

BAB II DASAR TEORI

2.1 Analisa Tegangan Pipa

Pipe Stress Analysis (PSA) atau Analisa Tegangan Pipa merupakan suatu cara untuk menjamin bahwa sistem perpipaan dapat bekerja dengan mendapatkan berbagai kondisi pembebanan. Pembebanan akibat beban statis dan dinamis yang disebabkan oleh perubahan temperatur, gaya gravitasi, tekanan dari dalam dan luar pipa, perubahan pada jumlah fluida yang mengalir dan pengaruh aktivitas yang berkaitan dengan gempa bumi.

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

2.1.1 Teori Tegangan – Regangan pada Pipa

Tegangan (σ) dalam suatu elemen mesin merupakan 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 digunakan adalah baja. 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 permukaan (m²)

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

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

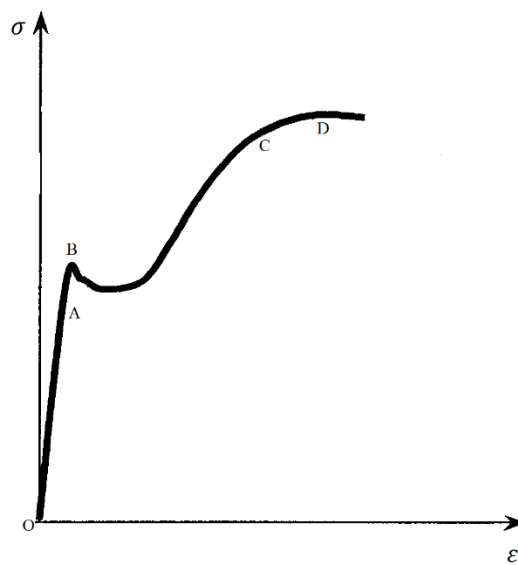
Dengan: ε = Regangan

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. (Peng, 2009)

Gambar 2.1 menjelaskan:

1. Titik A merupakan batas proporsional
2. Titik O - B merupakan daerah elastis, berlaku hukum Hooke, dimana: Regangan (deformasi = perubahan bentuk) akan sebanding dengan tegangan yang bekerja:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan: σ = Tegangan (N/m^2)

E = Modulus Elastisitas (N/m^2)

ε = Regangan (m)

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

3. B – C merupakan daerah plastis:

Tegangan yang bekerja melampaui kekuatan luluh material, maka perubahan bentuk yang terjadi akan permanen meski beban sudah diadakan.

4. C -D merupakan daerah tegangan material tinggi:

Tegangan mencapai harga kekuatan tarik material, maka material akan mengecil dibagian tertentu dan akhirnya putus/patah.

1. Tegangan Normal

Tegangan normal (σ) ialah tegangan yang bekerja tegak lurus terhadap bidang pembebanan. Adapun beban-beban yang menyebabkan terjadinya tegangan normal adalah sebagai berikut:

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 2.2. Spesimen dijepit pada mesin uji lalu diberikan gaya tarik berlawanan arah, hingga spesimen tersebut putus. Spesimen tersebut akan mengalami yang disebut pertambahan panjang (ΔL) dan pengecilan luas penampang pada bagian yang memiliki kekuatan yang lebih besar.



Gambar 2.2 Gaya Tarik. (Peng, 2009)

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

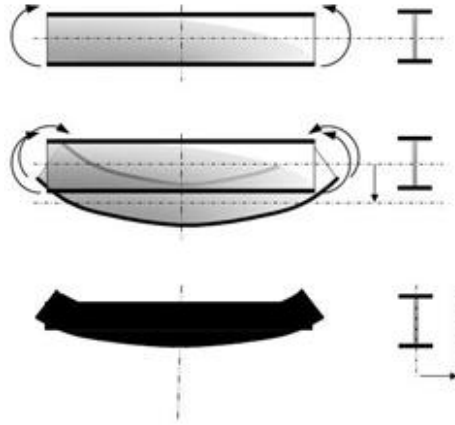
Dengan: σ_t = Tegangan tarik (N/m^2)

F = Gaya yang diberikan (N)

A = Luas penampang (m^2)

b. Momen Lentur

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



Gambar 2.3 Momen Lentur. (Kurniawan, 2016)

Sehingga:

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

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

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

Dengan: σ_L = Tegangan lentur (N/m²)

M = Momen Lentur (N.m)

I_{zz} = Momen inersia penampang (m⁴)

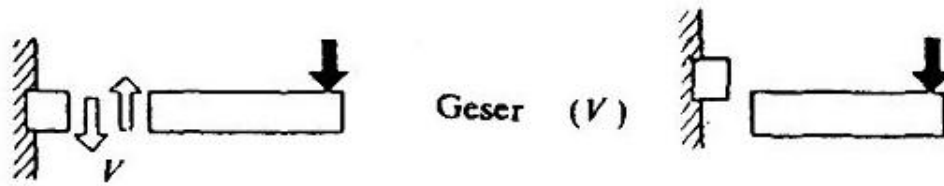
y = Jarak bidang netral ke permukaan terluar (m)

2. Tegangan Geser

Tegangan geser (τ) merupakan tegangan yang bekerja sejajar dengan bidang pembebanan. Tegangan terjadi disebabkan adanya beban yang bekerja pada suatu material. Tegangan ini banyak terjadi pada konstruksi. Macam-macam beban yang menyebabkan teradinya tegangan geser adalah sebagai berikut:

a. Gaya Geser

Gaya geser cenderung untuk memutar bahan searah jarum jam dan bekerja kebagian bawah. Gaya geser terdiri dari dua macam, yaitu gaya geser tunggal dan geser ganda, sebagaimana gaya geser tunggal ditunjukkan pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Gaya Geser Tunggal. (Kurniawan, 2016)

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{4F}{\pi d^2} \dots\dots\dots (2.8)$$

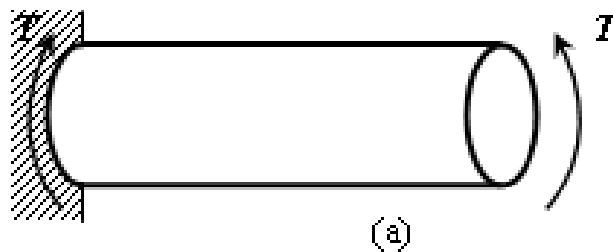
Dengan: τ = Tegangan geser (N/m²)

F = Gaya geser yang bekerja (N)

A = Luas penampang (m²)

b. Momen Puntir

Jika material mendapat beban puntiran, maka serat – serat antara suatu penampang lintang dengan penampang lintang yang lain akan mengalami pergeseran sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Batang Silindris dengan Beban Puntiran. (Kurniawan, 2016)

Tegangan geser akibat momen torsi, adalah:

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

$$I_p = \frac{\pi}{64} \cdot d^4 \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan: τ_p = Tegangan puntir (N/m²)

r = Jarak serat dari sumbu netral (mm)

T = Torsi yang bekerja

I_p = Momen inersia polar

2.1.2 Teori Dasar Tegangan Pipa

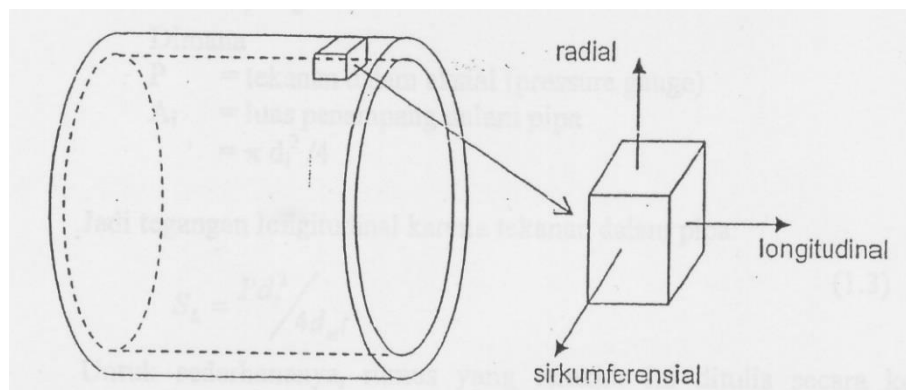
Suatu sistem perpipaan dinyatakan rusak apabila tegangan dalam yang terjadi telah melebihi tegangan yang diizinkan.

Tegangan dalam pipa terjadi karena beban luar seperti beban mati, tekanan, pemuaian termal dan bergantung pada geometri pipa juga jenis material pipa. Tegangan yang diizinkan banyak ditentukan oleh jenis material dan metode produksinya.

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

- Tegangan pipa aktual, merupakan tegangan hasil pengukuran dengan perhitungan secara manual maupun menggunakan perangkat lunak pada komputer.
- Tegangan pipa kode, merupakan tegangan hasil perhitungan berdasarkan persamaan tegangan yang tertera pada kode standar tertentu.

Tegangan adalah besaran vektor yang memiliki nilai dan juga arah. Nilai dari tegangan didefinisikan sebagai gaya (F) per satuan luas (A). Untuk mendefinisikan arah pada tegangan pipa, sebuah sumbu prinsip pipa dibuat saling tegak lurus, seperti yang ditunjukkan gambar 2.6.



Gambar 2.6 Prinsip Arah Tegangan pada Pipa.

Sumbu terletak di bidang tengah dinding pipa, salah satu arah yang sejajar dengan panjang pipa disebut sumbu aksial atau longitudinal. Sumbu yang tegak lurus terhadap dinding pipa dengan arahnya bergerak 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 merupakan tegangan yang bekerja dalam arah aksial yang sejajar dengan sumbu pipa akibat *internal pressure*. Pada Gambar 2.7 menunjukkan contoh tegangan longitudinal akibat tekanan dalam pipa.

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_m = Luas penampang pipa
 $= \pi(d_o^2 - d_i^2)/4$
 $= \pi \cdot d_m \cdot t$

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_m = Diameter rata - rata (mm)

d_o = Diameter luar (mm)

t = Tebal dinding pipa

b) Tegangan longitudinal akibat tekanan dalam pipa

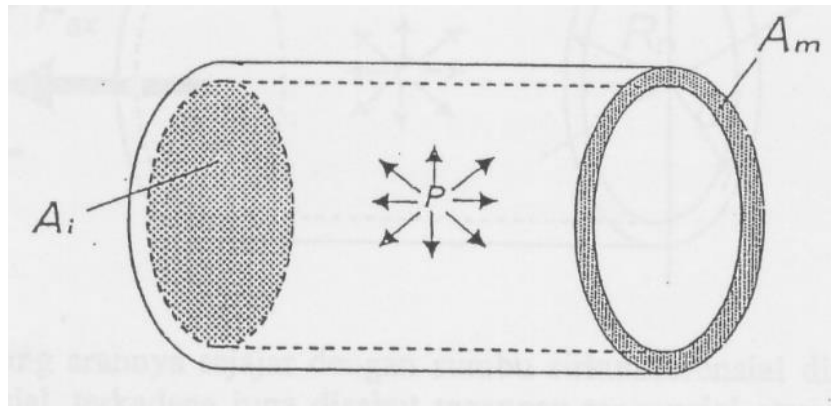
$$\sigma_L = \frac{P \cdot d_o}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dengan: σ_L = Tegangan longitudinal (N/mm²)

P = Tekanan internal (MPa)

d_o = Diameter luar (mm)

t = Tebal dinding pipa



Gambar 2.7 Tegangan Longitudinal Akibat Tekanan Dalam Pipa.

2. Tegangan Radial

Tegangan radial memiliki arah yang sama dengan sumbu radial.

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

Dengan: S_R = Tegangan radial (MPa)

P = Tekanan desain (N/mm^2)

R_o = Jari-jari diameter luar (mm)

R_i = Jari-jari diameter dalam (mm)

R = Rata-rata dari jari-jari (mm)

3. Tegangan Hoop

Hoop Stress adalah tegangan yang terjadi pada bidang kerja yang memiliki bentuk melingkar seperti pipa dan lainnya. Gambar 2.8 menunjukkan contoh *hoop stress* pada pipa.

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

Dengan: σ_H = Tegangan Hoop (N/mm^2)

P = Tekanan internal (MPa)

r_i = Jari-jari dalam pipa (mm)

r_o = Jari-jari luar pipa (mm)

r = Jarak jari-jari ke titik tertentu (mm)

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

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

Atau

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

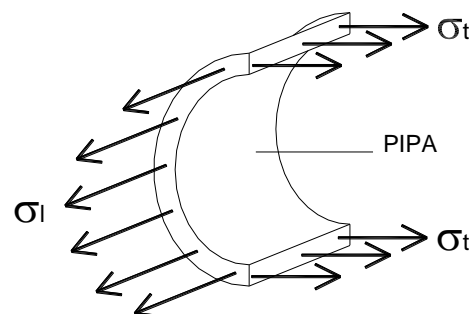
Dengan: σ_H = Tegangan hoop (N/mm²)

P = Tekanan internal (MPa)

d_i = Diameter dalam pipa (mm)

d_o = Diameter luar pipa (mm)

t = Tebal dinding pipa (mm)



Gambar 2.8 Tegangan Hoop. (Kurniawan, 2016)

4. Torsional Stress

Torsional stress merupakan tegangan yang diakibatkan oleh beban puntir yang terjadi pada pipa.

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

Atau:

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

Dengan: τ_T = Tegangan torsional (N/mm²)

T = Torsi (N.mm)

c = Jarak dari sumbu netral ke permukaan terluar (mm)

J = Momen inersia polar pada pipa (mm^4)

$$= \frac{\pi}{32} (D_o^4 - D_i^4)$$

M_t = Momen torsional (N.mm)

Z = Modulus penampang pipa (mm^3)

5. *Bending Stress*

Bending Stress merupakan tegangan yang terjadi diakibatkan adanya 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 = Tegangan longitudinal akibat momen lentur (kPa)

M_y, M_z = Momen lentur pada penampang pipa (N.mm)

Z = Modulus permukaan pipa (mm^3)

2.1.4 Kode Standar Desain Pipa

Kode standar desain pipa merupakan sebuah kumpulan persyaratan yang mengandung batasan dan aturan tentang *stress analysis*, *setting standard*, konstruksi, dan operasi sebuah sistem perpipaan. Sistem perpipaan dapat dinyatakan aman ketika semua kode standar desain pipa diikuti dengan baik.

Beberapa kode standar desain pipa yang banyak digunakan sebagai referensi untuk membuat/mendesain 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 transport minyak dan zat cair lainnya
- ASME/ANSI B31.5 untuk pipa pendingin
- ASME/ANSI B31.8 untuk pipa transport bahan bakar gas
- ASME/ANSI B31.9 untuk pipa pada gedung
- ASME/ANSI B31.11 untuk pipa transport slurry

Selain ASME/ANSI B31, ada beberapa kode standar pipa lain yang digunakan, baik standar Amerika maupun standar negara lain, yaitu:

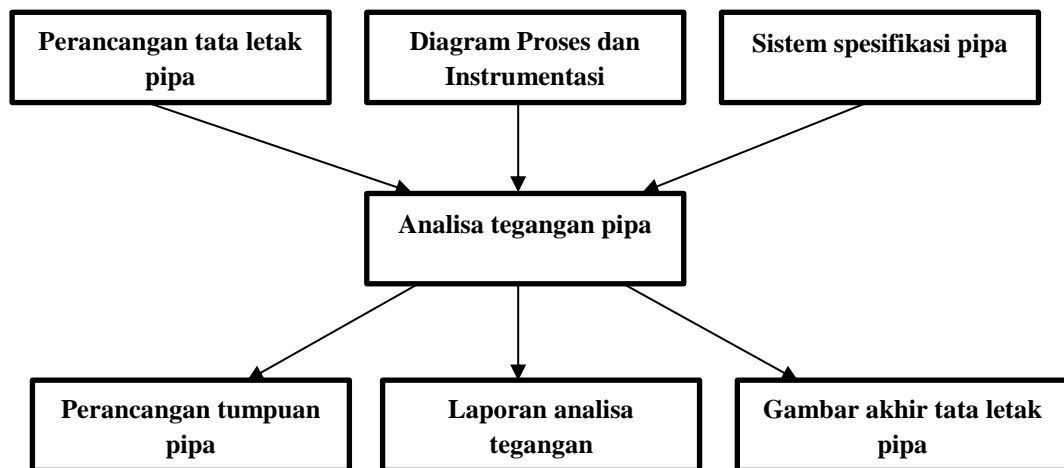
- ASME Boiler and Pressure Vessel, Section III, Subsection NB, NC, ND untuk sistem perpipaan di industri pembangkit listrik tenaga nuklir.
- API kode seri untuk industri bidang Migas
- Stoomwezen dari Belanda
- SNCT kode dari Perancis untuk petrokimia
- Canadian Z662 dari Kanada
- BS 7159 dari Inggris
- NORWEGIAN dan DNV dari Norwegia

Kode standar desain bukanlah buku petunjuk perancangan yang memberikan instruksi bagaimana cara merancang sistem perpipaan. Kode standar hanyalah sebuah alat untuk mengkaji sebuah rancangan sistem perpipaan dengan memberikan persamaan-persamaan yang disederhanakan untuk menentukan besarnya tegangan dan menjamin keamanan pada sistem perpipaan.

2.1.5 Analisis Tegangan Pipa Tahap Perancangan

Analisis tegangan pipa adalah salah satu bagian proses perancangan sistem perpipaan dan pipa transport, dan berkaitan erat dengan perancangan tumpuan pipa.

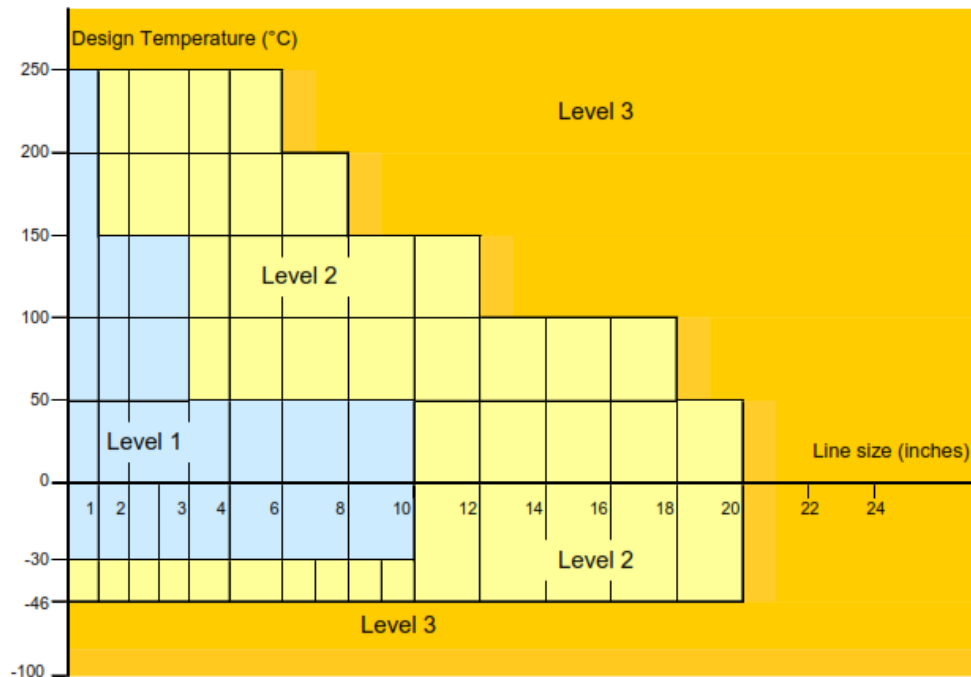
Berikut merupakan hubungan antara beberapa disiplin ilmu yang berkaitan dengan analisis tegangan pipa. Sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Hubungan Antara Beberapa Disiplin Ilmu.

Hasil dari kelompok analisa tegangan pipa merupakan gambar isometrik pipa beserta informasi tegangan, gaya, dan perpindahan, juga data input dan output dari perangkat lunak. Hasil yang dihasilkan digunakan sebagai acuan untuk merubah tata letak pipa dan tumpuan pipa.

Terdapat dua cara untuk menganalisa, berdasarkan ukuran pipa dan temperatur, yaitu: dengan cara manual dan bantuan perangkat lunak.



Gambar 2.10 Indikasi Jalur Pipa Kritis (PT. TOTAL E&P Indonesia, 2013)

Jalur pipa kritis sendiri merupakan jalur pipa yang diduga akan terjadi tegangan melebihi batas kekuatan izin material pipa. Jalur pipa kritis disebabkan oleh diameter pipa yang besar, temperatur yang tinggi, dan tekanan yang tinggi. Pada Gambar 2.10 dapat dilihat bahwa pada level 1 analisis tegangan pipa masih bisa dihitung secara manual, karena pada temperatur yang tinggi diameter pipa masih kecil dan pada diameter pipa yang mulai membesar temperatur pipa masih kecil. Namun pada level 2 dan 3, analisis harus dilakukan menggunakan perangkat lunak, karena sudah memiliki temperatur yang relatif tinggi dan diameter yang relatif besar.

2.1.6 Persamaan Tegangan pada Sistem Perpipaan

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

1. Tegangan Karena Beban *Sustained*

Beban *sustained* mencakup:

- Tekanan internal
- Berat perpipaan
- Berat fluida

Aturan aman dinyatakan dengan rumus:

$$S_L < S_h$$

$$S_L = \frac{F}{A_m} + \frac{\sqrt{(i_i M_i)^2 + (i_o M_o)^2}}{Z} + \frac{P D_o}{4t} \dots\dots\dots (2.21)$$

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 (kPa)

D_o = Diameter luar pipa (m)

t = Tebal dinding pipa (mm)

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

2. Tegangan Karena Beban *Occasional*

Tegangan kombinasi pipa karena beban perpindahan tumpuan, anchor, misalnya karena gempa bumi, angin, dan sebagainya. Aturan aman dinyatakan dengan rumus:

$$S_L + S_{occ} \leq 1,33 \cdot S_h \dots\dots\dots (2.22)$$

$$S_{occ} = \frac{\sqrt{(i_i \cdot M_i)^2 + (i_o \cdot M_o)^2}}{Z} \dots\dots\dots (2.23)$$

- Dengan: S_L = Tegangan longitudinal akibat beban *sustained* (kPa)
 S_h = Tegangan dasar yang diizinkan oleh material menurut Appendix A dari ASME / ANSI B31.3
 i_i = Inplane SIF
 i_o = Outplane SIF
 M_i = Inplane bending moment akibat beban occasional (N.m)
 M_o = Outplane bending moment akibat beban occasional (N.m)
 Z = *Section* modulus pipa (m^3)

3. Tegangan Karena Beban Ekspansi

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

$$S_E \leq S_A \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana:

$$S_E = \sqrt{S_b^2 + 4.S_t^2} \dots\dots\dots (2.25)$$

$$S_b = \sqrt{\frac{(i_i.M_i)^2 + (i_o.M_o)^2}{Z}} \dots\dots\dots (2.26)$$

$$S_A = f (1,25S_c + 0,25S_h) \dots\dots\dots (2.27)$$

- Dengan: S_E = Displacement stress range (kPa)
 S_A = Allowable stress (kPa)
 S_b = Resultan bending stress (kPa)
 i_i = Inplane SIF
 i_o = Outplane SIF
 M_i = Momen lentur in-plane karena beban ekspansi
 M_o = Momen lentur out-plane karena beban ekspansi
 M_T = Momen puntir karena beban ekspansi
 S_t = $M_t / 2 Z$ = Torsional stress (kPa)

- S_c = Tegangan dasar yang diizinkan oleh material menurut Appendix A dari ASME / ANSI B31.3 pada temperatur rendah
- S_h = Stress yang diizinkan untuk bahan pipa saat beroperasi (kPa)
- f = Faktor reduksi dengan mempertimbangkan kelelahan material (beban dinamis yang berulang)
- Z = *Section* modulus pipa (m^3)

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

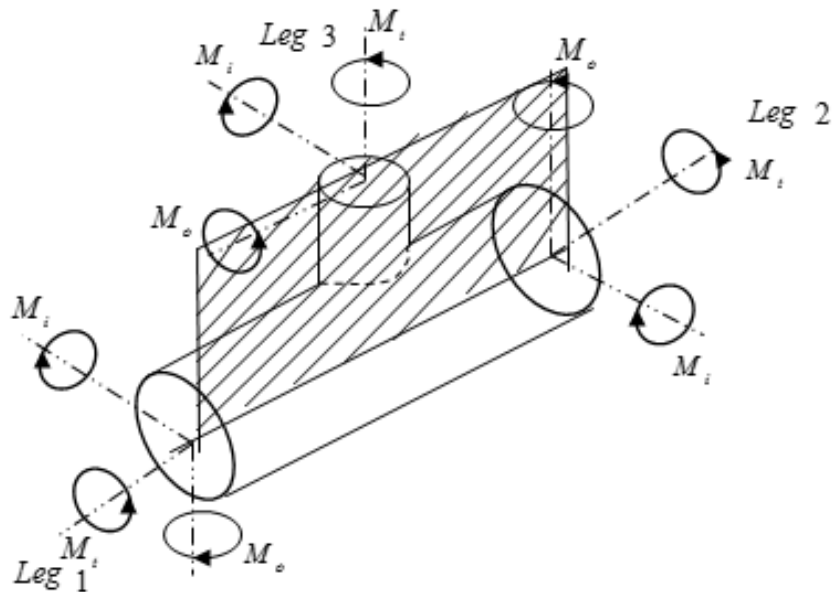
Dari tabel 2.1 dapat ditentukan siklus termal (N) = 1 per hari untuk daerah tropis, jadi perbaris merupakan akumulasi untuk 19 tahun desain sistem perpipaan.

2.1.7 Stress Intensification Factor (SIF)

Stress intensification factor merupakan faktor keamanan yang digunakan untuk memperhitungkan pengaruh tegangan terkonsentrasi akibat diskontinuitas bidang / permukaan yang diberi pembebanan. SIF ini diterapkan pada komponen-komponen pipa / tempat-tempat dimana terdapat konsentrasi tegangan dan kemungkinan kegagalan karena *fatigue* (lelah) terjadi seperti pada *fitting*, sambungan las, dan lain

sebagainya. Contoh SIF pada *tee* seperti pada Gambar 2.11 di bawah ini. SIF dapat dirumuskan menjadi

$$i = SIF = \frac{\text{Max stress intensity}}{\text{Nominal stress}} \dots\dots\dots (2.28)$$



Gambar 2.11 Prinsip Arah Tegangan pada Pipa.

2.1.8 Defleksi

Defleksi merupakan perubahan bentuk pada suatu benda atau bidang yang disebabkan oleh pembebanan yang diberikan pada benda atau bidang tersebut. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai defleksi

1. Kekakuan bahan

Kekakuan merupakan kemampuan suatu benda menahan beban tanpa mengalami perubahan bentuk atau deformasi. Semakin besar nilai kekakuan suatu bahan, semakin kecil juga defleksi yang akan terjadi.

2. Nilai pembebanan

Nilai pembebanan berbanding lurus dengan defleksi. Semakin besar pembebanan yang diberikan pada suatu benda semakin besar juga defleksi yang dihasilkan, begitupun sebaliknya.

3. Jenis tumpuan

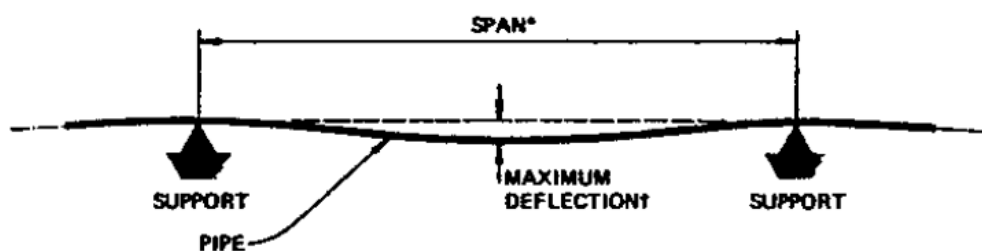
Tumpuan berpengaruh karena jumlah reaksi dan arah berbeda-beda tiap jenisnya, sehingga defleksi yang ditimbulkan juga berbeda.

4. Jenis pembebanan

Beban terdistribusi merata dengan beban titik, keduanya memiliki kurva defleksi yang berbeda-beda. Pada beban 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 saja (Hariandja, 1996)

2.1.9 Defleksi pada Sistem Perpipaan

Untuk menghindari kegagalan pada sistem perpipaan, ketentuan span atau bentang antar 2 tumpuan atau *support* pada pipa sudah dibuat. Pada Gambar 2.12 menunjukkan defleksi yang terjadi pada pipa lurus.



Gambar 2.12 Pipe span (Sumber : Sherwood dkk, 1973)

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

Tabel 2.2 Defleksi Ijin (Sherwood dkk, 1973)

SPANS OF HORIZONTAL PIPE

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.

TABLE S-1

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	795	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	68	7.74	45,923	0.244

STEEL PIPE, SCHEDULE 80				
NOMINAL PIPE SIZE	PIPE SPAN*		WEIGHT OF WATER-FILLED PIPE SPAN (Lb)	MAXIMUM DEFLECTION* (in.)
	Ft.	In.		
1.0-INCH	16	1.05	40	0.244
1.5-INCH	19	4.29	85	0.245
2.0-INCH	21	6.49	136	0.243
2.5-INCH	23	9.02	225	0.244
3.0-INCH	26	0.66	342	0.241
4.0-INCH	29	3.07	584	0.236
6.0-INCH	35	0.22	1,396	0.230
8.0-INCH	39	4.67	2,489	0.223
10.0-INCH	43	8.21	4,172	0.220
12.0-INCH	47	5.26	6,290	0.219
14.0-INCH	49	9.95	7,883	0.220
16.0-INCH	52	10.78	10,934	0.217
18.0-INCH	56	0.58	14,545	0.217
20.0-INCH	59	0.02	18,786	0.216
24.0-INCH	64	5.48	29,341	0.215

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

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	13,637	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	4,886	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

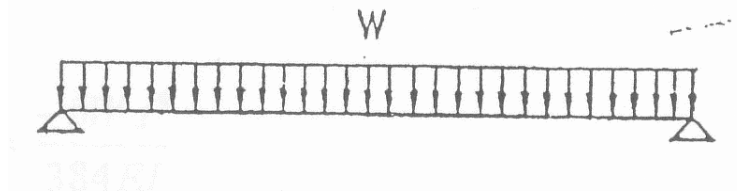
ALUMINUM PIPE, SCHEDULE 80				
NOMINAL PIPE SIZE	PIPE SPAN*		WEIGHT OF WATER-FILLED PIPE SPAN (Lb)	MAXIMUM DEFLECTION* (in.)
	Ft.	In.		
1.0-INCH	17	4.67	18	0.414
1.5-INCH	20	2.26	41	0.386
2.0-INCH	22	0.19	66	0.367
2.5-INCH	24	5.26	110	0.374
3.0-INCH	26	4.25	169	0.357
4.0-INCH	28	11.94	295	0.336
6.0-INCH	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

2.1.10 Tegangan dan Defleksi Karena Beban Bobot Mati

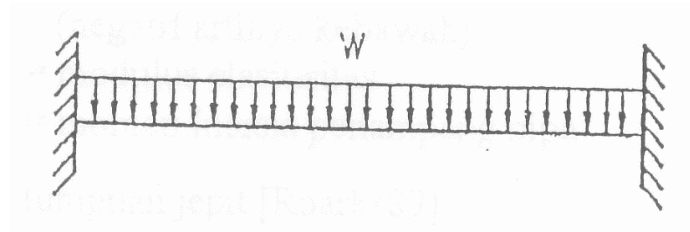
Metode kalkulasi dengan model yang paling sederhana, dimana bobot mati dari pipa diasumsikan terdistribusi merata per satuan panjang pipa, dan pipa dianggap ditumpu oleh support secara kontinyu pada jarak (*pipe support span*) yang sama (Santoso, 2016). Terdapat 2 jenis tumpuan yang dapat dikalkulasikan, yaitu

tumpuan sederhana (*pinned support / simply supported*) di mana rotasi bebas sepenuhnya seperti pada Gambar 2.13 di bawah ini.



Gambar 2.13 Tumpuan Sederhana.

Tumpuan jepit (*fixed/clamped support*) di mana rotasi sepenuhnya ditahan seperti pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Tumpuan Jepit.

Untuk mencari defleksi maksimum yang terjadi pada sistem perpipaan selain menggunakan Tabel S-1 bisa juga menggunakan teori tegangan dan defleksi pada beban bobot mati. Ada beberapa tahapan untuk mengetahui nilai defleksi maksimum yang terjadi. Diperlukan mencari momen maksimum yang terjadi di tengah span untuk kedua model tersebut. Untuk tumpuan sederhana nilainya adalah:

$$M_{Max} = \frac{W L^2}{8} \dots\dots\dots (2.29)$$

Untuk tumpuan jepit nilainya adalah :

$$M_{Max} = \frac{W L^2}{12} \dots\dots\dots (2.30)$$

Dengan: M_{max} = Momen lentur maksimum (N.m)

W = Beban berat pipa, fluida, dll dalam satuan berat (N/m)

L = Panjang batang (*pipe span*) (m)

Dari kedua model tersebut dapat ditentukan nilai tengahnya karena kenyataannya nilainya akan berada diantara kedua nilai tersebut. Oleh sebab itu kedua rumus tersebut dapat disederhanakan menjadi :

$$M_{Max} = \frac{W L^2}{10} \dots\dots\dots (2.31)$$

Tegangan yang terjadi dikarenakan momen lentur menurut teori elastisitas adalah:

$$S = \frac{M_{Max}}{Z} \dots\dots\dots (2.32)$$

Dengan: S = Tegangan yang terjadi dikarenakan momen lentur (N/m²)

Z = Momen tahanan (*section modulus*) (m³)

Dari persamaan 2.25 dan 2.26 jika nilai tegangan yang ditentukan tidak boleh melebihi tegangan ijin S_A, maka jarak maksimum antar tumpuan yang dibolehkan adalah :

$$L_{Max} = \sqrt{\frac{10 Z S_A}{W}} \dots\dots\dots (2.33)$$

Dari beberapa persamaan di atas, dapat ditentukan nilai defleksi maksimum yang terjadi akibat beban berat pipa. Untuk model tumpuan sederhana adalah :

$$y_{Max} = \frac{-5 W L^4}{384 E I} \dots\dots\dots (2.34)$$

Untuk tumpuan jepit adalah :

$$y_{Max} = \frac{-W L^4}{384 E I} \dots\dots\dots (2.35)$$

Dengan: y_{Max} = Defleksi maksimum arah sumbu y (vertikal) (m)

E = Modulus elastisitas (Pa)

I = Momen inersia penampang pipa (m⁴)

2.1.11 Analisis Kebocoran Flange

Analisis kebocoran mengulas tentang masalah kebocoran yang terjadi pada suatu sistem perpipaan akibat beban yang terjadi. Metode ini berperan untuk menganalisa dan memeriksa kebocoran yang terjadi pada sistem perpipaan agar tidak melebihi pembebanan yang diizinkan oleh *standard* komponen - komponen *fitting* pada sistem perpipaan. Salah satunya menganalisis kebocoran yang terjadi pada *flange*.

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

$$\frac{P_{eq} + P}{\beta} < P_{ASME} \dots\dots\dots (2.36)$$

- 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:

$$P_{eq} = \frac{509296 \times MF}{G^3} + \frac{127 \times FA}{G^2} \dots\dots\dots (2.37)$$

- 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)

$$MF = \sqrt{M_i^2 + M_o^2} \dots\dots\dots (2.38)$$

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	1.70	
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 adalah sebuah proses untuk menghantarkan fluida (dalam hal ini bisa minyak mentah atau gas) dari sumur pengeboran hingga ke konsumen, yang dilengkapi dengan fasilitas pendukung.

Yang termasuk dari sistem perpipaan adalah sebagai berikut:

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

2.2.1 Pipa

Pipa adalah suatu komponen yang berbentuk silindris yang dapat mengalirkan fluida (zat cair, gas) dari satu atau beberapa titik ke satu atau beberapa titik lainnya.

1. Jenis Pipa

a. Tanpa sambungan (*Seamless*)

Pipa *seamless* terbuat dari bahan berbentuk silindris pejal, yang kemudian dibor pada bagian tengahnya, sedangkan bagian luarnya dilakukan pengerolan.

b. Pipa dengan Sambungan Las (*Welded Steel Pipe*)

Pipa *welded* terbuat dari bahan plat yang *diroll* dan kemudian dilakukan pengelasan pada kedua ujungnya.

Proses pengelasan ini dapat dibedakan menjadi:

- *Electric Resistance Welding (ERW)*, berdasarkan tahanan listrik (elektroda leleh).
- *Electric Fusion Welding (EFW)*, dengan pemanas *filter* metal oleh gas.

2. Material Pipa

Material-material pipa secara umum adalah *carbon steel*, *carbon moly*, *galvanees*, *ferro nikel*, *stainless steel*, *PVC* (paralon), *chrome moly*, *viber glass*, *aluminum* (aluminium), *wrought iron* (besi tanpa tempa), *copper* (tembaga), *red brass* (kuningan merah), *nickel copper=monel* (timah tembaga), *nickel chrom iron= inconel* (besi timah chrom).

3. Standarisasi Pipa

Ukuran, berat, diameter, *schedule*, ketebalan, dan toleransi telah distandarkan dari berbagai tipe dan material pipa. Beberapa organisasi dan lembaga telah mengembangkan standar tersebut, misalnya *American Society Of Mechanical Engineer* (ASME/ANSI), *American Petroleum Institute* (API), *American Society of Testing Materials* (ASTM), *Japanese Industrial Standard* (JIS) dan sebagainya.

Menurut Santoso (2016) *standard* dimensi pipa, dimensi dan material pipa diatur menurut *standard code* tertentu, antara lain :

- a. ANSI B36.10 mengatur tentang *welded* dan *seamless wrought steel* pipa.
- b. ANSI B36.19 mengatur tentang *stainless steel pipe*.
- c. ANSI A21.50 dan A21.51 mengatur tentang *ductile iron pipe*.

4. Industrial Material

Semua material yang digunakan dalam industri (misal : pembangkit listrik *power piping*, ANSI B31.1) didefinisikan oleh ASTM (*American Society for Testing and Material*) dan ASME (*American Society of Mechanical Engineer*). Ketentuan yang diatur oleh ASTM (*American Society for Testing and Material*) meliputi: komposisi kimia, sifat mekanik, *finishing*, dan *test* yang diperlukan terhadap material. Spesifikasi yang diatur oleh ASME adalah identik dengan ASTM, tetapi ASME lebih ketat karena untuk pemakaian yang kritis dan biasanya diperlukan ASME *Stamp*. Sebagai contoh untuk material A 106 (ASTM) akan menjadi SA 106 (ASME). Beberapa material pipa dan aplikasinya dapat dilihat pada tabel 2.5. berikut.

Tabel 2.5 Material Perpipaan dan Aplikasinya.

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>	<i>Custom</i>	<i>High-temperature service</i>
4	ASTM A-335	<i>Seamless</i>	<i>Custom</i>	<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>
7	ASTM A-672	<i>EFW (Electric Fusion Welded)</i>	16" and larger	<i>Moderate-temperature service</i>
8	ASTM A-691	<i>EFW (Electric Fusion Welded)</i>	16" and larger	<i>High-temperature service</i>
9	ASTM A-312	<i>Seamless / Welded</i>	1/8" & larger	<i>Low to High-temperature and corrosive service</i>
10	API 5L	<i>Seamless / Welded</i>		<i>Line pipe, refinery, and transmission service</i>

Beberapa material pipa dan komponen-komponen pipa yang umum digunakan sesuai dengan standar kode ANSI B31.1, B31.3, dan B31.4 dapat dilihat pada Tabel 2.6

Tabel 2.6 Material Perpipaan yang Umum Digunakan.

No	Commodity	B31.1 (Power Piping)	B31.3 (Process Piping)	B31.4 (Liquid Fuel Transp. Piping)
1	Pipe	ASTM A 106	ASTM A 53 API 5L	ASTM A 53 API 5L API 5L X
2	Pipe (Low Temp)	ASTM A 333 Gr.6	ASTM A 333 Gr.6	ASTM A 333 Gr.6
3	Pipe (High Temp)	ASTM A 106	ASTM A 106	ASTM A 106
4	Bolting	ASTM A 193 B7	ASTM A 193 B7 ASTM A 320	ASTM A 193 B7 ASTM A 320
5	Nut	ASTM A 194 2H	ASTM A 194 2H	ASTM A 194 2H
6	Fittings	ASTM A 234 WPB	ASTM A 234 WPB	
7	Fittings (Low Temp)	ASTM A 420 WPL6	ASTM A 420 WPL6	ASTM A 420 WPL6
8	Fittings (High Temp)	ASTM A 234 WPB ASTM A 216 WCB	ASTM A 234 WPB ASTM A 216 WCB	ASTM A 234 WPB
9	Flanges	ASTM A 105 ASTM A 181 ASME B16.5	ASTM A 105 ASTM A 181 ASME B16.5	ASTM A 105 ASTM A 181 ASME B16.5
10	Flanges (Low Temp)	ASTM A 350 LF2 ASTM A 352 LCB	ASTM A 350 LF2 ASTM A 352 LCB	ASTM A 350 LF2
11	Flanges (High Temp)	ASTM A 105 ASTM A 181 ASTM A 216 WCB	ASTM A 105 ASTM A 181 ASTM A 216 WCB	ASTM A 105 ASTM A 216 WCB
12	Valves	ASTM A 105 ASME B16.34	ASTM A 105 API 600	API 6D API 600
13	Valves (Low Temp)	ASTM A 350 LF2 ASTM A 352 LCB	ASTM A 350 LF2 ASTM A 352 LCB	
14	Valves (High Temp)	ASTM A 216 WCB	ASTM A 216 WCB	

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

Pipa dapat diidentifikasi dengan utama NPS (*Nominal pipe size*) dan nomor *Sch* (*Schedule*). NPS menunjukkan utama diameter nominal pipa dalam satuan *inchi*. NPS bukanlah utama diameter dalam (DI) maupun diameter luar (DO).

NPS difungsikan untuk memudahkan penentuan ukuran pipa dalam perdagangan atau pembelian pipa. *Schedule* pipa menunjukkan ukuran ketebalan dinding pipa. Untuk suatu NPS tertentu ukuran diameter luar (DO) adalah sama yang berbeda adalah diameter dalam (DI) yang tergantung dari nomor *schedule*-nya.

Tebal dinding pipa didefinisikan atau ditunjukkan dengan :

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

Ukuran tebal dinding pipa menurut beberapa standar adalah sebagai berikut :

1. Standard ANSI atau ASME
No. *Schedule* : 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 160
2. Standard ASTM (*Manufacturer's Weight*)
Schedule STD (*standard*), XS (*extra strong*), XXS (*double extra strong*)
3. Standard API
Nilai *schedule* menurut API, contohnya dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 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	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	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	
		XXS	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	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	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	
		XXS	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	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	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	
		XXS	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	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	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	
		XXS	API	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	
		API	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	
SCH 30			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	
		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	
SCH 40		STD	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	
		API	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	
SCH 60			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	
		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 80		XS	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	
		API	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 100			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	
SCH 120			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	
		XXS	API	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

6. Penentuan *Rating* Pipa

Penentuan *rating* pipa ditentukan berdasarkan ketebalan pipa/nomor *schedule*. Penentuan tebal pipa minimum adalah sebagai berikut :

$$t = \frac{P.D}{2.S_a} + A \dots\dots\dots (2.39)$$

Dengan:

t = tebal dinding pipa minimum yang dibutuhkan (*inchi*)

P = tekanan *internal* (lb/in², psig)

Sa = tegangan izin material *basic allowable stress* (lb/in², psi)

A = *allowance* (untuk *corrosion allowance*, A=1/8")

2.2.2 *Fitting*

Fitting merupakan komponen dalam sistem perpipaan yang memungkinkan perubahan arah jalur pipa, perubahan diameter jalur pipa dan percabangan pipa. *Fitting* berfungsi untuk penyambungan, baik pipa dengan pipa, pipa dengan *fitting*, dan pipa dengan peralatan.

Jenis *fitting* dapat digolongkan berdasarkan metode penyambungan yang menyatakan jenis ujung *fitting-fitting* tersebut. Metode penyambungan dapat digolongkan menjadi:

- *Butt-Welding*

Sambungan jenis ini mempunyai karakteristik dan fungsi untuk digunakan pada operasi tekanan tinggi; sambungan bocor; jalur pipa NPS 2" dan lebih besar, memiliki ketahanan terhadap getaran dan momen *bending* yang tinggi; digunakan untuk kebanyakan perpipaan proses, *utility*, dan servis.

- *Socket-Welding*

Digunakan pada tekanan operasi tinggi; sambungan tahan bocor (baik digunakan untuk penanganan jenis fluida yang berbahaya); digunakan untuk jalur pipa NPS 2" dan lebih kecil; mudah dalam pemasangan; namun ketahanan terhadap getaran dan momen *bending* kurang; umumnya digunakan pada jalur *transport* material yang mudah terbakar, beracun dan mahal; terdapat sedikit celah sambungan yang dapat menjebak cairan yang menyebabkan korosi celah.

- *Screwed/Threaded*

Digunakan pada tekanan operasi rendah; sambungan kurang tahan bocor; digunakan untuk jalur pipa dengan NPS 2" dan lebih kecil; mudah dalam pemasangan; ketahanan terhadap getaran dan momen *bending* kurang; digunakan pada pipa *service* dan pipa proses; mudah dibuat dari pipa dan *fitting* lain di lapangan; dapat meminimalkan terjadinya kebocoran saat pemasangan perpipaan.

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

Untuk *fitting* dengan sambungan ujung *butt-welding rating* tekanan atau *schedule* menyesuaikan dengan *rating* atau kelas pipanya. Misalnya, pada jalur dengan pipa NPS 4" Sch STD, maka untuk *fitting* juga menggunakan 4" dan Sch STD.

2. Penentuan *Rating*/Kelas *Fitting* Jenis *Socket-Welded* dan *Threaded*

Fitting jenis sambungan ujung *socket-welded* mempunyai *rating* tekanan: 3000, 6000, dan 9000. Sedangkan *fitting* dengan jenis sambungan ujung berulir (*threaded/screwed*) mempunyai kelas atau *rating* tekanan: 2000, 3000, dan 6000.

Menurut Santoso (2007) terdapat hubungan praktis antara *schedule* pipa dengan *rating* atau kelas untuk *fitting* berjenis sambungan ujung diulir (*threaded/screwed*) dan jenis sambungan ujung *socket welded*, dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Hubungan sambungan *Socket Welded* dan *Threaded*.

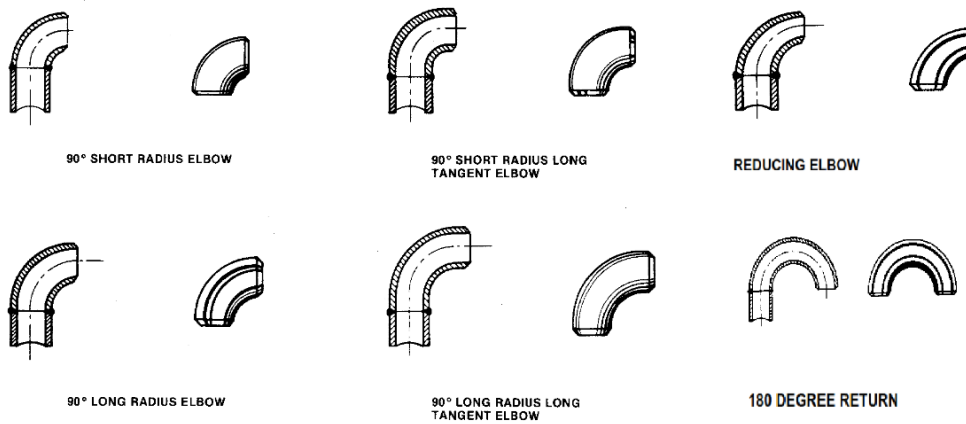
<i>Pressure Class</i>	200	300	6000	9000
<i>Socket-Welded Fitting</i>	-	80 / XS	160	XXS
<i>Threaded Fitting</i>	80 / XS	160	XXS	-

Jika dilihat dari bentuk dan fungsinya *fitting* terdapat beberapa jenis, antara lain:

1. *Fitting* dengan Sambungan Ujung *Butt-Welding*

- 1) *BW Elbow* sudut 45° dan 90° digunakan untuk membelokkan aliran. Contoh dari *BW elbow* dapat dilihat pada Gambar 2.15. Berdasarkan radius *elbow*, *elbow* sendiri digolongkan menjadi:

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

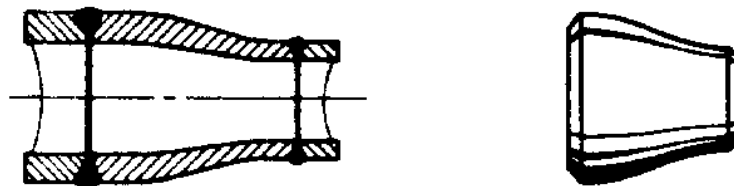


Gambar 2.15 Jenis – jenis *elbow*. (Bechtel, 1996)

2) *BW Reducer* berguna untuk pengecilan dan pembesaran jalur pipa.

Berdasarkan garis sumbuinya, *reducer* dibedakan menjadi:

- *Reducer concentric* yaitu *reducer* yang memiliki garis tengah, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2.16.



Gambar 2.16 *Reducer Conentric*. (Bechtel, 1996)

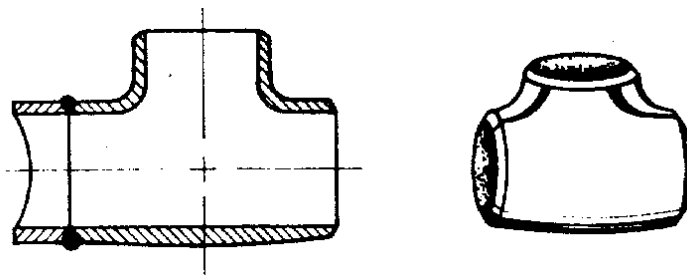
- *Reducer eccentric* merupakan *reducer* yang berbeda garis tengahnya, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Reducer Eccentric. (Bechtel, 1996)

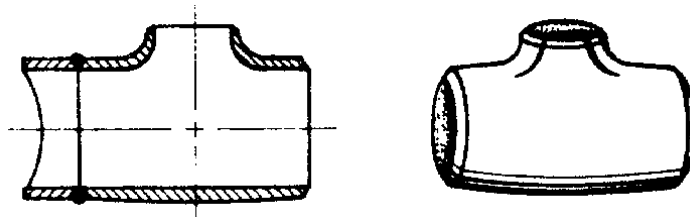
3) Tee dipakai untuk percabangan 90°. Berdasarkan pada ukuran diameter cabang terhadap diameter pipa utama (*header*), tee dibedakan menjadi:

- *Straight tee*: ukuran cabang sama dengan ukuran pipa *header*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Straight tee. (Bechtel, 1996)

- *Reducing Tee*: ukuran pipa tidak sama dengan ukuran pipa *header*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.19.

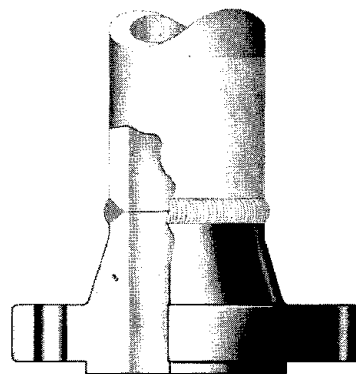


Gambar 2.19 Reducing Tee. (Bechtel, 1996)

4) *Flange* digunakan untuk menyambung satu pipa dengan pipa lainnya, pipa dengan katup, pipa dengan *fitting*. Beberapa jenis *flange* antara lain:

- *Welding Neck Flange (WN Flange)*

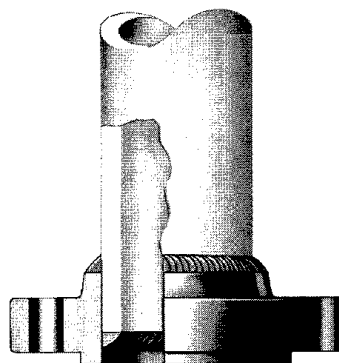
Weldneck flange merupakan *flange* yang penyambungannya menggunakan las. *Flange* jenis ini banyak digunakan dalam sebuah *plant* karena sifatnya mudah untuk disambungkan pada pipa. *Flange* ini dapat digunakan untuk tekanan yang tinggi, baik untuk temperatur rendah maupun tinggi. Bentuk *weldneck flange* dapat dilihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 *Flange* jenis WN (*Welding Neck*). (Bechtel, 1996)

- *Slip On Flange (SO Flange)*

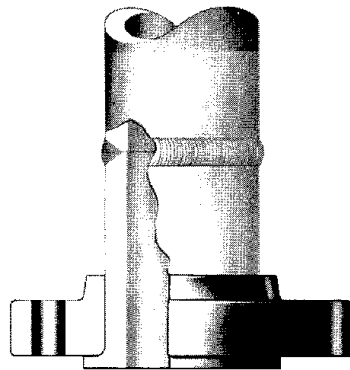
Jenis *flange* ini merupakan *flange* yang memasukan pipa utamanya ke dalam *flange* namun hanya sebagian, sisi luar dan sisi dalamnya dilas. Oleh karena pipa masuk ke dalam *flange*, diameter dalam *flange* ini harus lebih besar dari diameter luar pipa. Bentuk *slip on flange* dapat dilihat pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21 *Flange* jenis SO (*Slip-On*). (Bechtel, 1996)

- *Lap Joint Flange (Lap Flange)*

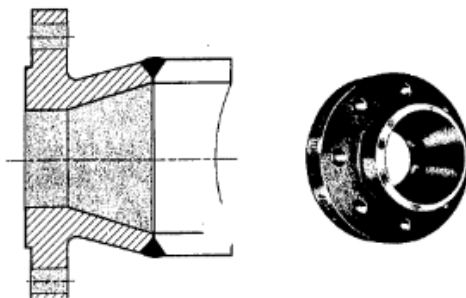
Jenis *flange* ini memiliki bentuk yang mirip dengan *slip on flange*, namun *flange* ini memiliki sisi pipa yang keluar dari *flange*, dan sisi samping dalam *flange* biasanya radial. Biasanya digunakan untuk pipa yang sering dibongkar, atau dimana fluida tidak diperkenankan kontak langsung dengan las-lasan atau tipe penyambung lainnya. Penyambungan dalam pipa ini dapat dipuntir tanpa memikirkan posisi bautnya. Namun, jenis *flange* ini tidak disarankan untuk pressure yang tinggi. Bentuk *flange lap joint* dapat dilihat pada Gambar 2.22.



Gambar 2.22 *Flange Lap Joint*. (Bechtel, 1996)

- *Expander Flange (Exp Flange)*

Expander flange merupakan *flange* yang mirip dengan *weldneck flange* namun *exp flange* memiliki pusat yang mengembang. Bentuk *exp flange* dapat dilihat pada Gambar 2.23.



Gambar 2.23 *Expander Flange*. (Sherwood dkk, 1973)

3. Penentuan Rating/Kelas Fitting Jenis Flange

Untuk *rating* atau kelas jenis *flange*, tergantung dari 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 2.9, dan *rating flange* dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.9 Material Specification (ASME B16.5, 2013)

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 2.10 Rating (ASME B16.5, 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 Washer

Washer yaitu *ring plate* digunakan untuk memberikan *pre-tension* pada baut dan nut, sehingga sambungan *flange* tersebut tidak lepas dan tetap aman terhadap beban dinamik yang terjadi.

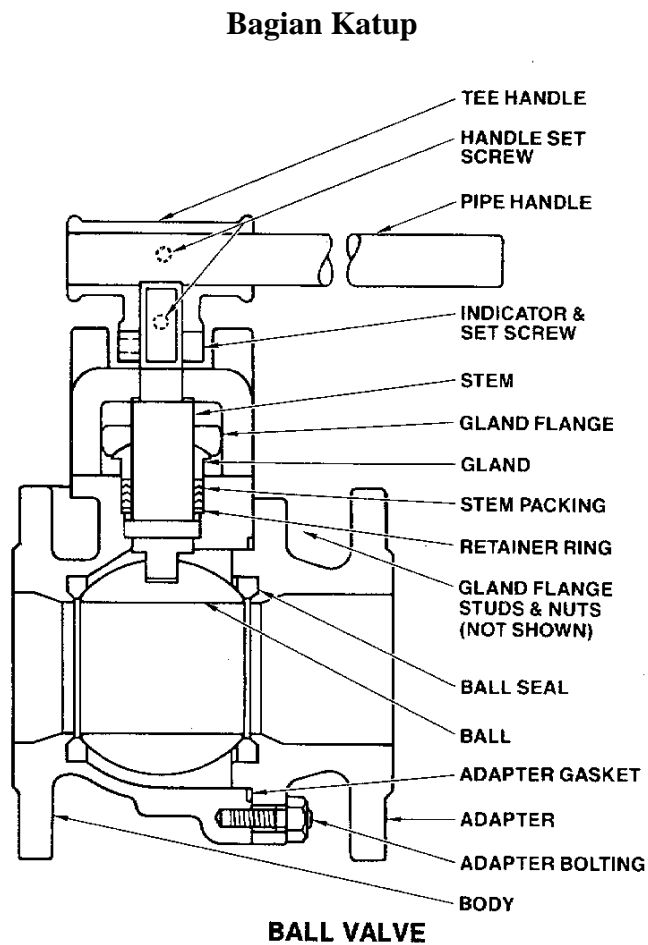
2.2.4 Gasket

Gasket merupakan suatu kombinasi material yang dirancang untuk mengapit antar permukaan *flange joint*. Fungsi utama *gasket* adalah untuk menahan tiap permukaan *flange* yang tidak teratur, mencegah kebocoran fluida yang mengalir dari dalam *flange* ke luar. Standar untuk *gasket* antara lain:

- ASME B16.20 (*Ring-Joint Gaskets and Grooves for Steel Pipe Flanges (Metalic Gasket)*).
- ASME B16.21 (*Non-Mectalic Gasket for Pipe Flange*).

2.2.5 Katup (*Valve*)

Katup adalah suatu alat yang digunakan untuk menghentikan atau menutup atau membuka aliran, mengatur tekanan atau aliran (dengan membatasi atau membuka), membuang tekanan lebih, membelokkan aliran, mencegah aliran ke suatu arah dan mengendalikan baik aliran maupun tekanan secara otomatis, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.24.



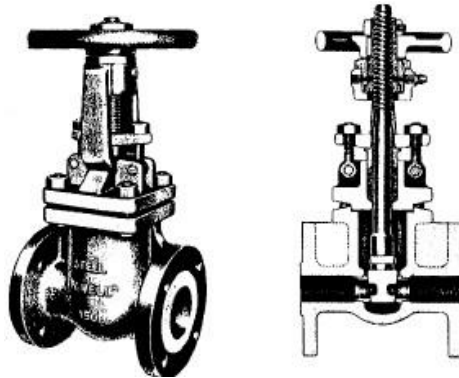
Gambar 2.24 *Ball Valve*. (Bechtel, 1996)

1. Mekanisme Katup

Secara singkat dapat dijelaskan bahwa, aliran yang akan melewati katup dapat dikendalikan dengan cara memutar kontrol katup (baik dibuka, ditutup, diatur besar kecil alirannya, arah alirannya, maupun dialihkan ke jalur pipa lain), tergantung jenis katup yang digunakan.

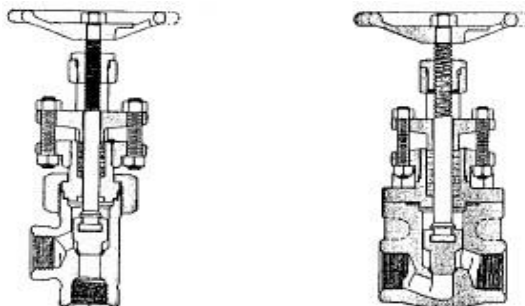
2. Fungsi Katup

- a. *On/Off*: Berfungsi untuk mengatur aliran baik dengan membuka atau menutup katup sesuai dengan kebutuhan. Contoh katup jenis ini sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.25 adalah Katup Pintu (*Gate Valve*).



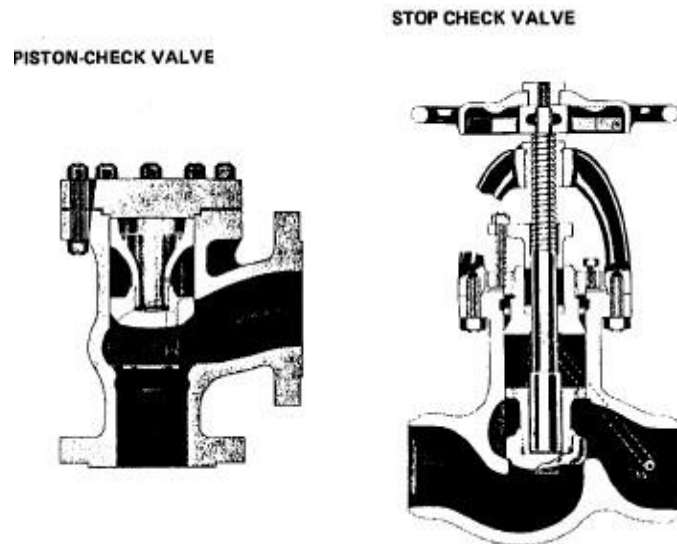
Gambar 2.25 *Gate Valve*. (Sherwood dkk, 1973)

- b. *Regulating*: Katup yang berfungsi untuk mengatur besar kecilnya aliran maupun tekanan. Contoh katup jenis ini sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.26 adalah Katup Bola (*Globe Valve*)



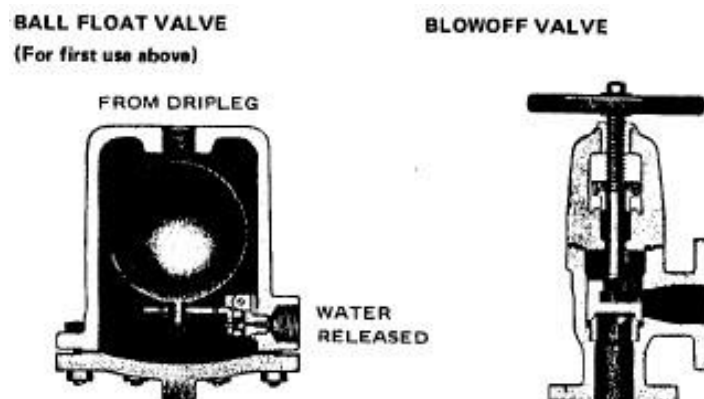
Gambar 2.26 *Globe Valve*. (Sherwood dkk, 1973)

- c. *Checking*: Katup yang berfungsi untuk mencegah aliran balik. Digunakan hanya untuk aliran satu arah. Contoh katup jenis ini sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.27 adalah Katup Cek (*Check Valve*)



Gambar 2.27 *Check Valve*. (Sherwood dkk, 1973)

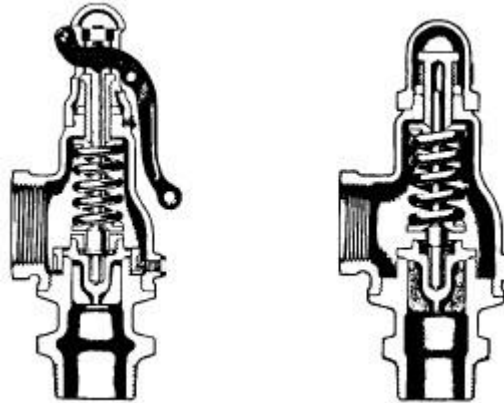
- d. *Switching*: Katup yang berfungsi untuk memindahkan arah aliran ke jalur pipa yang berbeda. Contoh katup jenis ini sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.28 adalah *Ball Float Valve & Blow off Valve*



Gambar 2.28 *Ball Float Valve & Blow Off Valve*. (Sherwood dkk, 1973)

- e. *Discharging safety*: Katup yang berfungsi untuk pengamanan tekanan yaitu untuk membuang tekanan yang berlebihan dalam suatu sistem (bejana, *heat exchanger*, *boiler*, tangki timbun, dan *equipment* lain). *Safety valve*

umumnya dipakai untuk uap, udara dan *relief valve* untuk cairan. Contoh katup jenis ini sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.29. adalah *Safety Valve / Relief Valve*



Gambar 2.29 *Relief Valve*. (Sherwood dkk, 1973)

3. Penentuan *Rating* atau Kelas *Fitting* Jenis Katup

Untuk *fitting* jenis *valve*, penentuan *rating* tekanan diatur oleh ASME B16.34 terdapat dua tabel yang digunakan yaitu tabel 1 (2.11) dan tabel 2 (2.12) Langkah-langkah penentuan *rating fitting* jenis *valve* sebagai berikut:

- Langkah 1: tentukan jenis material dan proses pembuatan *fitting* (*casting, forging, plate, bars*, atau tabular). Misalnya material *valve* ASTM A182-F321, proses pembuatan dengan cara ditempa (*forging*).
- Langkah 2: tentuan materia grup tabel 1 (*material specification list*) didapat material grup *valve* grup 2.4
- Langkah 3: tentukan *rating* dari tabel 2-2.4 (*rating for grup 2.4 material*), dengan suhu dan tekanan operasi sebagai data masukan

Misalkan suhu operasi 600 °F dan tekanan operasi 150 Psig, maka didapatkan *rating* untuk *valve* tersebut adalah 300#. Pada *rating* 300# tekanan operasi maksimum yang diizinkan sampai 485 Psig. Pada *rating* 150# tekanan operasi yang diizinkan hanya 140 < tekanan operasi dalam jalur pipa tersebut.

Tabel 2.11 Material Specification (ASME B16.34, 1996)

TABLE 1 MATERIAL SPECIFICATION LIST
Applicable ASTM Specification

GROUP 2 MATERIALS

Group No.	Material Nominal Designation	Product Form									
		Forgings		Castings		Plates		Bars		Tubular	
		Spec. No.	Grade	Spec. No.	Grade	Spec. No.	Grade	Spec. No.	Grade	Spec. No.	Grade
2.1	18Cr-8Ni	A 182	F304	A 351	CF3	A 240	304	A 182	F304	A 312	TP304
		A 182	F304H	A 351	CF8	A 240	304H	A 182	F304H	A 312	TP304H
2.2	16Cr-2Ni-2Mo	A 182	F316			A 240	316	A 182	F316	A 312	TP316
		A 182	F316H			A 240	316H	A 182	F316H	A 312	TP316H
2.3	18Cr-8Ni 18Cr-13Ni-3Mo 16Cr-12Ni-2Mo 19Cr-10Ni-3Mo			A 351	CF3A					A 312	TP316H
				A 351	CF8A	A 240	317			A 312	TP317
2.3	18Cr-8Ni 16Cr-12Ni-2Mo	A 182	F304L			A 240	304L	A 182	F304L	A 312	TP304L
		A 182	F316L			A 240	316L	A 182	F316L	A 312	TP316L
2.4	18Cr-10Ni-Ti	A 182	F321			A 240	321	A 182	F321	A 312	TP321
		A 182	F321H			A 240	321H	A 182	F321H	A 312	TP321H

Tabel 2.12 Rating (ASME B16.34, 1996)

TABLE 2-2.4
RATINGS FOR GROUP 2.4 MATERIALS

A 182 Gr. F321 (2)	A 312 Gr. TP321 (2)	A 376 Gr. TP321 (2)	A 430 Gr. FP321H
A 182 Gr. F321H (1)	A 312 Gr. TP321H	A 376 Gr. TP321H	A 479 Gr. 321 (2)
A 240 Gr. 321 (2)	A 358 Gr. 321 (2)	A 430 Gr. FP321 (2)	A 479 Gr. 321H
A 240 Gr. 321H (1)			

NOTES:
 (1) At temperatures over 1000°F, use only if the material is heat treated by heating to a minimum temperature of 2000°F.
 (2) Not to be used over 1000°F.

TABLE 2-2.4A STANDARD CLASS

Working Pressures by Classes, psig

Temperature, °F	Working Pressures by Classes, psig							
	150	300	400	600	900	1500	2500	4500
-20 to 100	275	720	960	1,440	2,160	3,600	6,000	10,800
200	245	645	860	1,290	1,935	3,230	5,380	9,685
300	230	595	795	1,190	1,785	2,975	4,960	8,930
400	200	550	735	1,105	1,655	2,760	4,600	8,280
500	170	515	685	1,030	1,545	2,570	4,285	7,715
600	140	485	650	975	1,460	2,435	4,060	7,310
650	125	480	635	955	1,435	2,390	3,980	7,165
700	110	465	620	930	1,395	2,330	3,880	6,985
750	95	460	610	915	1,375	2,290	3,820	6,875
800	80	450	600	900	1,355	2,255	3,760	6,770
850	65	445	595	895	1,340	2,230	3,720	6,695
900	50	440	590	885	1,325	2,210	3,680	6,625
950	35	385	515	775	1,160	1,930	3,220	5,795
1000	20	355	475	715	1,070	1,785	2,970	5,350
1050	20(1)	315	415	625	940	1,565	2,605	4,690
1100	20(1)	270	360	545	815	1,360	2,265	4,075
1150	20(1)	235	315	370	710	1,185	1,970	3,550
1200	20(1)	185	245	365	555	925	1,545	2,775
1250	20(1)	140	185	280	420	705	1,170	2,110
1300	20(1)	110	145	220	330	550	915	1,645
1350	20(1)	85	115	170	255	430	715	1,285
1400	20(1)	65	85	130	195	325	545	975
1450	20(1)	50	70	105	155	255	430	770
1500	20(1)	40	50	75	115	190	315	565

NOTE:
 (1) For welding end valves only. Flanged end ratings terminate at 1000°F.

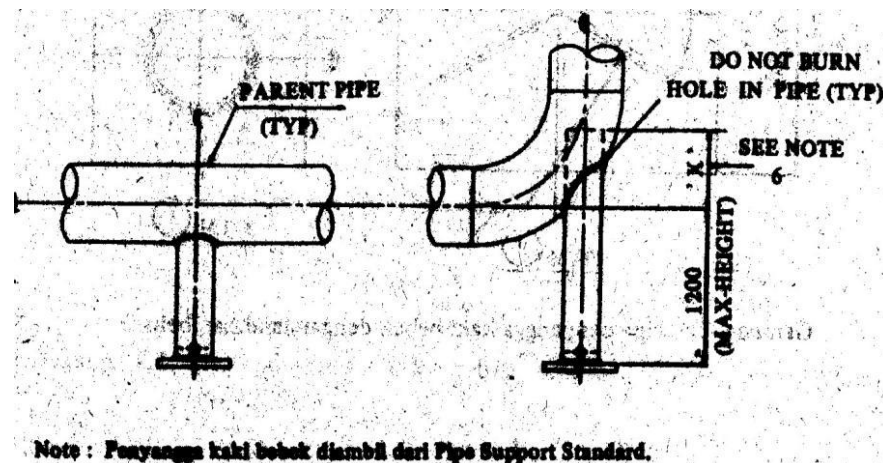
2.2.6 Support

Support adalah penyangga (penahan) dalam suatu jalur perpipaan. Pemasangan *support* ini bisa diberikan dari segala arah sesuai dengan fungsinya.

Lokasi *support* disesuaikan dengan banyak pertimbangan seperti ukuran pipa, bentuk pipa, lokasi berat *valves* and *fitting*, dan struktur yang tersedia untuk *support*. Tidak ada peraturan atau batasan secara positif dalam menentukan *support* dalam pemasangan suatu sistem perpipaan.

1. Penyangga Kaki Bebek (*Duck Support*)

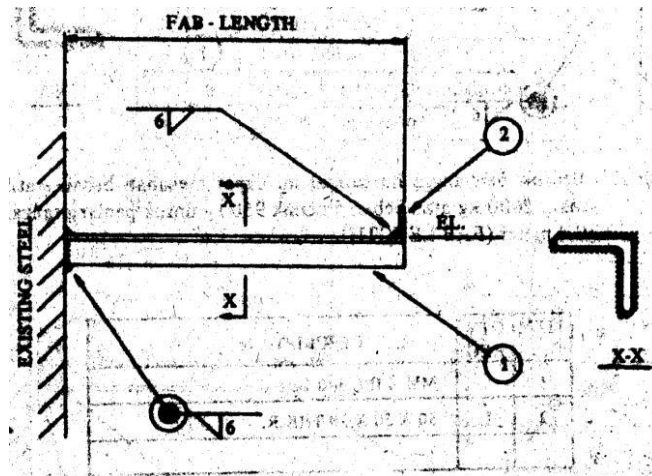
Penyangga jenis ini mempunyai panjang maksimum 1,2 meter ditambah dengan panjang yang dibutuhkan sampai pada garis sumbu sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.30.



Gambar 2.30 Penyangga Kaki Bebek

2. Penyangga Siku – Siku (*Bracket Support*)

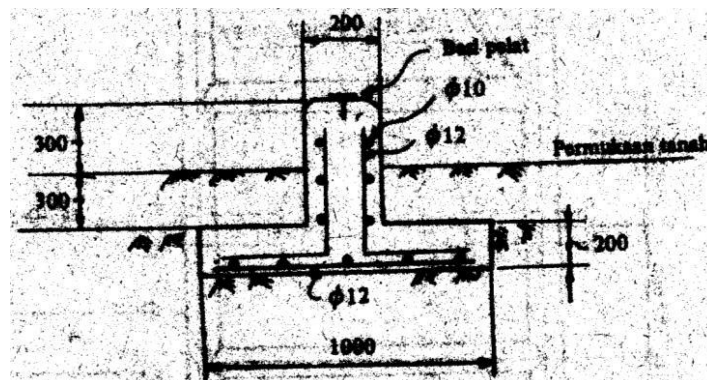
Penyangga jenis ini menggunakan struktur yang sudah ada dengan memasang struktur tambahan berupa *kantilever*. Profil yang digunakan dapat berupa profil I, H, L dan C. Disamping itu ada yang memakai *support* tambahan sebagai pendukung sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.31.



Gambar 2.31 Penyanga Siku-Siku

3. Penyanga Pembaringan Pipa (*Pipe Sleeper*)

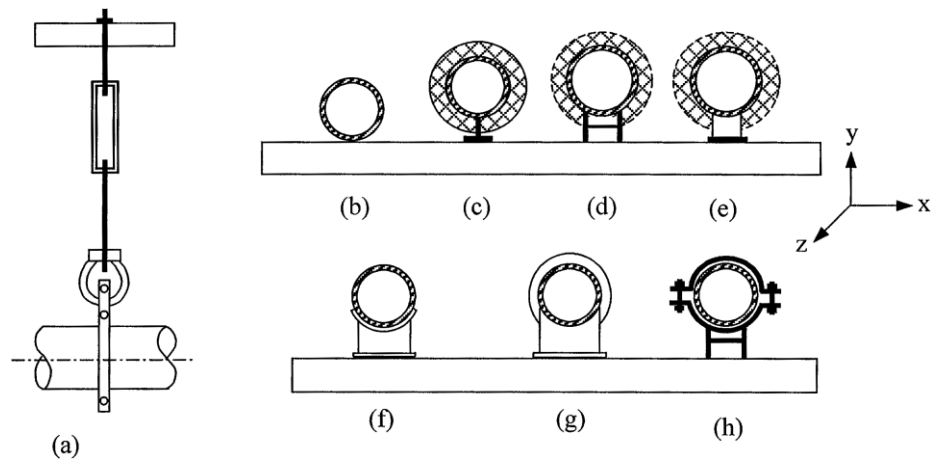
Penyanga ini dipakai pada pipa bawah tanah sekitar 1 meter dibawah permukaan tanah. Bahan yang dipergunakan adalah *concrete* dan besi beton. Bagian permukaannya diberi plat besi sebagai penahan gesekan pipa dan juga tempat *anchor* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.32.



Gambar 2.32 Penyanga Pembaringan Pipa

4. Penyanga Gantung (*Pipe Hanger*)

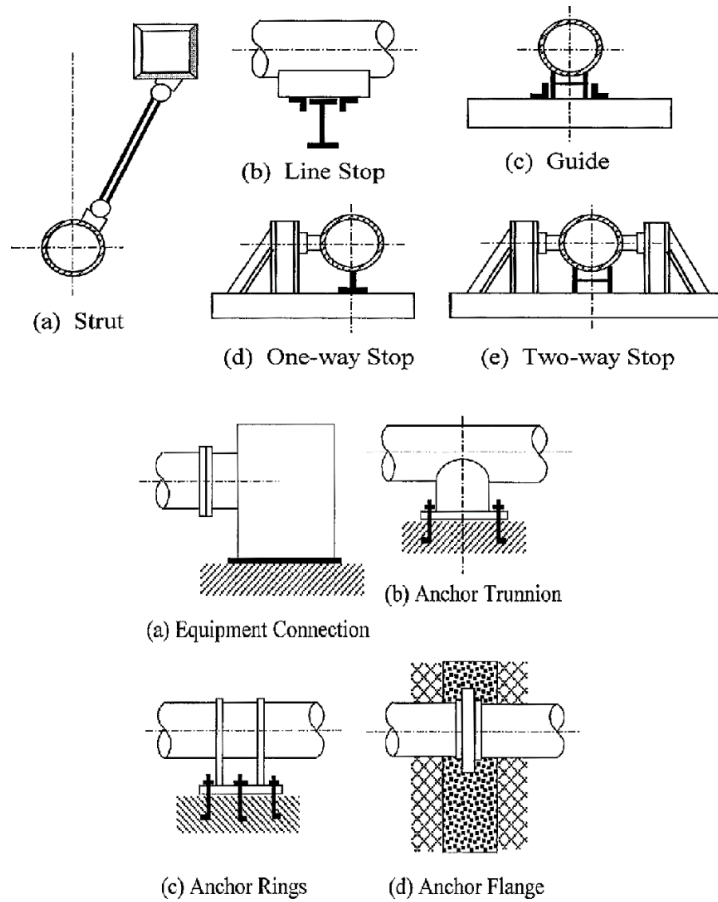
Penyanga jenis ini dipergunakan untuk menahan pipa pada posisi tergantung baik untuk jenis beban dinamik maupun beban statik. Kekuatan *support* ini ditentukan oleh kabel penggantung dan juga *support*-nya sendiri sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.33.



Gambar 2.33 Penyangga Gantung (Peng, 2009)

5. Jenis Penyangga Pipa Lainnya

Selain penyangga yang disebutkan ada beberapa istilah yang berkaitan dengan penyangga pipa sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.34.



Gambar 2.34 Jenis Penyangga. (Peng, 2009)