)
- A = Luas penampang (m²)

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

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

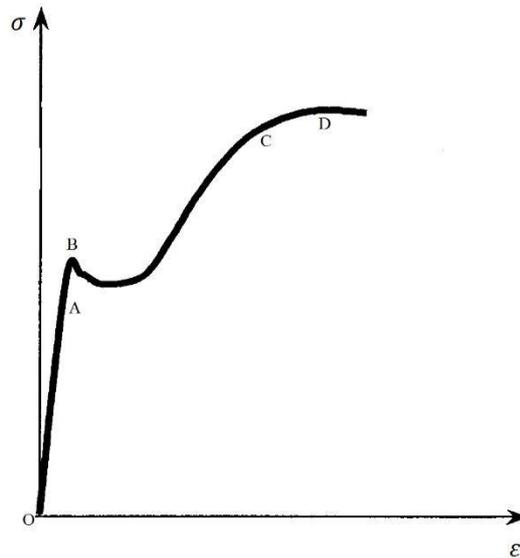
Dengan : ϵ = Regangan

ΔL = Perubahan panjang batang (m)

$$= L_1 - L$$

L_1 = Akhir panjang batang (m)

L = Panjang batang awal (m)



Gambar 2.1 Kurva Tegangan-Regangan. (Wijaya, 2018)

1. Titik A adalah batas proposional.

2. O-B adalah daerah elastis, dimana:

Regangan (deformasi = perubahan bentuk) akan sebanding dengan tegangan yang bekerja :

$$\sigma = E \cdot \epsilon \text{ (Hukum Hooke) } \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan : σ = Tegangan (N/m²)

E = Modulus elastisitas (N/m²)

ϵ = Regangan (m)

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

3. B-C adalah daerah plastis, dimana:
Tegangan yang bekerja melebihi kekuatan luluh (*yield strenght*) material, sehingga perubahan bentuk yang terjadi tidak kembali seperti semula walau beban ditiadakan.
4. C-D adalah daerah tegangan material tertinggi, dimana :
Tegangan mencapai harga kekuatan tarik (*tensile strength*) material, sehingga material akan mengecil di bagian tertentu dan akhirnya patah atau putus

1. Tegangan Normal

Tegangan normal (σ) adalah tegangan yang bekerja tegak lurus terhadap bidang pembebanan. Beban-beban yang terjadi pada tegangan normal adalah sebagai berikut:

a. Gaya Tarik

Kekuatan gaya tarik dapat diperoleh dengan melakukan uji tarik terhadap spesimen yang mempunyai luas penampang A dan panjang L, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2. Spesimen dijepit pada mesin uji lalu diberikan gaya tarik berlawanan arah, sampai spesimen tersebut putus. Spesimen tersebut akan mengalami penambahan panjang (ΔL) dan pengecilan luas penampang pada bagian yang memiliki kekuatan yang lebih besar.



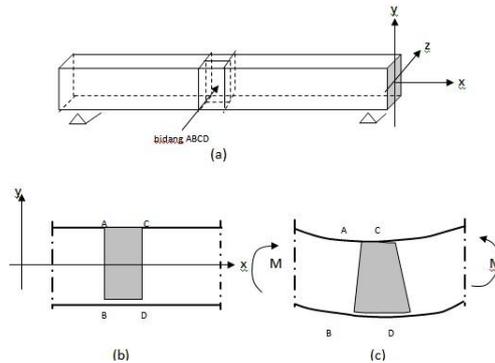
Gambar 2.2 Gaya Tarik. (Wijaya,2018)

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

- Dengan : σ_t = Tegangan tarik (N/m²)
 F = Gaya yang diberikan (N)
 A = Luas Penampang (m²)

b. Momen Lentur

Momen lentur timbul karena adanya gaya radial yang bekerja pada elemen batang dengan gaya radial yang bekerja pada elemen dan jarak yang tegak lurus terhadap titik tumpuan seperti yang ditunjukkan Gambar 2.3



Gambar 2.3 Momen Lentur.

Sehingga :

$$\sigma_L = \frac{M.y}{I_{zz}} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$M = F.L \dots\dots\dots (2.6)$$

$$I_{zz} = \frac{b.h^3}{12} \dots\dots\dots (2.7)$$

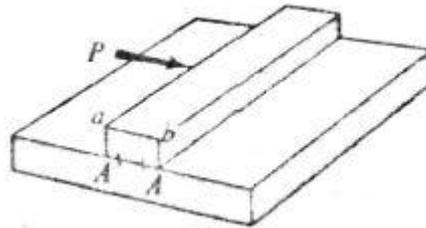
- Dengan: σ_L = Tegangan lentur (N/m²)
- M = Momen Lentur (N.m)
- I_{zz} = Momen inersia penampang (m⁴)
- Y = Jarak bidang netral ke permukaan terluar (m)

2. Tegangan Geser

Tegangan geser (τ) merupakan tegangan yang sejajar dengan pembebanan. Tegangan geser terjadi akibat dua gaya yang bekerja berlawanan arah pada suatu benda kerja, tegak lurus sumbu batang, tidak segaris gaya namun pada penampang tidak terjadi momen. Beberapa macam beban yang mengakibatkan terjadinya tegangan geser adalah sebagai berikut:

a. Gaya Geser

Gaya geser cenderung bekerja ke bagian bawah dan memutar benda searah jarum jam. Gaya geser ada dua macam yaitu geser ganda dan tunggal, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.4 ini gaya geser tunggal:



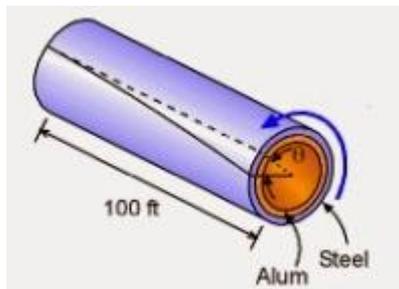
Gambar 2.4 Pembebanan yang Mengakibatkan Gaya Geser
(Pranata,2015)

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{p \times l} \dots\dots\dots (2.8)$$

- Dengan : τ = Tegangan geser (N/m²)
- F = Gaya geser yang bekerja (N)
- A = Luas Penampang (m²)

b. Moment Puntir

Sebuah material jika mengalami beban puntir, maka serat-serat antara penampang lintang akan mengalami pergeseran sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Batang Silindris dengan Beban Puntiran (Drient,2014)

Tegangan geser dari momen torsi, adalah:

$$\tau_p = \frac{T \cdot r}{I_p} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$I_p = \frac{\pi}{32} \cdot (d_o^4 - d_i^4) \dots\dots\dots (2.10)$$

- Dengan :
- τ_p = Tegangan puntir (N/m²)
 - r = Jarak serat dari sumbu netral (mm)
 - I_p = Momen inersia puntir
 - T = Torsi yang bekerja

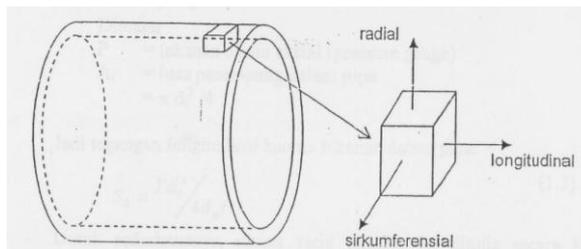
2.1.2. Teori Dasar Tegangan Pipa

Sistem perpipaan dapat dinyatakan rusak apabila tegangan yang terjadi telah melebihi tegangan izin. Tegangan pada pipa terjadi akibat beban luar seperti beban mati, pemuaian termal, tekanan dan bergantung pada geometri pipa juga jenis material yang digunakan pipa. Tegangan izin banyak ditentukan oleh metode produksi dan jenis materialnya.

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

- a. Tegangan pipa aktual, merupakan tegangan hasil pengukuran dengan cara perhitungan manual ataupun menggunakan perangkat lunak pada komputer
- b. Tegangan pipa kode, merupakan tegangan hasil perhitungan persamaan tegangan yang tertera pada kode standar tertentu.

Tegangan adalah besaran vektor yang memiliki besar nilai dan arah. Nilai tegangan dinyatakan sebagai gaya (F) per satuan luas (A). Untuk mendefinisikan arah pada tegangan pipa, sebuah sumbu pipa dibuat saling tegak lurus, seperti pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Prinsip Arah Tegangan pada Pipa (Wijaya, 2018)

Sumbu berada di bidang tengah dinding pipa, arah yang sejajar dengan panjang pipa disebut sumbu aksial atau longitudinal. Sumbu yang tegak lurus terhadap dinding pipa dengan arah gerak dari sudut pipa menuju luar pipa disebut sumbu radial, dan sumbu yang sejajar dengan dinding pipa namun tegak lurus dengan sumbu aksial disebut sumbu tangensial.

2.1.3. Tegangan pada Pipa

1. Tegangan Longitudinal

Tegangan longitudinal adalah tegangan yang bekerja sejajar dengan arah aksial dengan sumbu pipa akibat *internal pressure*. Contoh tegangan longitudinal akibat tekanan dalam pipa seperti pada Gambar 2.7.

a). Tegangan longitudinal akibat gaya

$$\sigma_L = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2.11)$$

- Dengan :
- σ_L = Tegangan longitudinal (N/mm²)
 - F = Gaya
 - = $P \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2$
 - A = Luas penampang
 - = $\pi(d_o^2 - d_i^2)/4$
 - = $\pi \cdot d_m \cdot t$

atau

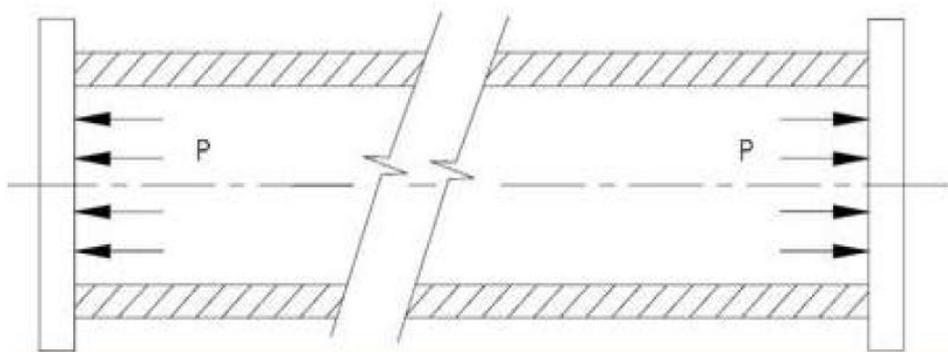
$$\sigma_L = \frac{P \cdot d_i^2}{(d_o^2 - d_i^2)} \dots\dots\dots (2.12)$$

- Dengan :
- σ_L = Tegangan longitudinal (N/mm²)
 - P = Tekanan internal (MPa)
 - d_i = Diameter dalam pipa (mm)
 - d = Diameter rata-rata (mm)
 - d_o = Diameter luar (mm)
 - t = Tebal dinding pipa (mm)

b) Tegangan longitudinal akibat tekanan dalam pipa

$$\sigma_L = \frac{P \cdot d_o}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (2.13)$$

- Dengan : σ_L = Tegangan longitudinal (N/mm²)
 P = Tekanan internal (MPa)
 d_o = Diameter luar (mm)
 t = Tebal dinding pipa (mm)



Gambar 2.7 Tegangan Longitudinal Dalam Pipa (Panggabean, 2017)

2. Tegangan Radial

Tegangan radial mempunyai arah yang sama dengan sumbu radial

$$S_R = P \frac{1}{(R_o^2 - R_i^2)} \cdot (R_i^2 - \frac{R_i^3 - R_i^2}{R^2}) \dots\dots\dots (2.14)$$

- Dengan : S_R = Tegangan radial (N/mm²)
 P = Tekanan desain (MPa)
 R_o = Jari-jari diameter luar (mm)
 R_i = Jari-jari diameter dalam (mm)
 R = Rata-rata dari jari-jari (mm)

3. Tegangan Hoop

Tegangan hoop merupakan tegangan yang terjadi pada bidang kerja yang memiliki bentuk melingkar seperti pipa dan lainnya. Tegangan hoop disebabkan oleh tekanan didalam pipa yang disebabkan oleh fluida yang dialirkan dan

cenderung membelah pipa menjadi dua (Maulana,2016). Gambar 2.8 menunjukkan contoh tegangan hoop pada pipa.

$$\sigma_H = \frac{P \left(r_i^2 + \frac{r_o^2}{r^2} \right)}{(r_o^2 - r_i^2)} \dots\dots\dots(2.15)$$

- Dengan :
- σ_H = Tegangan Hoop (N/mm²)
 - P = Tekanan internal (MPa)
 - r_o = Jari-jari diameter luar (mm)
 - r_i = Jari-jari diameter dalam (mm)
 - r = Jarak jari-jari ke titik tertentu (mm)

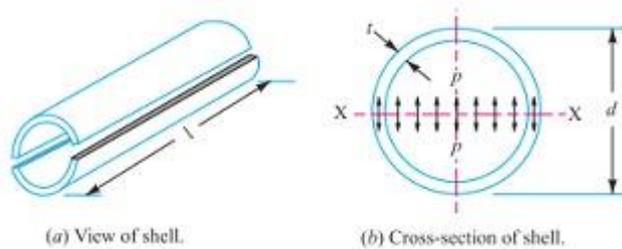
Untuk pipa dinding tipis dapat dilakukan penyederhanaan penerusan rumus tegangan pipa tangensial dengan mengasumsi gaya akibat tekanan dalam bekerja sepanjang pipa, yaitu $F = P \cdot d_i \cdot L$ ditahan oleh dinding pipa seluas $A_m = 2 \cdot t \cdot L$ jadi rumus untuk tegangan tangensial sebagai berikut:

$$\sigma_H = \frac{P \cdot d_i}{2 \cdot t} \dots\dots\dots(2.16)$$

Atau

$$\sigma_H = \frac{P \cdot d_o}{2 \cdot x} \dots\dots\dots(2.17)$$

- Dengan :
- σ_H = Tegangan Hoop (N/mm²)
 - P = Tekanan internal (MPa)
 - d_i = Diameter rata-rata (mm)
 - d_o = Diameter luar (mm)
 - t = Tebal dinding pipa



Gambar 2.8 Arah Tegangan hoop (Drient,2014)

4. Torsional Stress

Torsional stress adalah tegangan yang disebabkan oleh beban puntir yang terjadi pada pipa.

$$\tau_T = \frac{T \cdot c}{J} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$\tau_T = \frac{M_r}{2Z} \dots\dots\dots(2.19)$$

- Dengan :
- τ_T = Tegangan torsional (N/mm²)
 - T = Torsi (N.mm)
 - c = Jarak dari sumbu netral ke permukaan terluar (mm)
 - J = Momen torsional (N.mm)
 - Z = Modulus penampang pipa (mm³)

5. Bending Stress

Bending Stress adalah tegangan yang terjadi karena momen lentur (*bending*) yang terjadi pada benda kerja.

$$S_b = \sqrt{S_{by}^2 + S_{bz}^2} = \frac{1}{Z} \sqrt{M_y^2 + M_z^2} \dots\dots\dots(2.20)$$

- Dengan :
- S_b = Resultan tegangan longitudinal akibat momen lentur(kPa)
 - M_y, M_z = Momen lentur pada penampang pipa (N.mm)
 - Z = Modulus permukaan pipa (mm³)

2.1.4. Kode Standar Desain Pipa

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

Beberapa kode standar desain pipa yang banyak digunakan sebagai referensi untuk mendesain atau membuat sistem perpipaan di indonesia:

- ASME/ANSI B31.1 untuk pipa pembangkit listrik
- ASME/ANSI B31.3 untuk pipa proses dan petrokimia

- ASME/ANSI B31.4 untuk pipa transportasi minyak dan zat cair lainnya.
- ASME/ANSI B31.5 untuk pipa pendingin
- ASME/ANSI B31.8 untuk pipa transportasi bahan bakar gas
- ASME/ANSI B31.9 untuk pipa pada gedung
- ASME/ANSI B31.11 untuk pipa transportasi *slurry*

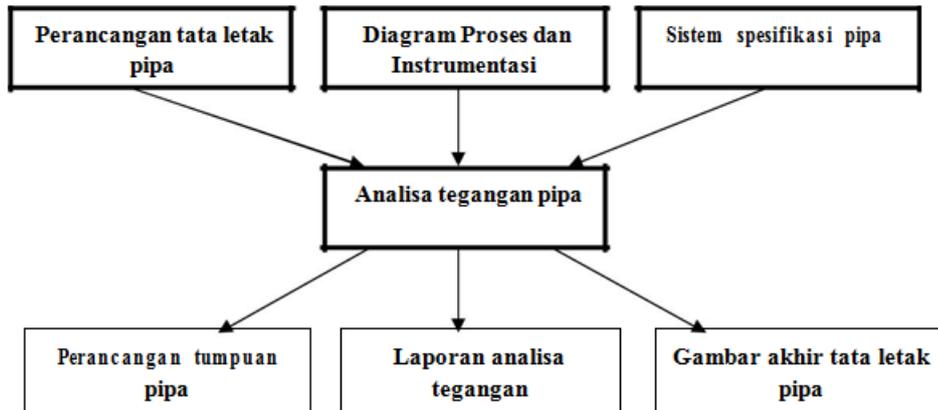
Selain ASME/ANSI B31.1, ada beberapa kode standar pipa yang lain, baik dari Amerika maupun dari negara lain, seperti:

- ASME *Boiler and Pressure Vessel*, Section III, Subsection NB, NC, ND untuk sistem perpipaan di industri pembangkit listrik tenaga nuklir
- API kode seri untuk industri di bidang Migas
- Stoomwezen dari Belanda
- SNCT kode dari Perancis untuk petrokimia
- Canadian Z6662 dari Kanada
- NORWEGIAN dan DNV dari Norwegia

Kode standar desain pipa ini bukanlah petunjuk perancangan yang memberi perintah bagaimana cara merancang atau membuat sistem perpipaan. Kode standar pipa ini hanya sebuah alat untuk mengkaji sebuah sistem perpipaan dengan persamaan yang telah disederhanakan guna menentukan besarnya tegangan dan memastikan keamanan pada sistem perpipaan.

2.1.5. Analisa Tegangan Pipa Tahap Perancangan

Analisa tegangan pipa merupakan salah satu bagian proses perancangan sistem perpipaan dan pipa transport, dan berkaitan kuat dengan perancangan tumpuan pipa. Berikut adalah hubungan antara beberapa disiplin ilmu yang berkaitan dengan analisa tegangan pipa, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9



Gambar 2.9 Hubungan Antara Beberapa Disiplin Ilmu.

Hasil 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 pernakat lunak. Hasil –hasil yang diperoleh dapat digunakan sebagai acuan perubahan tata letak pipa, tumpuan pipa, dan penyusunan laporan analisa tegangan.

2.1.6. Persamaan Tegangan pada Sitem Perpipaan

Tegangan pada pipa meliputi tegangan akibat pembebanan *sustained*, *expansi termal* dan *occasional*. Nilai tegangan pada pipa tidak boleh melebihi tegangan izin berdasarkan ASME B31.3. (Wardani dkk.,2017).

Pembatasan tegangan menurut *code* ASME B31.3 adalah sebagai berikut:

1. Tegangan Karena Beban *Sustained*

Sustained load merupakan istilah lain dari longitudinal *stress* (Guyen,2018)

Beban *sustained* meliputi:

- Tekanan internal
- Berat perpipaan
- Berat fluida

Aturan aman dinyatakan dengan rumus:

$$S_L < S_h \dots\dots\dots(2.21)$$

$$S_L = \frac{F}{A_m} + \frac{\sqrt{(i_i.M_i)^2 + (i_o.M_o)^2}}{Z} + \frac{PD_o}{4t} \dots\dots\dots(2.22)$$

Dengan: S_L = Tegangan longitudinal akibat beban *sustained*
 A_m = Luas penampang pipa (mm²)
 i_i = In-plane SIF
 i_o = Out-plane SIF
 M_i = Momen lendutan in-plane karena *sustained load* (N.m)
 M_o = Momen lendutan out-plane karena *sustained load* (N.m)
 P = Tekanan internal (Mpa)
 D_o = Diameter luar pipa (mm)
 t = Tebal dinding pipa
 S_h =Tegangan dasar yang diizinkan oleh material menurut Appendix A dari ASME/ANSI B31.3

2. Tegangan Karena Beban *Ekspansi*

Tegangan kombinasi yang diakibatkan oleh perbedaan temperatur (beban *ekspansi* termal). Aturan yang aman dinyatakan dengan rumus:

$$S_L < S_A \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana:

$$S_E = \sqrt{S_b^2 + 4 \cdot S_t^2} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$S_b = \sqrt{\frac{(i_i \cdot M_i)^2 + (i_o \cdot M_o)^2}{Z}} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$S_A = f(1,25S_c + 0,25S_h) \dots\dots\dots(2.26)$$

Dengan: S_E = *Displacement stress range* (kPa)
 S_A =*Allowable stress range* (kPa)
 S_b = *Resultan bending stress* (kPa)
 i_i = *In-plane SIF*
 i_o = *Out-plane SIF*
 M_i = Momen lendutan in-plane karena *sustained ekspansi* (N.m)
 M_o = Momen lendutan out-plane karena *sustained ekspansi* (N.m)
 S_t = $Mt/2 Z$ =*Torsional stress* (kPa)

3. Tegangan Karena Beban *Occasional*

Tegangan kombinasi ini disebabkan karena perpindahan tumpuan, *anchor*, misalnya diakibatkan gempa bumi, angin, dan atau gaya lain yang intensitasnya secara singkat dan jarang terjadi (Nabila, 2017). Aturan aman dinyatakan sebagai berikut:

$$S_L + S_{occ} < 1,33.S_h \dots\dots\dots(2.27)$$

$$S_{occ} = \sqrt{\frac{(i_{i,occ}.M_{i,occ})^2 + (i_{o,occ}M_{o,occ})^2}{Z}} \dots\dots\dots(2.28)$$

Dengan : S_L = Tegangan longitudinal akibat beban *sustained*

A_m = Luas penampang pipa (mm²)

i_i = *In-plane* SIF

i_o = *Out-plane* SIF

M_i = Momen lendutan *in-plane* karena *sustained load* (N.m)

M_o = Momen lendutan *out-plane* karena *sustained load* (N.m)

S_h = Tegangan dasar yang diizinkan oleh material menurut Appendix A dari ASME/ANSI B31.3

Z = *Section modulus* pipa (m³)

Tabel 2.1 Siklus Termal pada Pipa.

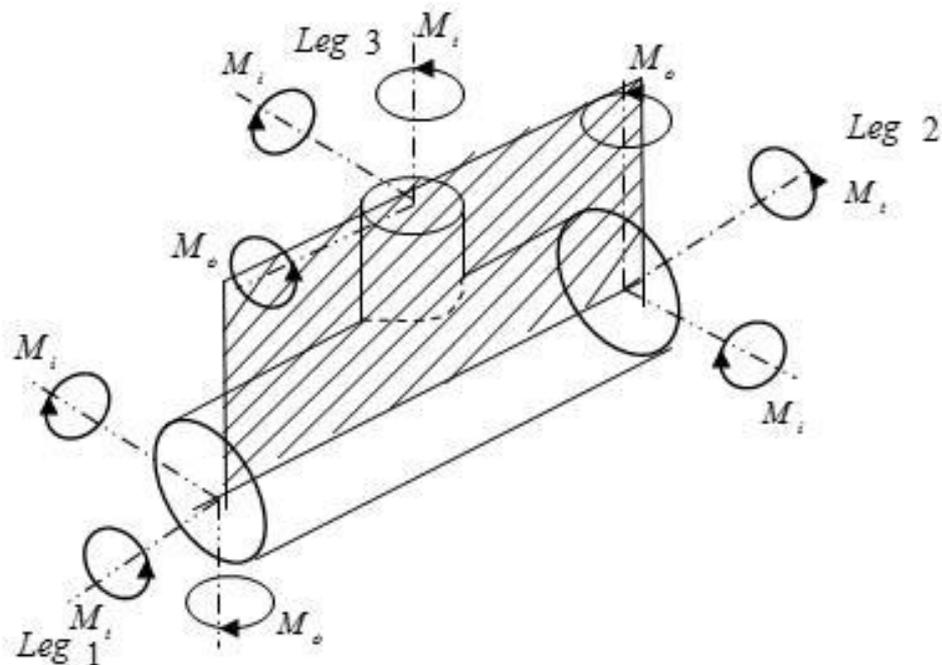
Siklus Termal (N)	F
<7000	1
7000<N<14000	0,9
14000<N<22000	0,8
22000<N<45000	0,7
45000<N<100000	0,6
N>100000	0,5

Dari Tabel 2.1 dapat ditentukan siklus termal (N)=1 per hari untuk daerah tropis, sehingga perbaris merupakan akumulasi untuk 19 tahun desain perpipaan.

2.1.7. Stress Intensification Faktor (SIF)

Stress Intensification Faktor adalah keamanan yang digunakan sebagai perhitungan pengaruh tegangan terkonsentrasi akibat diskontinuitas bidang yang diberi pembebanan. SIF ini diterapkan pada komponen pipa yang terdapat konsentrasi tegangan dan kemungkinan kegagalan karena lelah terjadi seperti pada *fitting*, sambungan las, dan lain sebagainya. Contoh SIF pada *tee* seperti pada Gambar 2.10 dibawah ini .SIF dapat dirumuskan menjadi

$$i = SIF = \frac{\text{Max stress intensity}}{\text{Nominal stress}} \dots\dots\dots(2.29)$$



Gambar 2.10 Prinsip Arah Tegangan pada Pipa.

2.1.8. Defleksi

Defleksi adalah perubahan bentuk pada suatu benda yang disebabkan oleh pembebanan yang diberikan terhadap benda tersebut. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai defleksi.

1. Kekakuan bahan

Kekakuan bahan merupakan kemampuan suatu benda untuk menahan beban tanpa mengalami perubahan bentuk atau deformasi. Semakin besar nilai kekakuan maka semakin kecil deformasi yang terjadi.

2. Nilai pembebanan

Nilai pembebanan berbanding lurus dengan nilai defleksi. Semakin besar nilai pembebanan maka semakin besar juga nilai defleksinya, begitu juga sebaliknya.

3. Jenis tumpuan

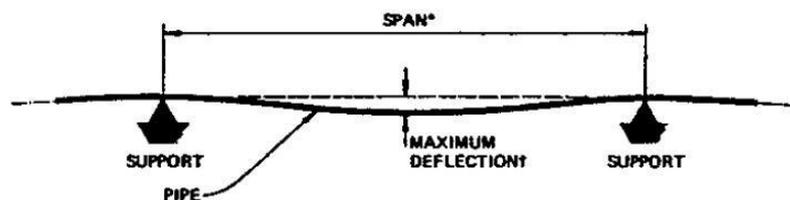
Tumpuan berpengaruh karena jumlah reaksi dan arah yang berbeda tiap jenisnya, sehingga defleksi yang terjadi juga berbeda.

4. Jenis pembebanan

Beban terdistribusi merata dengan beban titik, keduanya memiliki kurva defleksi yang berbeda-beda. Pada pembebanan terdistribusi merata *slope* yang terjadi pada bagian batang yang paling dekat lebih besar dari *slope* titik. Ini karena sepanjang batang mengalami beban sedangkan pada beban titik hanya terjadi pada beban titik tertentu.

2.1.9. Defleksi pada Sistem Perpipaan

Untuk menghindari terjadinya defleksi pipa, ketentuan span atau jarak antara *support* pada pipa sudah dibuat. Pada Gambar 2.11 menunjukkan defleksi yang terjadi di jalur pipa lurus.



Gambar 2.11 *Pipe Span* (Sumber : Sherwood dkk, 1973)

Pada Tabel 2.2 dapat dilihat nilai ijin berdasarkan bahan pipa dan standar ketebalan dinding.

Tabel 2.2 Defleksi Ijin (Sherwood dkk, 1973)

SPANS OF HORIZONTAL PIPE						TABLE S-1
THESE TABLES GIVE SPANS SUITABLE FOR PIPE ARRANGED IN PIPEWAYS, AND APPLY WHEN THE SPAN IS PART OF A STRAIGHT PIPE, WITH TWO OR MORE SPANS AT EACH END.						FOR VALUES OF BENDING STRESS & MODULUS, REFER TO CHARTS S-2
STEEL PIPE, SCHEDULE 160						
NOMINAL PIPE SIZE	PIPE SPAN*		WEIGHT OF WATER-FILLED PIPE SPAN (Lb)	MAXIMUM DEFLECTION* (In.)		
	Ft.	In.				
1.0-INCH	15	8.77	48	0.234		
1.5-INCH	19	3.28	105	0.243		
2.0-INCH	21	6.79	182	0.243		
2.5-INCH	23	9.87	275	0.245		
3.0-INCH	26	3.66	438	0.245		
4.0-INCH	29	9.30	793	0.245		
6.0-INCH	36	2.01	1,970	0.245		
8.0-INCH	41	2.89	3,732	0.245		
10.0-INCH	45	11.75	6,465	0.244		
12.0-INCH	50	0.40	9,801	0.244		
14.0-INCH	52	4.67	12,186	0.243		
16.0-INCH	56	0.99	16,875	0.244		
18.0-INCH	59	5.13	22,582	0.244		
20.0-INCH	62	8.17	29,266	0.244		
24.0-INCH	66	7.74	45,923	0.244		
STEEL PIPE, SCHEDULE 20						
NOMINAL PIPE SIZE	PIPE SPAN*		WEIGHT OF WATER-FILLED PIPE SPAN (Lb)	MAXIMUM DEFLECTION* (In.)		
	Ft.	In.				
8.0-INCH	34	6.46	1,551	0.172		
10.0-INCH	36	4.22	2,324	0.152		
12.0-INCH	37	9.18	3,199	0.139		
14.0-INCH	41	0.64	4,385	0.149		
16.0-INCH	42	4.07	5,593	0.139		
18.0-INCH	43	2.92	6,984	0.129		
20.0-INCH	46	7.22	9,553	0.135		
24.0-INCH	48	2.35	13,437	0.120		
30.0-INCH	54	11.58	24,415	0.125		
STEEL PIPE, SCHEDULE 10						
NOMINAL PIPE SIZE	PIPE SPAN*		WEIGHT OF WATER-FILLED PIPE SPAN (Lb)	MAXIMUM DEFLECTION* (In.)		
	Ft.	In.				
1.0-INCH	15	11.14	29	0.240		
1.5-INCH	18	5.62	56	0.223		
2.0-INCH	19	11.77	84	0.209		
2.5-INCH	21	7.24	127	0.202		
3.0-INCH	22	10.63	182	0.186		
4.0-INCH	24	5.31	288	0.164		
6.0-INCH	27	5.75	632	0.141		
8.0-INCH	29	9.72	1,103	0.128		
10.0-INCH	32	0.93	1,782	0.119		
12.0-INCH	33	11.37	2,592	0.112		
14.0-INCH	38	5.23	3,809	0.131		
16.0-INCH	39	4.50	4,866	0.120		
18.0-INCH	40	1.82	6,087	0.111		
20.0-INCH	40	8.77	7,454	0.103		
24.0-INCH	41	9.43	10,530	0.090		
ALUMINUM PIPE, SCHEDULE 80						
NOMINAL PIPE SIZE	PIPE SPAN*		WEIGHT OF WATER-FILLED PIPE SPAN (Lb)	MAXIMUM DEFLECTION* (In.)		
	Ft.	In.				
1.0-INCH	17	4.67	18	0.414		
1.5-INCH	20	2.26	41	0.386		
2.0-INCH	22	0.19	66	0.367		
2.5-INCH	24	5.26	110	0.376		
3.0-INCH	26	4.25	169	0.357		
4.0-INCH	28	11.94	295	0.336		
6.0-INCH	33	11.69	719	0.314		
8.0-INCH	37	6.31	1,306	0.294		
10.0-INCH	39	8.42	1,985	0.264		
ALUMINUM PIPE, SCHEDULE 40						
NOMINAL PIPE SIZE	PIPE SPAN*		WEIGHT OF WATER-FILLED PIPE SPAN (Lb)	MAXIMUM DEFLECTION* (In.)		
	Ft.	In.				
1.0-INCH	16	8.12	16	0.381		
1.5-INCH	18	11.07	34	0.339		
2.0-INCH	20	3.81	55	0.313		
2.5-INCH	22	10.19	93	0.327		
3.0-INCH	24	4.06	142	0.305		
4.0-INCH	26	4.46	244	0.278		
6.0-INCH	29	10.16	569	0.242		
8.0-INCH	32	8.17	1,029	0.223		
10.0-INCH	35	3.12	1,696	0.208		
STEEL PIPE, SCHEDULE 40						
NOMINAL PIPE SIZE	PIPE SPAN*		WEIGHT OF WATER-FILLED PIPE SPAN (Lb)	MAXIMUM DEFLECTION* (In.)		
	Ft.	In.				
1.0-INCH	16	1.07	33	0.244		
1.5-INCH	19	0.49	69	0.237		
2.0-INCH	20	11.53	107	0.230		
2.5-INCH	23	3.20	183	0.234		
3.0-INCH	25	3.65	273	0.227		
4.0-INCH	28	1.01	458	0.218		
6.0-INCH	32	10.37	1,035	0.202		
8.0-INCH	36	7.40	1,836	0.193		
10.0-INCH	40	0.55	2,987	0.185		
12.0-INCH	42	11.48	4,386	0.180		
14.0-INCH	44	11.52	5,463	0.179		
16.0-INCH	47	10.83	7,640	0.178		
18.0-INCH	50	10.65	10,289	0.179		
20.0-INCH	52	11.02	12,880	0.174		
24.0-INCH	57	5.84	19,844	0.171		

2.1.10. Analisa Kebocoran Flange

Analisa kebocoran membahas mengenai masalah kebocoran yang terjadi pada sistem perpipaan akibat dari beban yang terjadi. Metode ini digunakan untuk menganalisa dan memeriksa kebocoran yang terjadi pada sistem perpipaan agar

tidak melebihi beban ijin yang ditetapkan pada komponen-komponen *fitting* pada sistem perpipaan. Salah satunya menganalisa kebocoran pada *flange*.

Pemeriksaan kebocoran pada *flange* dengan metode perhitungan menggunakan tekanan *equivalen* (P_{eq}) berdasarkan standar ASME B16.5 adalah:

$$\frac{P_{eq}+P}{\beta} < P_{ASME} \dots\dots\dots(2.30)$$

Dengan : P_{ASME} = Tekanan kerja pada temperatur desain (bar)

P = Tekanan operasi (bar)

P_{eq} = Tekanan *equivalen*(bar)

β = Koefisien beta pada *static loads* dan *dynamic loads*

Sedangkan, nilai tekanan *equivalen* (P_{eq}) berdasarkan standar ASME B16.5 adalah:

$$P_{eq} = \frac{509296 \times MF}{G^3} + \frac{127 \times FA}{G^2} \dots\dots\dots(2.30)$$

Dengan : P_{eq} = Tekanan *equivalen* (bar)

MF = Resultan momen lentur pada kondisi desain (DaN.m)

FA = Gaya aksial pada kondisi desain (DaN)

G = Diameter Gasket efektif (mm)

$$MF = \sqrt{M_i^2 + M_o^2} \dots\dots\dots(2.31)$$

Tabel 2.3 Koefisien Beta pada *Static Loads* (PSA-002)

Beta Coefficients (β) 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 2.4 Koefisien Beta pada *Static Loads* and *Dinamic Loads* (PSA-002)

Beta Coefficients (β) 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		

2.2. Sistem Perpipaan

Sistem perpipaan merupakan proses untuk memindah fluida dari satu tempat ke tempat yang lain (dalam hal ini bisa minyak mentah atau gas) , yang dilengkapi dengan fasilitas pendukung.

Yang termasuk dalam sistem perpipaan adalah sebagai berikut:

1. Pipa
2. *Fitting* (*elbow, tee, flange, reducer*, dll)
3. Instrumentasi (peralatan untuk mengendalikan dan mengukur parameter aliran fluida, seperti temperatur, laju aliran massa, tekanan, level ketinggian, dll)
4. *Equipment* (bejana tekan, penukar kalor, pompa, kompresor ,dll)
5. Penyangga pipa (*support* atau *hanger*)
6. Koponen khusus (*drain, strainer, vent*, dll)

2.2.1. Pipa

Pipa merupakan suatu komponen yang berbentuk silindris yang dapat mengalirkan fluida dari suatu tempat atau beberapa titik ke suatu tempat atau beberapa titik lainnya.

1. Jenis Pipa

a. Pipa *seamless*

Pipa *seamless* merupakan pipa yang tidak memiliki sambung. Terdapat beberapa cara dalam pembuatan pipa *seamless*, yaitu :

- *Casting* (Pengecoran)
- *Forging* (Penempaan)
- *Rolling*

b. Pipa *welded*

Pipa *welded* terbuat dari bahan plat yang di roll kemudian dilas pada kedua ujungnya. Proses tersebut berdasarkan pengelasannya dibedakan menjadi dua yaitu:

- Electric Resistance Welding (ERW), berdasarkan tahanan listriknya
- Electric Fusion Welding (EFW), dengan pemanas filter metal oleh gas.

2. Material Pipa

Material pipa yang digunakan pada umumnya adalah *carbon steel* yang memiliki kandungan minimum berupa Cr, Ni, Mo yang akan menambah kekuatan, kekakuan dan ketahan terhadap korosi.

Semua material yang digunakan pada industri telah didefinisikan oleh ASTM dan ASME. Pada ketentuan kedua lembaga itu meliputi komposisi, *finishing*, sifat mekanik, dan tes yang diperlakukan terhadap material. Berikut beberapa material pipa dan aplikasinya dapat dilihat pada Tabel 2.5

Tabel 2.5 Contoh Beberapa Spesifikasi Material Pipa dan Pengaplikasiannya.

No	Spesifikasi	Produk	Range NPS	Aplikasi
1	ASTM A-53	<i>Seamless / Welded</i>	1/8" – 26"	<i>Ordinary use in gas, air, oil, water, steam</i>
2	ASTM A-106	<i>Seamless</i>	1/8" – 48"	<i>High-temperature service (steam, water, gas, etc.)</i>
3	ASTM A-369	<i>Forged & Bored</i>	Custom	<i>High-temperature service</i>
4	ASTM A-335	<i>Seamless</i>	Custom	<i>High-temperature service</i>
5	ASTM A-333	<i>Seamless / Welded</i>	1/8" & larger	<i>Service requiring excellent fracture toughness at low temperature</i>
6	ASTM A-671	<i>EFW (Electric Fusion Welded)</i>	16" and larger	<i>Low-temperature service</i>

No	Spesifikasi	Produk	Range NPS	Aplikasi
7	ASTM A-672	<i>EFW (Electric Fussion Welded)</i>	<i>16" and larger</i>	<i>Moderate- temperature service</i>
8	ASTM A-691	<i>EFW (Electric Fussion Welded)</i>	<i>16" and larger</i>	<i>High-temperature service</i>
9	ASTM A-312	<i>Seamless / Welded</i>	<i>1/8" & larger</i>	<i>Low to High- temperature and corrosive service</i>
10	API 5L	<i>Seamless / Welded</i>		<i>Line pipe, refinery, and transmission service</i>

(Nayyar, Mohindel. L:2000)

3. NPS (*Nominal pipe size*), *Schedule*, Diameter, dan Ukuran Tebal Pipa

NPS (*Nominal pipe size*) dan nomor *schedule* digunakan untuk mengidentifikasi sebuah pipa. NPS menunjukkan diameter nominal pipa dalam satuan inchi. NPS digunakan untuk mempermudah saat perdagangan pipa atau pembelian pipa. *Schedule* pipa untuk menunjukkan ketebalan dinding pipa.

Tebal dinding pipa didefinisikan dengan:

1. Nomor *schedule* (Standar ANSI atau ASME)
2. *API designation* (Standar API)
3. *Manufacturer's weight* (standar ASTM)

Ukuran tebal dinding pipa sesuai beberapa standar adalah sebagai berikut :

1. Standar ANSI atau ASME

No.*schedule* :5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 160

2. Standar ASTM (*Manufacture's Weight*)

Schedule STD (*standard*), XS (*extra strong*), XXS (*double extra strong*)

3. Standar API

Nilai *schedule* menurut API, dapat dilihat pada Tabel 2.6

Tabel 2.6 Table Pipa (Sherwood dkk, 1973)

PIPE DATA											TABLES P-1							
NPS (inch)	PIPING CODES and MANUFACTURERS' WEIGHTS	DIMENSIONS			WEIGHTS		AREAS				Moment of Inertia (in ⁴)	Section Modulus (in ³)	Radius of Gyration (in.)	Continuous Spans		Code Pressure		
		O.D. (in.)	I.D. (in.)	Wall (in.)	Empty (lb/ft)	WaterFilled (lb/ft)	External (in ² /ft)	Internal (in ² /ft)	Flow (in ²)	Metal (in ²)				Span (ft)	Sag (in.)	Design (KPSI)	Bursting (KPSI)	
2.50	SCH 40 STD API	2.875	2.469	.2030	5.807	7.881	108.4	93.08	4.788	1.704	1.530	1.064	.9474	23.2	.172	.865	2.88	
	SCH 80 XS API	2.875	2.323	.2760	7.680	9.515	108.4	87.58	4.238	2.254	1.924	1.339	.9241	23.7	.196	1.37	4.56	
	SCH 160	2.875	2.125	.3750	10.04	11.57	108.4	80.11	3.547	2.945	2.353	1.637	.8938	23.8	.212	2.09	6.96	
	XOS API	2.875	1.771	.5520	13.73	14.80	108.4	66.77	2.463	4.028	2.871	1.997	.8442	23.2	.216	3.49	11.6	
3.00	API	3.500	3.250	.1250	4.517	8.109	131.9	122.5	8.296	1.325	1.890	1.080	1.194	23.1	.105	.286	.955	
	API	3.500	3.188	.1560	5.585	9.042	131.9	120.2	7.982	1.639	2.296	1.312	1.184	24.1	.127	.451	1.50	
	API	3.500	3.124	.1880	6.666	9.986	131.9	117.8	7.665	1.956	2.691	1.538	1.173	24.8	.146	.624	2.08	
	SCH 40 STD API	3.500	3.068	.2160	7.595	10.80	131.9	115.7	7.393	2.228	3.017	1.724	1.164	25.3	.159	.777	2.59	
	API	3.500	3.000	.2500	8.699	11.76	131.9	113.1	7.069	2.553	3.390	1.937	1.152	25.7	.173	.965	3.22	
	API	3.500	2.938	.2810	9.684	12.62	131.9	110.8	6.779	2.842	3.709	2.119	1.142	25.9	.183	1.14	3.80	
	SCH 80 XS API	3.500	2.900	.3000	10.28	13.14	131.9	109.3	6.605	3.016	3.894	2.225	1.136	26.0	.188	1.25	4.16	
	SCH 160	3.500	2.624	.4380	14.36	16.70	131.9	98.92	5.408	4.213	5.039	2.879	1.094	26.3	.210	2.07	6.89	
	XOS API	3.500	2.300	.6000	18.63	20.43	131.9	86.71	4.155	5.466	5.993	3.424	1.047	25.9	.217	3.10	10.3	
	4	API	4.500	4.250	.1250	5.855	12.00	169.6	160.2	14.19	1.718	4.114	1.828	1.547	24.7	.082	.141	.470
		API	4.500	4.188	.1560	7.255	13.22	169.6	157.9	13.78	2.129	5.028	2.235	1.537	26.0	.102	.267	.890
		API	4.500	4.124	.1880	8.679	14.46	169.6	155.5	13.36	2.547	5.930	2.636	1.526	27.0	.121	.399	1.33
API		4.500	4.062	.2190	10.04	15.65	169.6	153.1	12.96	2.945	6.765	3.007	1.516	27.7	.136	.528	1.76	
SCH 40 STD API		4.500	4.026	.2370	10.82	16.33	169.6	151.8	12.73	3.174	7.233	3.214	1.510	28.1	.144	.604	2.01	
API		4.500	4.000	.2500	11.38	16.82	169.6	150.8	12.57	3.338	7.563	3.361	1.505	28.3	.149	.659	2.20	
API		4.500	3.938	.2810	12.69	17.97	169.6	148.5	12.18	3.724	8.324	3.699	1.495	28.7	.161	.791	2.64	
API		4.500	3.876	.3120	13.99	19.10	169.6	146.1	11.80	4.105	9.050	4.022	1.485	29.0	.170	.924	3.08	
SCH 80 XS API		4.500	3.826	.3370	15.02	20.00	169.6	144.2	11.50	4.407	9.610	4.271	1.477	29.2	.177	1.03	3.44	
SCH 160		4.500	3.438	.5310	22.56	26.58	169.6	129.6	9.283	6.621	13.27	5.898	1.416	29.8	.208	1.91	6.38	
XOS API		4.500	3.152	.6740	27.61	30.99	169.6	118.8	7.803	8.101	15.28	6.793	1.374	29.6	.216	2.61	8.69	
6		API	6.625	6.249	.1880	12.96	26.24	249.8	235.6	30.67	3.802	19.71	5.950	2.277	30.1	.084	.214	.713
	API	6.625	6.187	.2190	15.02	28.04	249.8	233.2	30.06	4.407	22.63	6.833	2.266	31.2	.098	.300	1.00	
	API	6.625	6.125	.2500	17.06	29.82	249.8	230.9	29.46	5.007	25.47	7.690	2.256	32.1	.111	.387	1.29	
	SCH 40 STD API	6.625	6.065	.2800	19.02	31.53	249.8	228.6	28.89	5.581	28.14	8.496	2.245	32.8	.122	.472	1.57	
	API	6.625	6.001	.3120	21.09	33.34	249.8	226.2	28.28	6.188	30.90	9.329	2.235	33.5	.133	.563	1.88	
	API	6.625	5.937	.3440	23.13	35.12	249.8	223.8	27.68	6.788	33.57	10.14	2.224	34.0	.142	.654	2.18	
	SCH 80 XS API	6.625	5.761	.4320	28.64	39.93	249.8	217.2	26.07	8.405	40.49	12.22	2.195	35.0	.165	.910	3.03	
	SCH 120	6.625	5.501	.5620	36.48	46.77	249.8	207.4	23.77	10.70	49.61	14.98	2.153	35.8	.187	1.30	4.33	
	SCH 160	6.625	5.187	.7190	45.46	54.61	249.8	195.5	21.13	13.34	59.03	17.82	2.104	36.1	.204	1.79	5.95	
	XOS	6.625	4.897	.8640	53.29	61.45	249.8	184.6	18.83	15.64	66.33	20.02	2.060	36.1	.212	2.25	7.51	
	8	API	8.625	8.249	.1880	16.98	40.12	325.2	311.0	53.44	4.983	44.36	10.29	2.984	32.0	.062	.143	.476
		API	8.625	8.219	.2030	18.30	41.28	325.2	309.8	53.06	5.371	47.65	11.05	2.978	32.7	.068	.175	.582
API		8.625	8.187	.2190	19.71	42.51	325.2	308.6	52.64	5.783	51.12	11.85	2.973	33.4	.074	.209	.695	
SCH 20		8.625	8.125	.2500	22.42	44.87	325.2	306.3	51.85	6.578	57.72	13.38	2.962	34.5	.086	.275	.915	
SCH 30		8.625	8.071	.2770	24.76	46.91	325.2	304.3	51.16	7.265	63.35	14.69	2.953	35.4	.095	.332	1.11	
API		8.625	8.001	.3120	27.77	49.54	325.2	301.6	50.28	8.148	70.49	16.34	2.941	36.3	.106	.408	1.36	
SCH 40 STD API		8.625	7.981	.3220	28.62	50.29	325.2	300.9	50.03	8.399	72.49	16.81	2.938	36.6	.110	.430	1.43	
API		8.625	7.937	.3440	30.50	51.92	325.2	299.2	49.48	8.949	76.85	17.82	2.930	37.1	.116	.477	1.59	
API		8.625	7.875	.3750	33.12	54.21	325.2	296.9	48.71	9.719	82.86	19.21	2.920	37.7	.125	.545	1.82	
SCH 60		8.625	7.813	.4060	35.73	56.49	325.2	294.5	47.94	10.48	88.74	20.58	2.909	38.2	.133	.613	2.04	
API		8.625	7.749	.4380	38.39	58.81	325.2	292.1	47.16	11.27	94.66	21.95	2.899	38.6	.140	.684	2.28	
SCH 80 XS API		8.625	7.625	.5000	43.50	63.27	325.2	287.5	45.66	12.76	105.7	24.51	2.878	39.4	.153	.822	2.74	
SCH 100		8.625	7.437	.5940	51.07	69.89	325.2	280.4	43.44	14.99	121.5	28.17	2.847	40.2	.170	1.03	3.45	
SCH 120		8.625	7.187	.7190	60.86	78.43	325.2	270.9	40.57	17.86	140.7	32.62	2.807	40.8	.186	1.32	4.41	
SCH 140		8.625	7.001	.8120	67.92	84.59	325.2	263.9	38.50	19.93	153.7	35.65	2.777	41.1	.195	1.54	5.14	
XOS API		8.625	6.875	.8750	72.60	88.68	325.2	259.2	37.12	21.30	162.0	37.56	2.757	41.2	.200	1.69	5.65	
SCH 160		8.625	6.813	.9060	74.88	90.66	325.2	256.8	36.46	21.97	165.9	38.47	2.748	41.2	.202	1.77	5.90	

Thru NPS 10, wall thicknesses for SCH 40S and SCH 80S stainless steel pipes are the same as for SCH 40 and SCH 80 carbon steel pipes

4. Penentuan Rating Pipa

Penentuan rating pipa ditentukan sesuai ketebalan pipa / nomor *schedule*.

Penentuan tebal minimum pipa adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{P.D}{2S_a} + A \dots\dots\dots (2.32)$$

Dengan : t = Tebal dinding pipa minimum yang dibutuhkan (inchi)

P = Tekanan internal (lb/in²,psig)

S_a = Tegangan izin material (lbf/in²,psi)

A = Allowance (untuk faktor korosi , $A=1/8''$)

2.2.2. Fitting

Fitting adalah sebuah komponen dalam sistem perpipaan yang digunakan untuk membelokkan arah pipa, menyambung pipa diameter berbeda, melakukan percabangan pipa dan menyambung pipa dengan peralatan.

Jenis *fitting* dapat digolongkan menurut cara penyambungan di tiap ujung *fitting* tersebut. Metode penyambungan dapat digolongkan seperti berikut:

- *Socket-Welding*

Digunakan pada sambungan tahan bocor (fluida yang berbahaya), tekanan operasi tinggi, dan digunakan untuk jalur pipa NPS 2'' atau lebih kecil. Namun ketahanan terhadap getaran dan *bending* kurang. Pada sambungan ini terdapat sedikit celah sehingga jarang terkena korosi celah oleh cairan yang terjebak.

- *Butt-Welding*

Digunakan untuk jalur NPS 2'' atau lebih besar dan memiliki ketahanan terhadap getaran dan momen *bending* yang tinggi. Pada umumnya digunakan untuk perpipaan proses, *utility*, dan *service*.

- *Screwed/Threaded*

Digunakan pada operasi tekanan rendah, untuk jalur NPS 2'' dan lebih kecil. Dalam pemasangan mudah, namun ketahanan terhadap getaran dan *bending* kurang. *Fitting* ini banyak digunakan pada pipa *service* dan pipa proses

1. Penentuan Rating /Kelas *Fitting* Jenis Sambungan Ujung *Butt-welding*

Penggunaan *fitting butt-welding* rating tekanan dan *schedule* menyesuaikan dengan rating dan kelas pipanya. Misalnya, pada jalur pipa NPS 5'' Sch XS, maka digunakan *fitting* yang menggunakan 5'' dan Sch XS.

2. Penentuan Rating/Kelas *Fitting* Sambungan *Socket-welded* dan *Threaded*

Fitting jenis sambungan *socket-welded* memiliki rating tekanan 3000, 6000, dan 9000. Untuk *fitting* jenis sambungan *threaded* mempunyai rating tekanan 2000, 3000, dan 6000

Menurut Santoso (2016) terdapat hubungan antara *schedule* dengan rating pipa untuk *fitting* berjenis sambungan ujung *threaded* dan jenis sambungan *socket-welded*, seperti pada tabel 2.7

Tabel 2.7 Hubungan sambungan *Socket-Welding* dan *Threaded*.

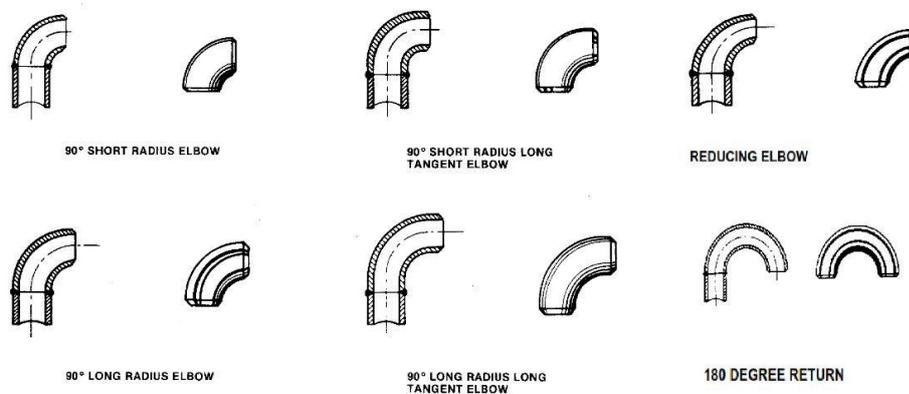
Pressure Class	2000	3000	6000	9000
<i>Socket-Welded Fitting</i>	-	80/XS	160	XXS
<i>Threaded Fitting</i>	80/XS	160	XXS	-

Dilihat dari fungsi dan bentuknya *fitting* terdapat beberapa macam, antara lain:

a) BW *Elbow* sudut 45° dan 90° digunakan untuk membelokkan aliran.

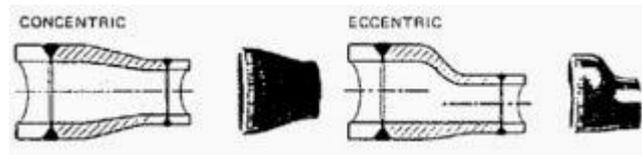
Berdasarkan radiusnya, *elbow* digolongkan menjadi:

- SR (*Short Radius*)
- LR (*Long Radius*)
- *Straight Elbow*
- *Reducing Elbow*



Gambar 2.12 Jenis –jenis *Elbow*. (Bechtel, 1996)

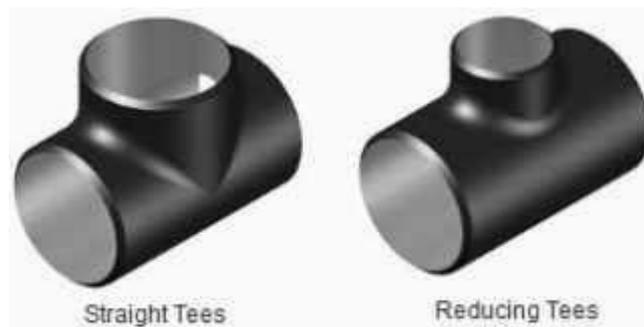
- b) *Bw Reducer* digunakan untuk merubah diameter pipa dari yang kecil ke yang besar dan sebaliknya. Berdasarkan garis sumbunya *reducer* dibedakan menjadi dua jenis, yaitu *concentrick* dan *eccentrik* yang dapat dilihat pada Gambar 2.13



Gambar 2.13 *Concentric dan Eccentric Reducer* (Drient: 2014)

c. *Tee*

Fitting tee berfungsi untuk pembagi aliran fluida pada sistem perpipaan. *Tee* dapat dilihat pada Gambar 2.14



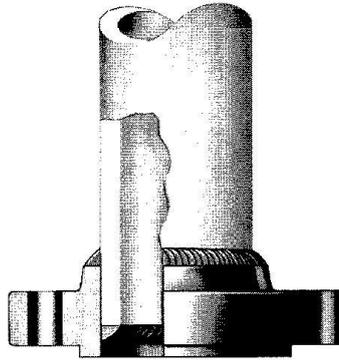
Gambar 2.14 *Straight Tees dan Reducing Tees.*

d. *Flange*

Flange merupakan komponen pipa yang berguna untuk menyambung antara pipa dan *strainer*, *valve*, *reducer* serta komponen lainnya. *Flange* terdiri dari beberapa jenis, diantaranya adalah:

- *Slip On Flange*

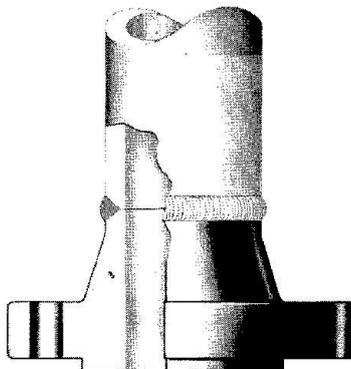
Slip on flange mempunyai diameter dalam yang rata, ketika penyambungan menggunakan proses pengelasan pada sisi dalam dan luar *flange*. *Flange* jenis ini memiliki ketahanan yang kurang terhadap beban kejut dan getaran. *Slip on flange* dapat dilihat pada Gambar 2.15



Gambar 2.15 *Slip On Flange* (Bechtel,1996)

- *Welding Neck Flange (WN Flange)*

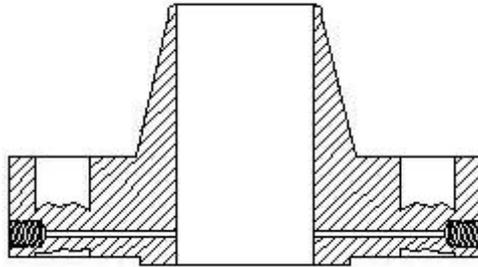
Weldneck flange adalah *flange* yang cara penyambungan menggunakan las. *Flange* ini banyak digunakan di *plan* karena mudah dalam penyambungan. *Flange* ini dapat digunakan pada tekanan yang tinggi. Bentuk *weldneck flange* dapat dilihat dalam Gambar 2.16



Gambar 2.16 *Welding Neck Flange* (Bechtel, 1996)

- *Orifice Flange*

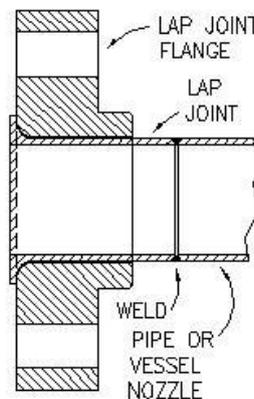
Oriface flange digunakan pada pipa yang perlu diketahui debit fluidanya. Bentuknya sama dengan *oriface* lainnya tetapi terdapat lubang untuk disambungkan ke alat ukur seperti *flow meter*. *Oriface flange* dapat dilihat pada Gambar 2.17



Gambar 2.17 Oriface Flange (Hartoyo, Ery: 2011)

- *Lapped Flange*

Lapped Flange memiliki dua bagian, bagian pertama seperti *slip on flange* dan bagian kedua seperti pipa namun pada muka pipa terdapat diameter yang lebih besar dari bagian dalam *flange* yang akan terkena gaya tekan ketika mur dan baut dikencangkan. *Lapped flange* dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Lapped Flange (Hartoyo, Ery: 2011)

3. Penentuan Rating /Kelas Fitting Jenis Flange

Kelas jenis *flange* dalam pembagiannya tergantung dengan diameter pipanya. Untuk pipa NPS s/d 24” menggunakan ASME B16.5 sedangkan untuk pipa NPS 26”- 60” menggunakan ASME B16.47. Material group dapat dilihat pada Tabel 2.8 dan *rating flange* dapat dilihat pada Tabel 9

Tabel 2.8 Material Specification (ASME B16.5, 2013)

Table 1A List of Material Specifications

Material Group	Nominal Designation	Pressure–Temperature Rating Table	Applicable ASTM Specifications [Note (1)]		
			Forgings	Castings	Plates
1.1	C–Si	2-1.1	A105	A216 Gr. WCB	A515 Gr. 70
	C–Mn–Si	2-1.1	A350 Gr. LF2	...	A516 Gr. 70
	C–Mn–Si	2-1.1	...	...	A537 Cl. 1
	C–Mn–Si–V	2-1.1	A350 Gr. LF6 Cl. 1	...	...
	3½ Ni	2-1.1	A350 Gr. LF3	...	...
1.2	C–Mn–Si	2-1.2	...	A216 Gr. WCC	...
	C–Mn–Si	2-1.2	...	A352 Gr. LCC	...
	C–Mn–Si–V	2-1.2	A350 Gr. LF6 Cl. 2	...	...
	2½Ni	2-1.2	...	A352 Gr. LC2	A203 Gr. B
	3½Ni	2-1.2	...	A352 Gr. LC3	A203 Gr. E
1.3	C–Si	2-1.3	...	A352 Gr. LCB	A515 Gr. 65
	C–Mn–Si	2-1.3	...	...	A516 Gr. 65
	2½Ni	2-1.3	...	...	A203 Gr. A
	3½Ni	2-1.3	...	...	A203 Gr. D
	C–½Mo	2-1.3	...	A217 Gr. WC1	...
	C–½Mo	2-1.3	...	A352 Gr. LC1	...
1.4	C–Si	2-1.4	...	...	A515 Gr. 60
	C–Mn–Si	2-1.4	A350 Gr. LF1 Cl. 1	...	A516 Gr. 60
1.5	C–½Mo	2-1.5	A182 Gr. F1	...	A204 Gr. A
	C–½Mo	2-1.5	...	...	A204 Gr. B
1.7	½Cr–½Mo	2-1.7	A182 Gr. F2	...	...
	Ni–½Cr–½Mo	2-1.7	...	A217 Gr. WC4	...
	¾Ni–¾Cr–1Mo	2-1.7	...	A217 Gr. WC5	...
1.9	1¼Cr–½Mo	2-1.9	...	A217 Gr. WC6	...
	1¼Cr–½Mo–Si	2-1.9	A182 Gr. F11 CL.2	...	A387 Gr. 11 Cl. 2
1.10	2¼Cr–1Mo	2-1.10	A182 Gr. F22 Cl. 3	A 217 Gr. WC9	A387 Gr. 22 Cl. 2
1.11	C–½Mo	2-1.11	...	...	A204 Gr. C
1.13	5Cr–½Mo	2-1.13	A182 Gr. F5a	A217 Gr. C5	...
1.14	9Cr–1Mo	2-1.14	A182 Gr. F9	A217 Gr. C12	...
1.15	9Cr–1Mo–V	2-1.15	A182 Gr. F91	A217 Gr. C12A	A387 Gr. 91 Cl. 2
1.17	1Cr–½Mo	2-1.17	A182 Gr. F12 Cl. 2	...	...
	5Cr–½Mo	2-1.17	A182 Gr. F5	...	...
1.18	9Cr–2W–V	2-1.18	A182 Gr. F92	...	...
2.1	18Cr–8Ni	2-2.1	A182 Gr. F304	A351 Gr. CF3	A240 Gr. 304
	18Cr–8Ni	2-2.1	A182 Gr. F304H	A351 Gr. CF8	A240 Gr. 304H
2.2	16Cr–12Ni–2Mo	2-2.2	A182 Gr. F316	A351 Gr. CF3M	A240 Gr. 316
	16Cr–12Ni–2Mo	2-2.2	A182 Gr. F316H	A351 Gr. CF8M	A240 Gr. 316H
	18Cr–13Ni–3Mo	2-2.2	A182 Gr. F317	...	A240 Gr. 317
	19Cr–10Ni–3Mo	2-2.2	...	A351 Gr. CG8M	...
2.3	18Cr–8Ni	2-2.3	A182 Gr. F304L	...	A240 Gr. 304L
	16Cr–12Ni–2Mo	2-2.3	A182 Gr. F316L	...	A240 Gr. 316L
	18Cr–13Ni–3Mo	2-2.3	A182 Gr. F317L	...	...

Tabel 2.9 Rating (ASME B16.47.,2013)

Table 2-1.1 Pressure–Temperature Ratings for Group 1.1 Materials

Nominal Designation	Forgings	Castings	Plates
C–Si	A105 (1)	A216 Gr. WCB (1)	A515 Gr. 70 (1)
C–Mn–Si	A350 Gr. LF2 (1)	...	A516 Gr. 70 (1), (2)
C–Mn–Si–V	A350 Gr. LF6 Cl 1 (3)	...	A537 Cl. 1 (4)
3½Ni	A350 Gr. LF3	...	...

Working Pressure by Classes, bar							
Temp., °C	Class						
	150	300	400	600	900	1500	2500
–29 to 38	19.6	51.1	68.1	102.1	153.2	255.3	425.5
50	19.2	50.1	66.8	100.2	150.4	250.6	417.7
100	17.7	46.6	62.1	93.2	139.8	233.0	388.3
150	15.8	45.1	60.1	90.2	135.2	225.4	375.6
200	13.8	43.8	58.4	87.6	131.4	219.0	365.0
250	12.1	41.9	55.9	83.9	125.8	209.7	349.5
300	10.2	39.8	53.1	79.6	119.5	199.1	331.8
325	9.3	38.7	51.6	77.4	116.1	193.6	322.6
350	8.4	37.6	50.1	75.1	112.7	187.8	313.0
375	7.4	36.4	48.5	72.7	109.1	181.8	303.1
400	6.5	34.7	46.3	69.4	104.2	173.6	289.3
425	5.5	28.8	38.4	57.5	86.3	143.8	239.7
450	4.6	23.0	30.7	46.0	69.0	115.0	191.7
475	3.7	17.4	23.2	34.9	52.3	87.2	145.3
500	2.8	11.8	15.7	23.5	35.3	58.8	97.9
538	1.4	5.9	7.9	11.8	17.7	29.5	49.2

2.2.3. Gasket

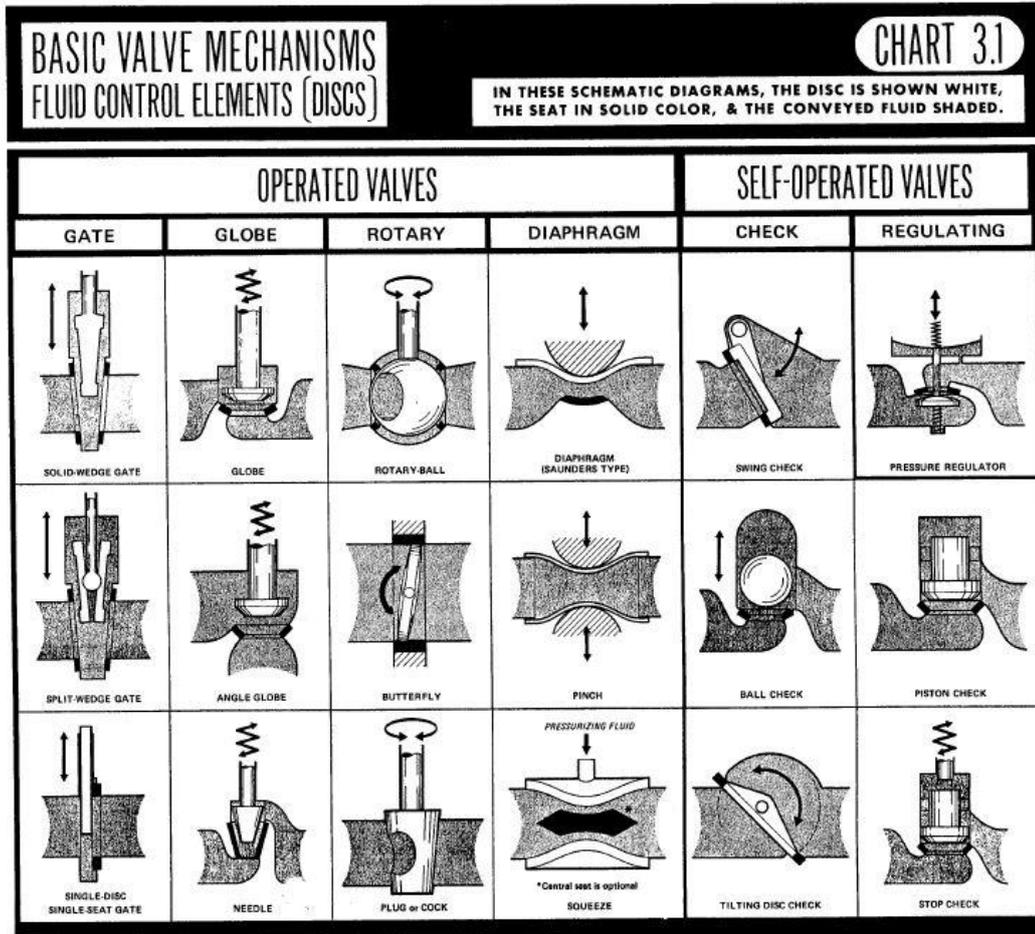
Gasket merupakan komponen yang terbuat dari karet. Karena sifatnya yang lentur banyak digunakan pada sambungan-sambungan pipa yang menggunakan *flange* dengan tujuan untuk menghindari kebocoran. *Gasket* dapat dilihat pada Gambar 2.19



Gambar 2.19 Gasket (Marissa,2013)

2.2.4. Valve

Valve merupakan komponen yang digunakan untuk mengatur laju aliran dalam sistem perpipaan . Terdapat berbagai jenis *valve* seperti pada Gambar 2.20



Gambar 2.19 Macam-macam *valve*.

2.2.5. Pipe Support

Pipe support adalah alat yang berfungsi untuk menahan pipa pada sistem perpipaan dengan tujuan untuk menahan beban pipa baik dari pipa itu sendiri atau beban dari fluida yang dialirkan (Pridyatama, 2014)

Lokasi *support* disesuaikan dengan banyak pertimbangan seperti ukuran pipa, bentuk pipa, lokasi pipa dan struktur yang tersedia untuk *support*.

Berikut macam-macam *support*:

1. Penyangga kaki bebek
2. Penyangga siku
3. Penyangga pembaringan pipa (*Pipe steeper*)
4. Penyangga gantung (*Pipe hanger*)