

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Sistem perpipaan

Sistem perpipaan adalah suatu sistem yang digunakan untuk mengalirkan fluida kerja antar peralatan (*equipment*) dalam suatu pabrik (*plant*) atau dari suatu tempat ke tempat yang lain sehingga proses produksi dapat berlangsung. Sistem perpipaan merupakan salah satu metode yang paling efisien jika dibandingkan dengan kapal tangker atau *truck* untuk mengantarkan fluida dengan jumlah volume yang besar. Secara umum komponen sistem perpipaan terdiri dari:

2.1.1. Pipa

Pipa adalah sebuah silinder yang berfungsi untuk mengalirkan fluida dari satu titik ke beberapa titik lainnya. Dalam proses mengalirkan fluida, pipa tidak boleh bocor dan pengaliran fluida perlu ada perbedaan tekanan antara titik awal dan titik akhir, serta gesekan yang terjadi antara pipa dan fluida harus diatasi.

Secara umum pipa dapat diklasifikasikan menjadi dua golongan yaitu pipa tanpa sambungan (*seamless*) dan pipa dengan sambungan las (*welded*).

a. Pipa Tanpa Sambungan (*seamless steel pipe*)

Pipa *seamless* adalah pipa yang terbuat dari bahan berbentuk silindris pejal, yang kemudian dibor pada bagian tengahnya, sedangkan bagian luarnya dilakukan pengerolan. dan pipa ini biasanya di gunakan pada tekanan tinggi.

b. Pipa Dengan Sambungan Las (*welded steel pipe*)

Pipa *welded* adalah pipa yang terbuat dari bahan plat yang di *roll* dan kemudian dilakukan pengelasan pada kedua ujungnya.

2.1.2. 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). Dalam industri, material pipa yang paling umum digunakan adalah *carbon steel*.

Beberapa material pipa dan aplikasinya dapat dilihat pada tabel 2.1. berikut.

Table 2.1. Material Perpipaan dan Aplikasinya (ASME B31 Piping Codes)

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 lowtemperature</i>
6	ASTM A-671	<i>EFW (Electric Fussion Welded)</i>	16" and larger	<i>Low-temperature service</i>
7	ASTM A-672	<i>EFW (Electric Fussion Welded)</i>	16" and larger	<i>Moderate-temperature service</i>
8	ASTM A-691	<i>EFW(Electric Fussion 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 sistem perpipaan menurut *code* ANSI B31.1, B31.3, dan B31.4 dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. 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	

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

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S_a} + A \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

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

P = Tekanan internal (lb/in^2 , psig)

S_a = Tegangan ijin material *basic allowable stress* (lb/in^2 , psi)

A = Allowance (untuk *corrosion allowance*, $A=1/8''$)

2.1.3. Flange

Flange digunakan untuk menyambung pipa dengan pipa, pipa dengan katup, pipa dengan *fitting* (misal : *elbow* dengan jenis sambungan ujung *butt-welding*). Mekanisme pengencangan yang tidak permanen, ia bisa dibongkar dan dipasang dengan memanfaatkan baut sebagai media pengencang. (Indonesia Piping Knowledge, 2017)

Flange memiliki jenis yang berbeda beda :

1. Slip On Flange

Karakteristik dan fungsi tipe sambungan dengan SO *Flange* adalah sebagai berikut :

- a. Ketahanan sambungan terhadap kejutan dan getaran pipa rendah.
- b. Relatif lebih murah dari pada WN *Flange*.
- c. Digunakan untuk sambungan antar pipa.
- d. Dapat digunakan dengan LR *elbow*, Reducer, dan *swage*.
- e. Mudah dalam instalasi.
- f. Terdapat jenis reducer SO *Flange* (dengan pengecilan diameter).

2. Lap Joint Flange

Karakteristik dan fungsi tipe sambungan dengan Lap joint *Flange* adalah sebagai berikut :

- a. Ketahanan terhadap kejutan dan getaran pipa rendah.
- b. Relatif murah.
- c. Biasanya digunakan pada pemasangan lubang baut yang sulit, misalnya kenosel dari vessel dengan banyak lubang baut.

3. Welding Neck Flange

Berdasarkan panjang leher (*neck*), WN *Flange* dibedakan menjadi:

- a. *Regular* WN *Flange* digunakan untuk sambungan dengan pipa

b. *Long WN Flange* digunakan untuk sambungan dengan peralatan

Karakteristik tipe sambungan dengan *WN Flange* adalah sebagai berikut:

- a. ketahanan sambungan terhadap kejutan dan getaran pipa (akibat laju aliran fluida yang besar dalam pipa) tinggi
- b. relatif mahal
- c. terdapat jenis *Expander WN Flange* (*WN Flange* dengan perbesaran diameter), biasanya digunakan untuk penyambungan ke : katup, nosel dari kompresor dan pompa.

4. *Reducing Flange*

Jenis flange yang satu ini memiliki fungsi untuk menggabungkan diameter yang berbeda.

2.1.4. Penentuan *Rating/Kelas Fitting* jenis *flange*

Untuk *rating*/kelas jenis *flange*, tergantung dari diameter pipanya. Untuk pipa NPS 1/2" s/d 24" menggunakan ASME B16.5 pada Tabel 2.3. dan Tabel 2.4. sedangkan untuk pipa NPS 26" - 60" menggunakan ASME B16.47. terdapat dua jenis tabel yang digunakan yaitu tabel 1 - tabel 3. Langkah-langkah penentuan *rating flange* adalah sebagai berikut :

Langkah 1 : menentukan jenis material dan proses pembuatan *fitting* tersebut (*casting*, *forging*, atau dari plat). Misalnya material *flange* ASTM A-105, proses pembuatan dengan cara ditempa (*forging*).

Langkah 2 : tentukan material grup dari tabel 1A (*List of Material Specification*). Didapatkan material grup nya 1.1

Langkah 3 : tentukan *rating flange* dari table 2-1.1 (*rating for grup 1.1 Material*), dengan suhu dan tekanan operasi sebagai data masukan.

Misalkan pada suhu operasi 600° F dan tekanan operasi 150 Psig, maka *rating flange* tersebut adalah 300#, tekanan operasi maksimum yang diijinkan sampai 550 °F. pada *rating* 150#, tekanan operasi maksimum yang diijinkan hanya sampai 140 Psig < tekanan operasi dalam jalur tersebut.

Tabel. 2.3. List of material specifications (ASME B16.5)

Material Group	Nominal Designation	Pressure-Temperature Rating Table	Applicable ASTM Specifications ¹		
			Forgings	Castings	Plates
1.1	C-Si C-Mn-Si	2-1.1	A 105 A 350 Gr. LF2	A 216 Gr. WCB	A 515 Gr. 70 A 516 Gr. 70 A 537 Cl. 1
1.2	C-Mn-Si 2½Ni 3½Ni	2-1.2	 A 350 Gr. LF3	A 216 Gr. WCC A 352 Gr. LCC A 352 Gr. LC2 A 352 Gr. LC3	 A 203 Gr. B A 203 Gr. E
1.3	C-Si C-Mn-Si 2½Ni 3½Ni	2-1.3		A 352 Gr. LCB	A 515 Gr. 65 A 516 Gr. 85 A 203 Gr. A A 203 Gr. D
1.4	C-Si C-Mn-Si	2-1.4	A 350 Gr. LF1 Cl. 1		A 515 Gr. 60 A 516 Gr. 60
1.5	C-½Mo	2-1.5	A 182 Gr. F1	A 217 Gr. WC1 A 352 Gr. LC1	A 204 Gr. A A 204 Gr. B
1.7	C-½Mo ½Cr-½Mo Ni-½Cr-½Mo ¾Ni-¾Cr-1Mo	2-1.7	A 182 Gr. F2	 A 217 Gr. WC4 A 217 Gr. WC5	 A 204 Gr. C
1.9	1Cr-½Mo 1¼Cr-½Mo 1¼Cr-½Mo-Si	2-1.9	A 182 Gr. F12 Cl. 2 A 182 Gr. F11 Cl. 2	A 217 Gr. WC6	A 387 Gr. 11 Cl. 2
1.10	2¼Cr-1Mo	2-1.10	A 182 Gr. F22 Cl. 3	A 217 Gr. WC9	A 387 Gr. 22 Cl. 2
1.13	5Cr-½Mo	2-1.13	A 182 Gr. F5 A 182 Gr. F5a	A 217 Gr. C5	
1.14	9Cr-1Mo	2-1.14	A 182 Gr. F9	A 217 Gr. C12	
2.1	18Cr-8Ni	2-2.1	A 182 Gr. F304 A 182 Gr. F304H	A 351 Gr. CF3 A 351 Gr. CF8	A 240 Gr. 304 A 240 Gr. 304H
2.2	16Cr-12Ni-2Mo 18Cr-13Ni-3Mo 19Cr-10Ni-3Mo	2-2.2	A 182 Gr. F316 A 182 Gr. F316H	A 351 Gr. CF3M A 351 Gr. CF8M A 351 Gr. CG8M	A 240 Gr. 316 A 240 Gr. 316H A 240 Gr. 317
2.3	18Cr-8Ni 16Cr-12Ni-2Mo	2-2.3	A 182 Gr. F304L A 182 Gr. F316L		A 240 Gr. 304L A 240 Gr. 316L
2.4	18Cr-10Ni-Ti	2-2.4	A 182 Gr. F321 A 182 Gr. F321H		A 240 Gr. 321 A 240 Gr. 321H

Tabel.2.4. Rating for group 1.1 material (ASME B16.5, 2-1.1)

Nominal Designation	Forgings	Castings	Plates
C-Si	A 105 (1)	A 216 Gr. WCB (1)	A 515 Gr. 70 (1)
C-Mn-Si	A 350 Gr. LF2 (1)		A 516 Gr. 70 (1)(2) A 537 Cl. 1 (3)

NOTES:

- (1) Upon prolonged exposure to temperatures above 800°F, the carbide phase of steel may be converted to graphite. Permissible, but not recommended for prolonged use above 800°F.
- (2) Not to be used over 850°F.
- (3) Not to be used over 700°F.

WORKING PRESSURES BY CLASSES, psig

Class Temp., °F	150	300	400	600	900	1500	2500
-20 to 100	285	740	990	1480	2220	3705	6170
200	260	675	900	1350	2025	3375	5625
300	230	655	875	1315	1970	3280	5470
400	200	635	845	1270	1900	3170	5280
500	170	600	800	1200	1795	2995	4990
600	140	550	730	1095	1640	2735	4560
650	125	535	715	1075	1610	2685	4475
700	110	535	710	1065	1600	2665	4440
750	95	505	670	1010	1510	2520	4200
800	80	410	550	825	1235	2060	3430
850	65	270	355	535	805	1340	2230
900	50	170	230	345	515	860	1430
950	35	105	140	205	310	515	860
1000	20	50	70	105	155	260	430

2.1.5. 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.

2.1.6. Gasket

Gasket digunakan bersama dengan *flange*, baut, dan mur berfungsi untuk mencegah kebocoran fluida. *Gasket* diletakkan pada permukaan *flange* (*flange face*).

Ada 3 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 Flanges.

- *Gasket* tipe *full-face* digunakan untuk *flat-face flange*(*FF Flange*) dan *gasket* tipe *ring* digunakan untuk *raised face* yang diberi *groove* (*RF flange*).

Material *gasket* yang sering digunakan adalah *compressed asbestos* (dengan tebal 1/16") dan *asbestos-filled metal* (*spiral wound* dengan tebal 0,175"). *Asbestos-filled-metal gasket* sangat baik digunakan untuk suatu jalur pipa yang sering dilakukan perawatan (*flange* sering dibuka), karena jenis *gasket* ini dapat digunakan lagi.

Pemilihan *gasket* ditentukan oleh :

- Suhu, Tekanan, dan sifat korosi dari fluida yang ditransportasikan.
- Apakah sering dilakukan perawatan atau operasi yang membutuhkan pembukaan *flange* (jalur pipa).
- *Code* atau persyaratan lingkungan yang dapat dipertimbangkan.
- Aspek biaya.

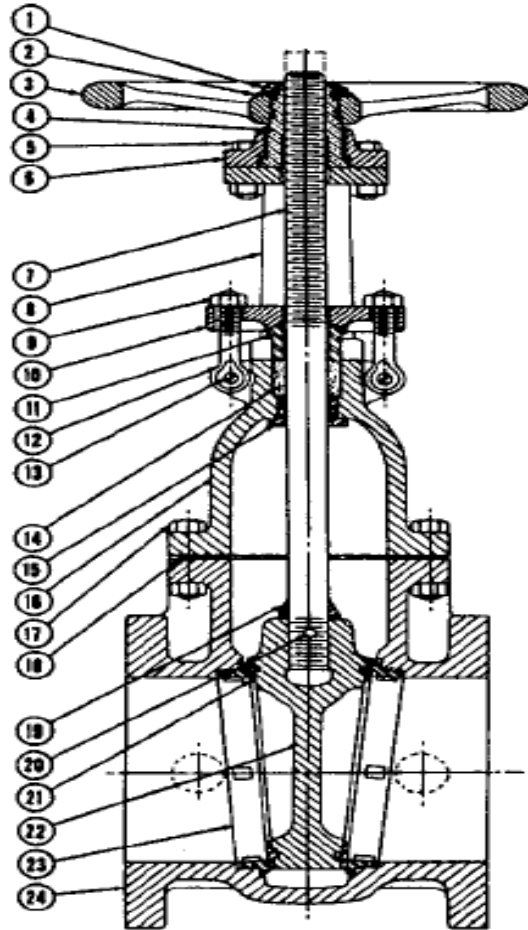
Tabel 2.5. Pemilihan material *gasket* (Sherwood,1973)

No	<i>Gasket Material</i>	<i>Fluid</i>	Max. Temp [°F]	Max TP [°F x Psi]
1	<i>Syntetic rubber</i>	<i>Water, air</i>	250	15.000
2	<i>Vegetable fiber</i>	<i>Oil</i>	250	40.000
3	<i>Syntetic rubber with cloth insert (CI)</i>	<i>Water, air</i>	250	125.000
4	<i>Solid Teflon</i>	<i>Chemcal</i>	500	150.000
5	<i>Compressed Asbestos</i>	<i>Most</i>	750	250.000
6	<i>Carbon Steel</i>	<i>High pressure fluid</i>	750	1.600.000
7	<i>Stainless Steel</i>	<i>High pressure & or corrosive fluid</i>	1200	3.000.000
8	Spiral Wound: - SS/Teflon - CS/Asbestos - SS/Asbestos - SS/Ceramic	Chemical Most Corrosive Hot Gasses	500 750 1200 1900	250.000

2.1.7. Katup (*Valve*)

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

Adapun bagian-bagian katup dapat kita lihat seperti pada Gambar 2.1. berikut.



Keterangan :

1. Yoke Bushing Nut
2. Identification Plate
3. Handwheel
4. Yoke Bushing
5. Yoke Cap Bolt&Nut
6. Yoke Cap
7. Stem
8. Yoke
9. Gland Eye Bolt Nut
10. Gland Flange
11. Gland
12. Gland Eye Bolt
13. Gland Lug Bolt&Nut
14. Packing
15. Bonnet Bushing
16. Bonnet
17. Bonnet Bolt&Nut
18. Bonnet Gasket
19. Stem Ring
20. Wedge Pin
21. Wedge Face Ring
22. Solid Wedge
23. Seat Ring
24. Body

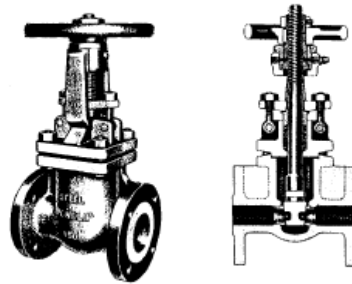
Gambar 2.1. Bagian-Bagian Katup (Sherwood,1973)

2.1.8. 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 kejalur pipa lain), tergantung jenis katup yang digunakan.

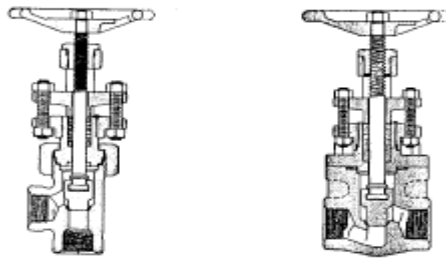
2.1.9. Beberapa jenis katup yang dipakai antara lain:

- a. Katup sorong atau katup pintu (*gate valve*) seperti pada Gambar 2.2, digunakan untuk pengaturan aliran baik dengan membuka atau menutup katup sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 2.2. *Gate Valve* (Sherwood, 1973)

- b. *Globe valve*, berfungsi mengatur besar kecilnya aliran maupun tekanan. Seperti Gambar 2.3. berikut.



Gambar 2.3. *Globe valve* (Sherwood, 1973)

- c. Katup cek (*Check valve*) seperti Gambar 2.4, digunakan untuk mencegah aliran balik atau dengan kata lain, digunakan hanya untuk aliran satu arah.

SWING CHECK VALVES

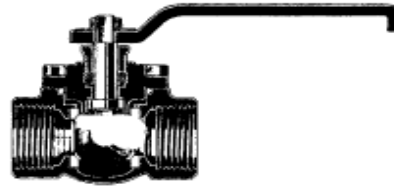


Outside Lever & Weight
for swing check valve



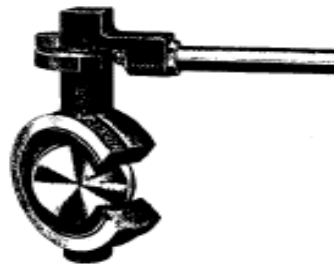
Gambar 2.4. Katup Cek (Sherwood, 1973)

- d. Katup Bola (*Ball Valve*) seperti Gambar 2.5, berfungsi membuka, menutup dan mengatur aliran fluida dengan cepat.



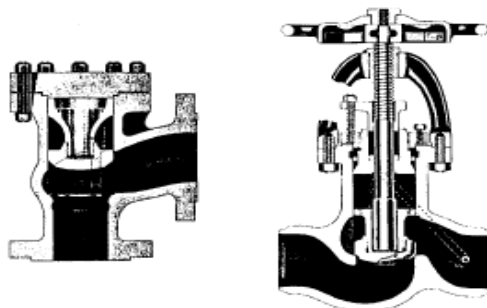
Gambar 2.5. Katup Bola (Sherwood, 1973)

- e. Katup Kupu-kupu (*Butterfly*) seperti Gambar 2.6, berfungsi hanya untuk membuka dan menutup sepenuhnya aliran fluida dengan tekanan rendah, misalnya air, zat kental (*slurry*), sistem pemanasan ruangan dan lain sebagainya.



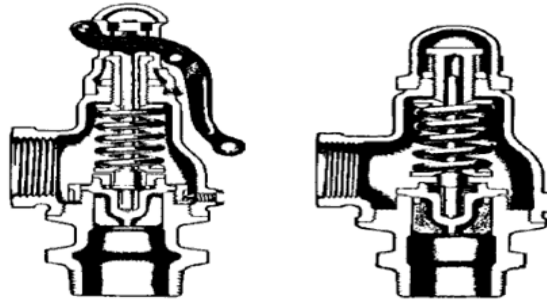
Gambar 2.6. Katup Kupu-kupu (Sherwood, 1973)

- f. Piston *valve* seperti Gambar 2.7 berfungsi sebagai piranti untuk menghentikan aliran (*shutoff*), pengaturan (*regulation*), pengukuran (*measurement*) dan sebagai pengendali (*control*) aliran fluida di dalam pipa.



Gambar 2.7. Piston *Valve* (Sherwood, 1973)

- g. *Safety valve* atau *relief valve* Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8, digunakan 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.



Gambar 2.8. *Safety Valve* atau *Relief Valve* (Sherwood, 1973)

2.1.10. Penentuan *rating*/kelas katup

Untuk *fitting* jenis *valve*, penentuan *rating* tekanan diatur dalam ASME B16.34 pada Tabel 2.6. dan Tabel 2.7. 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 : tentukan material grup dari 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^oF dan tekanan operasi 150 Psig, maka didapatkan *rating* untuk *valve* tersebut adalah 300#. Pada *rating* 300# tekanan operasi maksimum yang diijinkan sampai 485 Psig. Pada *rating* 150# tekanan operasi yang diijinkan hanya 140 < tekanan operasi dalam jalur pipa tersebut.

Tabel 2.6. Material specification list (ASME B16.34)

GROUP 2 MATERIALS

Material		Product Form									
Group No.	Nominal Designation	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			A 351	CF3A						
				A 351	CF8A						
2.4	18Cr-13Ni-3Mo					A 240	317			A 312	TP317
				A 351	CF3M						
2.3	16Cr-12Ni-2Mo			A 351	CF8M						
				A 351	CG8M						
2.3	18Cr-8Ni	A 182	F304L			A 240	304L	A 182	F304L	A 312	TP304L
								A 479	304L		
2.3	16Cr-12Ni-2Mo	A 182	F316L			A 240	316L	A 182	F316L	A 312	TP316L
								A 479	316L		
2.4	18Cr-10Ni-Ti	A 182	F321			A 240	321	A 182	F321	A 312	TP321
		A 182	F321H			A 240	321H	A 479	321	A 312	TP321H
2.4	18Cr-10Ni-Ti							A 182	F321H	A 358	321
								A 479	321H	A 376	TP321
2.4	18Cr-10Ni-Ti									A 376	TP321H
										A 430	FP321
2.4	18Cr-10Ni-Ti									A 430	FP321H

[Table 1 continues on the next page]

[Notes follow at end of table]

Tabel 2.7. Standard class (ASME B16.34)

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.

2.1.11. Penyangga Pipa (*Pipe Support*)

Dasar ilmu untuk penyangga pipa (baik *support* maupun *hanger*) adalah mekanika teknik dan kekuatan bahan yang biasa dipakai pada pekerjaan pemesinan dan juga sipil. Berdasarkan pembebanannya, penyangga pipa dapat digolongkan menjadi dua, yaitu:

1. Penyangga beban statik, misal : beban berat pipa dan fitting, beban berat fluida, dan beban termal.
2. Penyangga beban dinamik, misal : beban berat pipa dan fitting, beban berat fluida, beban angin, beban gempa, dan beban termal.

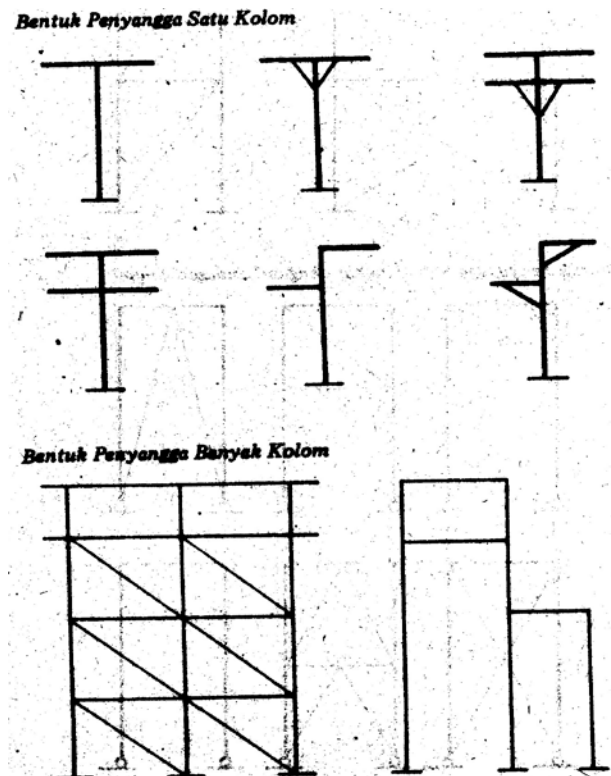
2.1.12. Penyangga beban statik

Penyangga pipa jenis pembebanan statik dapat digolongkan lagi menjadi :

1. Penyangga struktur

Penyangga struktur seperti pada Gambar 2.9 minimal tingginya 2,5 meter. Ada beberapa bentuk ditinjau dari:

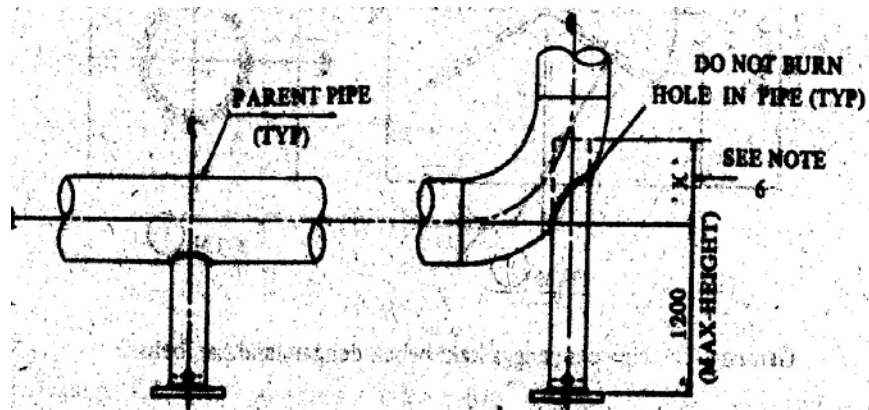
- jumlah kolom (1 kolom, 2 kolom, banyak kolom).
- jumlah tingkat (1 tingkat, 2 tingkat, dan sebagainya).
- landasan (engsel, tetap).



Gambar 2.9. Penyangga pipa struktur (Sherwood,1973)

2. Penyangga kaki bebek (*duck support*)

Penyangga jenis ini mempunyai panjang maksimum 1,2 meter ditambah dengan panjang yang dibutuhkan sampai pada garis sumbu. Penyangga jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.10.

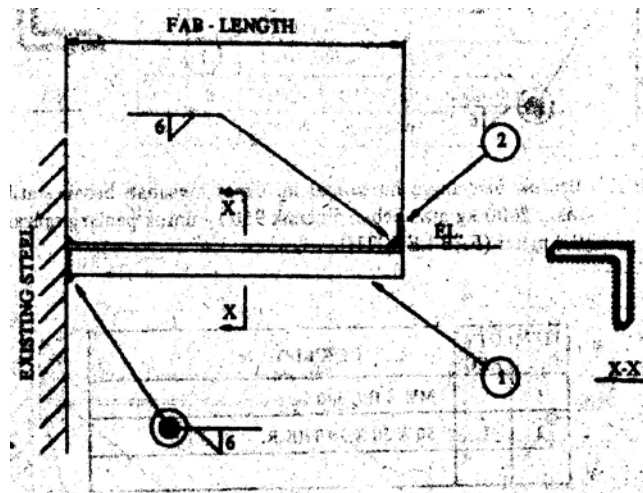


Note : Penyangga kaki bebek diambil dari Pipe Support Standard.

Gambar 2.10. Penyangga pipa kaki bebek (*Duck Foot*)
(Sherwood,1973)

3. Penyangga bentuk siku-siku (*bracket support*)

Penyangga jenis ini seperti pada Gambar 2.11 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.

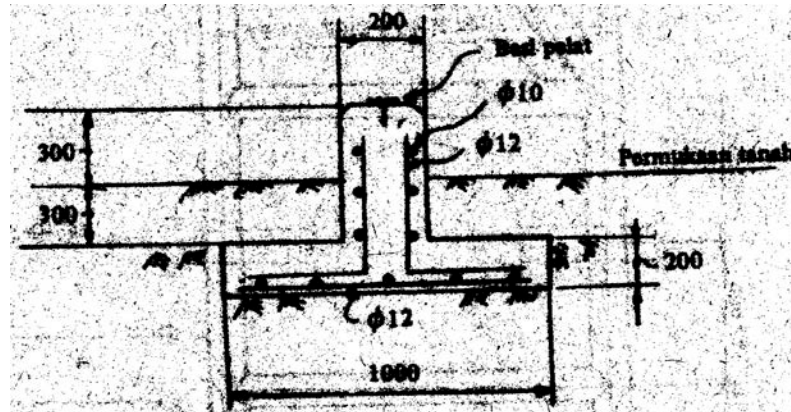


Gambar 2.11. Penyangga pipa *bracket*
(Sherwood,1973)

4. Penyangga pembaringan pipa (*Pipe Sleeper*)

Penyangga ini dipakai pada pipa bawah tanah sekitar 1 meter dibawah permukaan tanah. Bahan yang dipergunakan adalah *concrete* dan besi

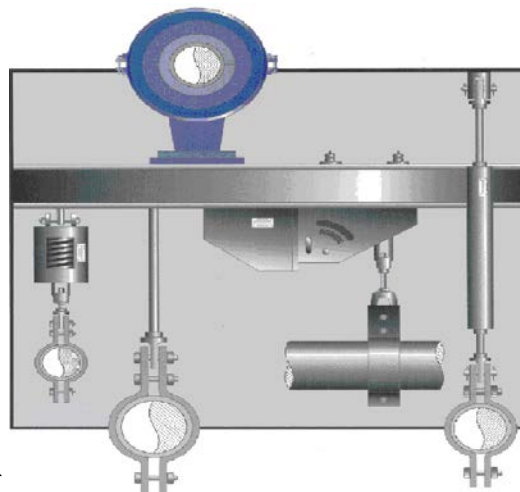
beton. Bagian permukaannya diberi plat besi sebagai penahan gesekan pipa dan juga tempat *anchor*. Penyangga jenis ini dapat dilihat seperti Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Pembaringan pipa (*Pipe Sleeper*)
(Sherwood,1973)

5. Penyangga gantung (*pipe hanger*)

Penyangga jenis ini seperti Gambar 2.13 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.



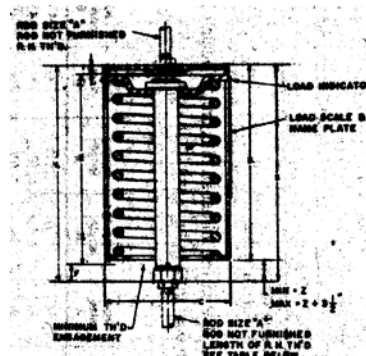
Gambar 2.13. *Pipe hanger*
(santoso, 2007)

2.1.13. Penyangga beban dinamik

Penyangga pipa jenis pembebanan statik dapat digolongkan lagi menjadi :

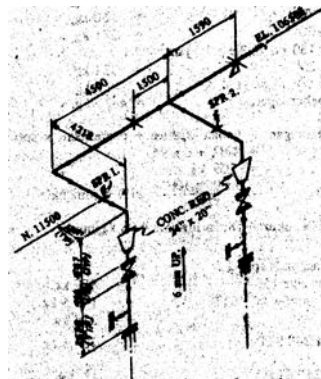
1. Penyangga variabel (*Variable Support*)

Perhitungan penyangga variable seperti pada Gambar 2.14. didasarkan pada beban pegas (*spring*). Perhitungan pembebanannya adalah untuk beban tarik maupun beban tekan.



Gambar 2.14. Penyangga pipa jenis *Variable Spring*

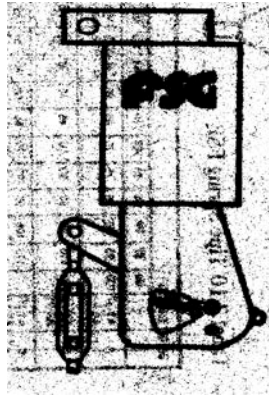
Contoh pengaplikasian penyangga variable dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15. Aplikasi penyangga pipa jenis *Variable Spring*

2. Penyangga konstan (*Constant Support*)

Penyangga jenis *Constant Spring* seperti Gambar 2.16 adalah bentuk *spring* yang tetap dan berbeda dari *variabel spring*. Bentuk penyangga ini letaknya tetap pada elevasi tertentu sedangkan reaksi penyangga dilakukan oleh tangan yang dihubungkan langsung ke spring seperti variabel spring.



Gambar 2.16. Penyangga pipa *Constant Spring*

2.1.14. Jenis Penyangga Pipa Lain

Disamping penyangga ada beberapa istilah yang berkaitan dengan penyangga pipa, yaitu :

1. *Y-Stop* : *Support* yang berfungsi untuk menahan gerakan pipa kearah bawah. (*weight support*)
2. *Guide* : *Support* yang berfungsi untuk menahan gerakan pipa pada arah lateral.
3. *Line Stop* : *Support* yang berfungsi untuk menahan gerakan pipa searah longitudinal (*axial*) dari pipa.
4. *Anchor* : *Support* yang berfungsi untuk menahan pipa agar tidak bergerak kemana-mana. *Anchor* ada 2(dua) jenis:
 - *Fixed Anchor*, dimana ada transfer moment ke sistem *support* (contoh: di Las).
 - *Guide-Line Stop*, tidak ada transfer moment ke sistem *support*.
5. *Spring* : *Support* khusus yang penggunaannya berdasarkan hasil *stress*.

Adapun simbol untuk macam-macam penyangga pipa dapat kita lihat pada Gambar 2.17.

CAESAR II Software		Isometrics
	Anchor (Main Anchor)	
	Directional Anchor (free moments) (free rotations)	
	Line stop Transversal Guide (free in vertical direction)	
	Weight support Base Support	
	Guide Longitudinal Guide (free in vertical direction)	
	Vertical Guide	
	Spring Support (Hanging up)	
	Spring Support (Hanging down)	
	Rigid Strut	
	Hanger Support	
	Weight support for Hydrostatic Test only Support for Hydrotest (Dismantling after test)	
	Anti-Lift-Up Support	
	Adjustable Support	

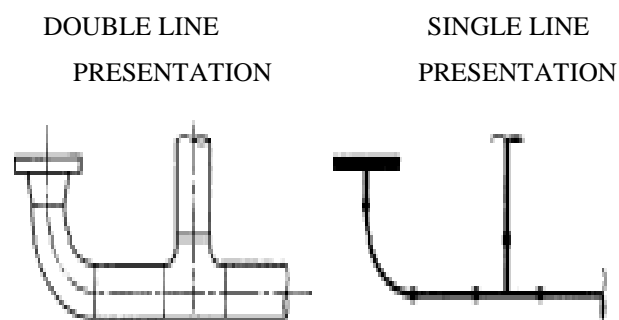
Gambar 2.17. Simbol penyangga pipa

(Ap-Greid, 2007)

2.1.15. Simbol - simbol perpipaan

Gambar adalah suatu media komunikasi untuk mentrasfer informasi kepada orang lain. Untuk dapat dipahami, suatu gambar perpipaan harus digambar dengan menggunakan simbol - simbol perpipaan yang dikenal di kalangan orang yang bekerja dalam bidang perpipaan.

Simbol perpipaan dapat digambarkan dengan sistem garis ganda dan Sistem garis tunggal seperti pada gambar 2.18.



Gambar 2.18. Penggambaran sistem garis ganda dan garis tunggal

Berdasarkan jenis sambungan untuk menyambung di antara komponen-komponen pipa, simbol perpipaan dibedakan menjadi 3 seperti pada Gambar 2.19.

- Simbol sambungan las ujung (*butt welding*)
- Simbol sambungan *socket weld*
- Simbol sambungan *screwed joint* atau *threaded*

	BUTT WELD	SOCKET WELD	SCREWED JOINT
SIMPLIFIED PRACTICE *			
CONVENTIONAL PRACTICE			
ANSI Y32.2.3 (Not current practice)			

Gambar 2.19. Simbol sambungan perpipaan

SYMBOLS FOR BUTT-WELDED SYSTEMS				SYMBOLS FOR BUTT-WELDED SYSTEMS				SYMBOLS FOR BUTT-WELDED SYSTEMS			
NAME OF ITEM	END VIEW	SIDE VIEW	END VIEW	NAME OF ITEM	END VIEW	SIDE VIEW	END VIEW	NAME OF ITEM	END VIEW	SIDE VIEW	END VIEW
BLIND END FLANGE				LAP JOINT FLANGE & FIT				RETURN			
BUTT WELD				LATERAL				SOCKETLET	SHOW AS WELDLET - CHART 5.3		
BLIND FLANGE				LAP JOINT				SLIP ON FLANGE			
CAP				LAP JOINT				STUB WELD			
COUPLING, FULL & HALF				MITER	SEE ENCL. OF THIS CHART			IMAGE, CONCENTRIC ECCENTRIC	TOP VIEW STATES WHETHER TOP OR BOTTOM IS FLAT		
CROSS				PIPE				WELDED NECK			
ELBOW, 90°				REDUCER	TOP VIEW STATES WHETHER TOP OR BOTTOM IS FLAT			WELDED NECK FLANGE			
ELBOW, 45°				REDUCING FLANGE				WELDED SOCKET	SHOW AS WELDLET - CHART 5.3		
ELBOW, 60°				REDUCING ELBOW				TEE			
ELBOW, 30°				REINFORCEMENTS	SHOULDER FOR 1" DIA.			2-PIECE MITER			
FLANGE				SOCKET				3-PIECE MITER			
HOSE				WELDED							
HOSE CONNECTION											
PIPE											
PLUG											
REDUCER											
RETURN											
SEAL WELD	SHOW BY NOTING 'SEAL WELD'										
IMAGE, CONCENTRIC	TOP VIEW										
ECCENTRIC	TOP VIEW										
TEE, STRAIGHT or REDUCING											
WELDED SOCKET	SHOW AS WELDLET - CHART 5.3										

Gambar 2.20. Simbol perpipaan untuk sambungan *Butt Welded*

SYMBOLS FOR SCREWED SYSTEMS			
NAME OF ITEM	END VIEW	SIDE VIEW	END VIEW
CAP			
COUPLING, FULL & HALF	SHOW FOR BRANCH CONNECTIONS ONLY - SEE 'COUPLING' IN CHART 5.3		
CROSS			
ELBOW, 90°			
ELBOW, 45°			
FLANGE			
HOSE			
HOSE CONNECTION			
PIPE			
PLUG			
REDUCER			
RETURN			
SEAL WELD	SHOW BY NOTING 'SEAL WELD'		
IMAGE, CONCENTRIC	TOP VIEW		
ECCENTRIC	TOP VIEW		
TEE, STRAIGHT or REDUCING			
WELDED SOCKET	SHOW AS WELDLET - CHART 5.3		

SYMBOLS FOR SOCKET-WELDED SYSTEMS			
NAME OF ITEM	END VIEW	SIDE VIEW	END VIEW
CAP			
COUPLING, FULL & HALF	SHOW FOR BRANCH CONNECTIONS ONLY - SEE 'COUPLING' IN CHART 5.3		
CROSS			
ELBOW, 90°	SEE ELBOW - CHART 5.3		
ELBOW, 30°			
ELBOW, 45°			
FLANGE			
HOSE			
PIPE			
REDUCER			
RETURN	NO SOCKET-WELDING FOR STEEL FITTING IS AVAILABLE IN A REDUCER RETURN. RETURN IS MADE USING A BUTT WELDING RETURN. NO SOCKET-WELDING ELBOWS IN THE WELDING RETURN.		
SOCKETLET	SHOW AS WELDLET - CHART 5.3		
IMAGE, CONCENTRIC	TOP VIEW		
ECCENTRIC	TOP VIEW		
TEE, STRAIGHT or REDUCING			
WELDED SOCKET	SHOW AS WELDLET - CHART 5.3		

Gambar 2.21. Simbol perpipaan untuk sambungan *Socket Welded* dan *Screwed*

2.2. Tegangan

Tegangan (σ) merupakan gaya per satuan luas yang dialami oleh material, sehingga satuan dari tegangan yaitu N/m^2 . Tegangan dapat diketahui dengan melakukan pengujian dan besarnya kekuatan sangat tergantung pada jenis material yang diuji. Maka rumus tegangan yaitu :

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

σ = Tegangan (N/m^2)

F = Gaya yang diberikan (N)

A = Luas penampang (m^2)

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

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan :

ε = Regangan

ΔL = Perubahan panjang batang (m)
= $L_1 - L$

L_1 = Panjang akhir batang (m)

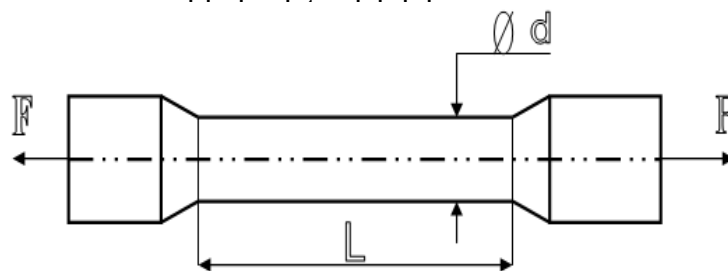
L = Panjang awal batang (m)

2.2.1. Tegangan normal

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

1. Gaya tarik

Kekuatan tarik dapat diperoleh dengan melakukan uji tarik terhadap spesimen yang mempunyai luas penampang A dan panjang L seperti yang terlihat pada Gambar 2.22. Benda uji dijepit pada mesin uji dan diberikan gaya tarik berlawanan arah, hingga benda uji putus. Benda uji akan mengalami pertambahan panjang (Δ_L) dan pengecilan luas penampang pada bag



Gambar 2.22. Spesimen uji tarik

(Ap-Greid, 2007)

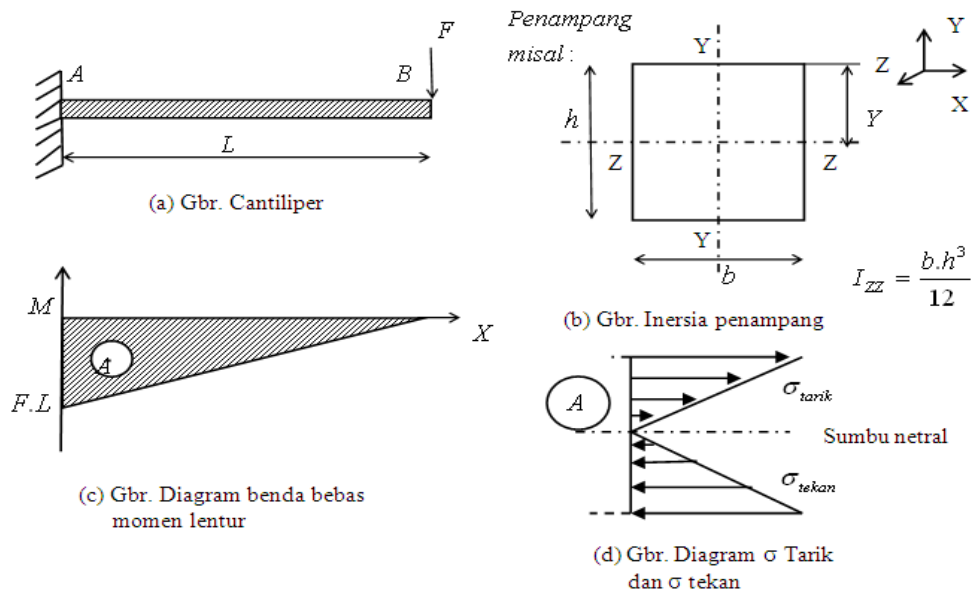
$$\sigma_t = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi \cdot d^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan :

- σ_t = Tegangan tarik (N/m^2)
- F = Gaya yang diberikan (N)
- A = Luas penampang (m^2)

2. 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 pada Gambar 2.23.



Gambar 2.23. Momen lentur
(Popov., E.P.,1989)

Sehingga :

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

Dimana :

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

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

Dengan :

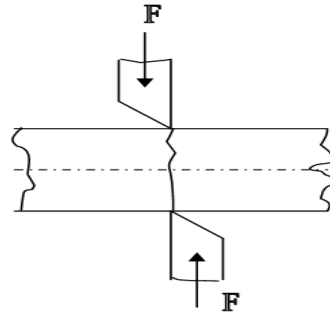
- σ_L = Tegangan lentur (N/m²)
- M = Momen lentur (N.m)
- I_{zz} = Momen inersia penampang (m⁴)
- y = Jarak bidang netral ke permukaan yang di tinjau/terluar (m)

2.2.2. Tegangan Geser

Tegangan geser (τ) ialah tegangan yang bekerja sejajar dengan bidang pembebanan. Tegangan tersebut diakibatkan adanya beban-beban yang bekerja pada suatu material. Macam-macam beban yang menyebabkan terjadinya tegangan geser adalah sebagai berikut :

1. Gaya geser

Gaya geser cenderung untuk memutar bahan searah jarum jam dan bekerja kebagian bawah balok. Gaya geser ada dua macam yaitu geser tunggal dan geser ganda, yang ditunjukkan Gambar 2.24. adalah gaya geser tunggal :



Gambar 2.24. Gaya geser tunggal
(Popov., E.P.,1989)

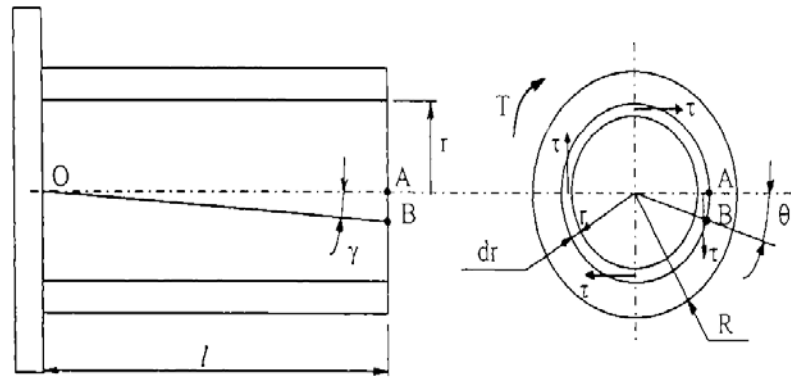
$$\tau_{g.\max} = \frac{V \cdot Q}{A_m} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan :

- $\tau_{g.\max}$ = Tegangan geser (N/m²)
- Q = Faktor bentuk tegangan geser
= 1.33 untuk silinder solid
- V = Gaya geser (N)
- A_m = Luas penampang (m²)

2. Momen puntir

Bila material mendapat beban puntiran, maka serat-serat antara suatu penampang lintang dengan penampang lintang yang lain akan mengalami pergeseran, seperti pada Gambar 2.25 berikut.



(a) Pandangan Memanjang (b) Penampang Lintang

Gambar 2.25. Batang silindris dengan beban puntiran (Sudarisman, 2002)

Gambar 2.6 (a) menunjukkan bahwa titik A bergeser ke B sehingga membentuk sudut γ . Sedangkan pada Gambar 2.6 (b) pergeseran tersebut akan mengakibatkan rotasi serat pada penampang lintangnya sebesar θ . Sehingga pada serat terluar, regangan geser yang terjadi adalah γ yang besarnya : (sudarisman, 2002)

$$AB = r \cdot \theta = l \cdot \gamma \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan :

- r = Jarak serat dari sumbu netral (mm)
- θ = Pergeseran sudut pada penampang lintang (rad)
- l = Panjang poros (mm)
- γ = Regangan geser (rad)

Pergeseran sudut

$$\theta = \frac{T \cdot l}{I_p \cdot G} \dots\dots\dots(2.10)$$

Sedangkan :

$$\gamma = \frac{\tau}{G} \text{ dan } \tau = \frac{T \cdot r}{I_p} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dengan :

γ = Regangan geser (rad)

τ = Tegangan geser (Mpa)

G = Modulus Geser (Mpa)

Tegangan Geser akibat momen torsi, τ_p :

$$\tau_p = \frac{T \cdot r}{I_p} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$I_p = \frac{\pi}{32} \cdot d^4 \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan :

T = Torsi yang bekerja

I_p = Momen Inersia Puntir (m^4)

r = Jarak serat dari sumbu netral ke permukaan terluar (m)

2.2.3. Kode Standar Desain Pipa

Kode standar desain adalah aturan-aturan dalam mendesain atau membangun suatu sistem perpipaan yang dibuat berdasarkan pengalaman-pengalaman para engineer dibidang industri, tujuan utama dibuatnya kode standar desain ini adalah sebagai solusi dari pemecahan masalah mengenai banyaknya kegagalan-kegagalan yang terjadi pada sistem perpipaan karena tidak dirancang dengan aman disuatu pabrik maupun disuatu industri minyak dan gas.

Pada saat ini terdapat beberapa buah kode standar yang sering digunakan sebagai acuan di Indonesia sesuai dengan kebutuhan bidang industri, yaitu :

1. ASME/ANSI B31.1 digunakan untuk sistem perpipaan di industri pembangkit listrik.
2. ASME/ANSI B31.3 digunakan untuk sistem perpipaan di industri proses dan petrokimia.
3. ASME/ANSI B31.4 digunakan untuk pipa transport minyak dan zat cair lainnya.
4. ASME/ANSI B31.5 digunakan untuk sistem perpipaan pendingin.
5. ASME/ANSI B31.8 digunakan untuk pipa *transport* gas.

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

1. ASME *Boiler and pressure Vessel, section III, subsection NB, NC, ND*, untuk sistem perpipaan diindustri pembangkit listrik tenaga nuklir.

2. API kode seri untuk industri dibidang migas.
3. *Stoomwezen* dari Belanda.
4. SNCT kode dari Prancis untuk petrokimia
5. *Canadian Z662* dari Kanada.
6. BS7195 dari Inggris.
7. *NORWEGIAN* dan *DNV* dari Norwegia.

Kode standar desain 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.

2.2.4. Faktor-Faktor Yang Menyebabkan Tegangan Dalam Pipa

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

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

1. Beban panas (*thermal*)

Suhu yang sangat tinggi tentu saja akan menimbulkan perubahan panjang pada pipa. Perubahan panjang pipa :

$$\Delta L = L_1 - L_0 = \alpha \cdot (T_1 - T_0) \cdot L_0 \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

Tegangan aksial yang terjadi, σ

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = E \cdot \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{E \cdot \alpha \cdot (T_1 - T_0)}{L_0} \cdot L_0 \quad \dots\dots\dots(2.15)$$

$$\sigma = E \cdot \alpha \cdot (T_1 - T_0) \quad \dots\dots\dots(2.16)$$

Dengan :

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

$$\varepsilon = \text{Regangan (m)}$$

$$E = \text{Modulus elastisitas (N/m}^2\text{)}$$

ΔL = Perubahan panjang batang (m)

T_0 = Suhu awal atau instalasi ($^{\circ}F$)

T_1 = Suhu operasi ($^{\circ}F$)

α = Koefisien muai material pipa

L_1 = Pertambahan panjang batang (m)

L_0 = Panjang awal (m)

2. Beban berat

Tegangan-tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan juga diakibatkan oleh pengaruh berat. Gaya berat ini arahnya sama yaitu vertikal kebawah sesuai dengan arah gravitasi.

a. Beban mati (*dead load*)

Beban mati meliputi berat pipa dan berat komponen-komponen pipa (katup, *tee*, dan sebagainya).

b. Beban hidup (*live load*)

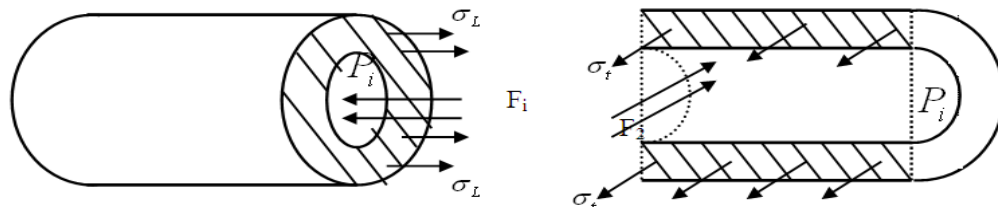
Beban hidup ini meliputi berat pipa, komponen-komponen pipa dan berat fluida yang mengalir. Beban berat akan menimbulkan defleksi/lengkungan, arah dari beban berat menuju ke bawah. Masalah yang berhubungan dengan beban berat adalah pada pipa besar (diameter besar) dengan densitas ρ besar.

Beban berat diatasi dengan penyangga pipa (*pipe support*), untuk menghemat jumlah penyangga pipa dapat dilakukan dengan membuat bentangan (*span*) yang besar, namun *span* yang besar akan menimbulkan lengkungan yang besar yang selanjutnya menimbulkan tegangan yang besar sehingga secara praktis terdapat bentangan (*span*) maksimum yang diperbolehkan tergantung dari diameter dan *schedule* pipa.

3. Tekanan internal

Tekanan Internal (P_i) dari fluida yang mengalir di dalam pipa akan menyebabkan timbulnya tegangan-tegangan pada pipa, untuk tekanan yang relatif kecil, pengaruh tegangan yang ditimbulkan juga kecil, sebaliknya untuk tekanan

tinggi hal ini akan menyebabkan tegangan yang tinggi pula. Seperti pada Gambar 2.26 berikut.



(a)Sambungan Transversal/Tangensial (b)Sambungan Longitudinal/Aksial

Gambar 2.26. Sambungan pada Pipa
(Ap-Greid, 2007)

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

1. Tegangan longitudinal atau aksial

Tegangan longitudinal ini terjadi pada pipa dengan jenis sambungan transversal atau tangensial. Beberapa hal yang menyebabkan terjadinya tegangan *longitudinal* seperti *axial force* dan *internal pressure*.

2. Tegangan *transversal*

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

2.2.5. Tegangan Primer dan Tegangan Sekunder

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

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

1. Beban Primer

Karakteristik beban primer adalah :

- a. Beban primer biasanya disebabkan oleh gaya (*force*), seperti : tekanan, gaya berat (bobot mati), gaya pegas (*spring*), gaya dari *relief valve* dan *fluid hammer*.
- b. Beban primer tidak bersifat membatasi diri sendiri (*self limiting*), maksudnya setelah deformasi plastis terjadi, selama beban itu bekerja, maka

deformasi akan berlanjut terus sampai kesetimbangan gaya tercapai atau terjadi patah atau kerusakan.

- c. Beban primer sifatnya tidak berulang (kecuali beban karena pulsasi dan variasi tekanan, yang selain dikategorikan sebagai beban primer juga merupakan beban sekunder).
- d. Batas tegangan yang diijinkan untuk tegangan primer didapat melalui teori kegagalan, seperti : teori *Von Mises*, *Tresca*, dan *Rankine* berdasarkan tegangan luluh (S_y), tegangan *ultimate* (S_u), atau tegangan *rupture (creep)*.
- e. Kegagalan dapat terjadi oleh satu beban tunggal yang menimbulkan deformasi plastis total menyeluruh atau patah.

2. Beban sekunder

Karakteristik Beban Sekunder adalah :

- a. Beban sekunder biasanya disebabkan oleh perpindahan (*displacement*), seperti : ekspansi *thermal*, getaran, perpindahan *anchor*, dan *settlement*.
- b. Beban sekunder selalu bersifat membatasi diri sendiri (*self limiting*), maksudnya setelah deformasi plastis terjadi, deformasi tidak berlanjut terus karena tegangan berkurang dengan sendirinya dan cenderung menghilang.
- c. Beban sekunder sifatnya berulang (kecuali *settlement*).
- d. Batas tegangan yang diizinkan untuk tegangan sekunder didapat berdasarkan jumlah siklus beban dari kegagalan kelelahan metal (kurva metal lelah).

Kegagalan tidak dapat terjadi oleh satu beban tunggal, tetapi kerusakan yang *katastrofis* dapat terjadi setelah sejumlah beban berulang bekerja pada sistem pipa. Oleh karena itu, walaupun sebuah sistem pipa telah dengan sukses beroperasi bertahun-tahun, ini tidak menjamin perancangan pipa yang baik dipandang dari kacamata beban sekunder.

3. Beban *Occasional*

Beban *occasional* adalah beban primer yang terjadi hanya dalam waktu yang singkat dan jarang kejadiannya. Karena beban ini hanya sebentar bekerjanya, kegagalan karena beban ini tidak akan mengakibatkan kegagalan karena rangkakan (*creep*), sehingga tegangan yang terjadi diperbolehkan melebihi tegangan akibat beban primer yang tetap (*sustained load*). Keringanan ini berbeda antara kode pipa, yaitu 33% untuk ANSI B31.3 dan 15% & 20% untuk ANSI B31.1.

Yang termasuk beban *occasional* pada sistem perpipaan adalah :

1. Beban angin
2. Beban gempa / *seismic*
3. Beban *fluid transient* karena perubahan tekanan maupun suhu seperti beban kejut pada PSV & *fluid hammer* (pukulan fluida)

Tegangan akibat beban *occasional* dikombinasikan dengan beban tetap seperti berikut ini.

➤ **ANSI B31.3 :**

$$S_L + S_{occ} \leq 1,33 \cdot S_h \dots\dots\dots(2.17)$$

➤ **ANSI B31.1 :**

$$\frac{P \cdot d_o}{4 \cdot t_n} + \frac{0,75 \cdot i \cdot M_A}{Z} + \frac{0,75 \cdot i \cdot M_B}{Z} \leq k \cdot S_h \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

$k = 1,15$ jika durasi beban *occasional* bekerja kurang dari 10% dari waktu operasi

$= 1,20$ jika durasi beban *occasional* bekerja kurang dari 1% dari waktu operasi

M_A = momen resultan beban tetap

M_B = momen resultan beban *occasional*

Beban ini bersifat dinamis baik besarnya maupun arahnya, sangat cepat sehingga pipa tidak cukup waktu untuk merespon seperti pada beban statis. Karena itu untuk mengevaluasi akibat beban ini seharusnya dilakukan dengan analisa dinamis. Sebagai alternatif dari analisa dinamis dapat dilakukan dengan memakai analisa kuasi statis, dimana beban dinamis dimodelkan sebagai beban statis dengan diperkuat harganya dengan faktor tertentu yang secara umum

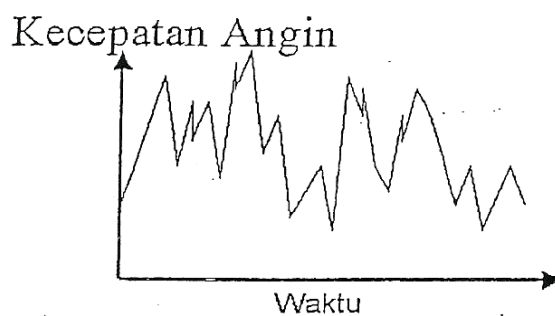
disebut dengan faktor beban dinamis (*Dynamic Load Factor –DLF*). Teknik analisa kuasi statis tidak menghasilkan perhitungan yang lebih akurat dibandingkan dengan analisa dinamis, tetapi Karena jauh lebih sederhana dan cepat perhitungannya, sering digunakan pada *fase* perancangan selama faktor beban dinamis dapat ditentukan secara konservatif. Beban Occasional dapat dibedakan menurut profil beban sebagai fungsi waktu , yaitu beban yang acak (random) dan beban kejut.

4. Beban *Random*

Beban acak (*random*) mengalami perubahan besar dan arah secara acak, walaupun ada karakter yang dominan pada profil beban. Beban yang termasuk tipe ini adalah :

a) Beban angin

Jika udara mengalir membentur permukaan dinding pipa maka akan menimbulkan “tekanan *equivalen*” pada pipa yang diakibatkan berkurangnya momentum yang dimiliki angin tersebut. Walaupun angin memiliki sifat-sifat yang *prodominat* seperti arah dan kecepatan rata-rata, namun perubahan arah dan kecepatan tersebut sering terjadi, misalnya karena *gusting*. Perubahan arah dan kecepatan angin ini bersifat acak (*random*) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.27. berikut.



Gambar 2.27. Profil Beban Angin
(Ap-Greid, 2007)

Perumusan yang digunakan dalam menghitung besarnya beban angin sebagai berikut :

$$F_{WL} = q_z \cdot G_z \cdot C_d \cdot A \cdot \sin \theta \dots\dots\dots(2.19)$$

Dengan :

q_z = tekanan *ekuivalen* angin

G_z = *Gust-Factor*

C_d = koefisien bentuk

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

A = $D.l$

θ = sudut antara sumbu aksial pipa dan arah angin

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

$$q_z = 0,613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot V^2 \cdot I \cdot (\text{N/m}^2) \dots\dots\dots(2.20)$$

Dengan :

K_z = koefisien *exposure*

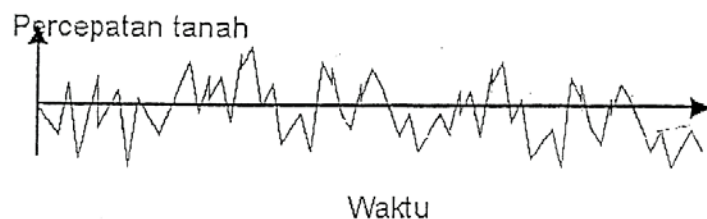
K_{zt} = koefisien *topografi*

V = kecepatan dasar angin (mph atau m/dtk)

I = faktor importansi dari kehunian

b) Beban Gempa

Beban gempa disebut juga dengan beban *seismic*, disebabkan oleh bergeraknya tanah secara *random* yang melalui *anchor* struktur atau pipa ke tanah dan menyebabkan beban inersia suatu struktur atau pipa yang terinduksi pergerakan tanah yang *random* tersebut sebenarnya merupakan somasi yang tidak terhingga jumlahnya dari pergerakan tanah yang sifatnya siklus (harmonis) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.28. berikut.



Gambar 2.28. Profil Beban Gempa
(Ap-Greid, 2007)

Beban total akibat gempa sebagai berikut :

$$V = Z \cdot I \cdot K \cdot C \cdot S \cdot W \dots\dots\dots(2.21)$$

Dengan:

- Z = koefisien zona gempa
 = 1/8 untuk zona 0 (hanya pada ANSI 58.1)
 = 3/16 untuk zona 1
 = 3/8 untuk zona 2
 = 3/4 untuk zona 3
 = 1 untuk zona 4
- I = *importance factor* pemakai
 = 1,0 untuk pipa dan bejana tekan
- K = konstanta jenis ukur
 = 2,0 untuk struktur selain gedung termasuk pipa & bejana tekan
- C = faktor beban geser = $1/(15T)^{1/2} < 0,12$
- T = periode natural dari struktur
- S = koefisien *soil*
 = 1,0-1,5 dimana $CS < 0,14$
- W = berat mati dari pipa

2.2.6. Pembatasan Tegangan Kode ASME/ANSI B31.3

Pembatasan yang terjadi untuk perpipaan di suatu kilang minyak dan industri kimia diatur menurut kode ANSI B31.3 sebagai berikut:

1. Tegangan karena beban tetap (*Sustained Load*)

Aturan aman :

$$S_L < S_h \dots\dots\dots(2.22).$$

Dengan :

- S_h = *Basic allowable stress* pada suhu operasional maksimal
 S_L = Tegangan longitudinal akibat beban *sustained*

2. Tegangan karena beban *Occasional* (kadang-kadang)

Aturan aman :

$$S_{L0} < 1,33.S_h \dots\dots\dots(2.23)$$

$$S_{L0} = S_L + \frac{\sqrt{(i_{10}.M_{i0})^2 + (i_{00}.M_{00})^2}}{Z} \dots\dots\dots (2.24)$$

Dengan :

- S_{L0} = *Occasional longitudinal load stress*

S_L = Tegangan longitudinal akibat beban *sustained*
 i_{i0} = *Inplane* SIF akibat beban *occasional*
 i_{o0} = *Outplane* SIF akibat beban *occasional*
 M_{i0} = *Inplane bending moment* akibat beban *occasional*
 M_{o0} = *Outplane bending moment* akibat beban *occasional*
 Z = *Section modulus* pipa

3. Tegangan karena beban ekspansi

$$S_E \leq S_A \dots\dots\dots (2.25)$$

$$S_E = \sqrt{(S_b)^2 + 4(S_t)^2} \dots\dots\dots (2.26)$$

$$S_b = \frac{\sqrt{(i_i \cdot M_i)^2 + (i_o \cdot M_o)^2}}{Z} \dots\dots\dots (2.27)$$

$$S_A = f (1,25 \cdot S_c + 0,25 \cdot S_h) \dots\dots\dots (2.28)$$

Dengan:

S_E = *Displacement stress range*
 S_A = *Allowable stress range*
 S_b = *Resultant bending stress*
 i_i = *Inplane SIF*
 i_o = *Outplane SIF*
 M_i = *Inplane bending moment*
 M_o = *Outplane bending moment*
 S_t = $M_t / 2 Z$ = *Torsional stress*
 M_t = *Torsional moment*
 Z = *Section modulus* pipa
 f = Faktor yang tergantung pada jumlah siklus termal yang dialami pada pipa tersebut
 S_c = *Stress* yang diijinkan untuk bahan pipa saat pemasangan
 S_h = *Stress* yang diijinkan untuk bahan pipa saat beroperasi

2.2.7. Pembatasan Tegangan Perpipaan Menurut *Caesar II*

Caesar II mendefinisikan beberapa beban kombinasi seperti beban *sustained*, beban ekspansi, beban *occasional* (kadang-kadang), dan beban operasi. Berbeda dengan *Autopipe*, *Caesar II* tidak mendefinisikan beban *Hoop Stress*.

Berikut perumusan untuk masing-masing beban :

1. Beban *Sustained*

$$\text{- Stress} : S_L = \frac{P \cdot D_i^2}{(D_o^2 - D_i^2)} + \frac{\sqrt{(I_i \cdot M_i)^2 + I_o \cdot M_o^2}}{Z} + \frac{F_{axl}}{A} \dots\dots\dots (2.29)$$

$$\text{- Allowable} : S_h \text{ (Stress yang diizinkan untuk bahan pipa saat)}$$

beroperasi)

- *Rasio* : $\frac{S_L}{S_h}$
- *Combin* : W+P (Berat + tekanan)
- Aturan Aman : $S_L < S_h$

2. Beban *Expansion*

- *Stress* : $S_E = \sqrt{S_b^2 + S_t^3}$ (2.30)
- *Allowable* : $S_A = f \cdot [1,25 (S_c + S_h) - S_t]$
- *Rasio* : $\frac{S_E}{S_A}$
- *Combin* : *Cold to T* (Temperatur)
- Aturan Aman : $S_E < S_A$

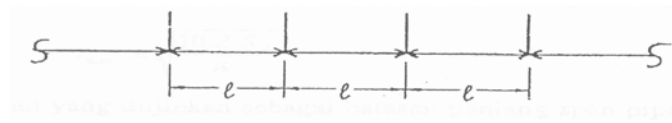
3. Beban *Occasional*

- *Stress* : $S_{L0} = S_L + \frac{\sqrt{(i_{10} \cdot M_o)^2 + (i_{10} \cdot M_o)^2}}{Z}$ (2.31)
- *Allowable* : $1,33S_h$
- *Rasio* : $S_{L0} / (1,33 \cdot S_H)$
- *Combin* : W+P+T+(beban dinamis)
- Aturan Aman : $S_{L0} < 1,33S_h$

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

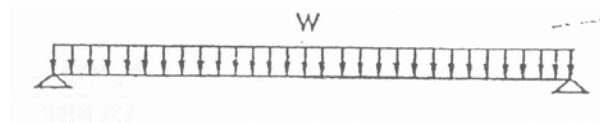
2.2.8. Tegangan Dan Defleksi Karena Beban Bobot Mati

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, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.29. berikut, maka teori dasar batang elastis dapat diterapkan.



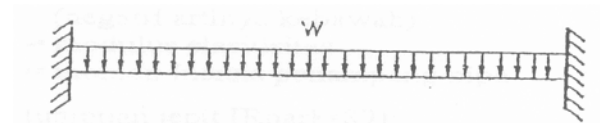
Gambar 2.29. Tumpuan Terdistribusi Merata
(Ap-Greid, 2007)

Permasalahan yang masih ada dalam menerapkan teori batang elastis ini adalah bagaimana memodelkan jenis tumpuan tadi dalam teori, yaitu apakah tumpuan sederhana (*pinned support / simply supported*) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.30. di mana rotasi bebas sepenuhnya.



Gambar 2.30. Tumpuan Sederhana
(Ap-Greid, 2007)

Atau tumpuan jepit (*fixed / clamped support*) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.31. di mana rotasi sepenuhnya ditahan.



Gambar 2.31. Tumpuan Jepit
(Ap-Greid, 2007)

Untuk model pertama (tumpuan sederhana), maka momen lentur (*bending moment*) yang maksimum terjadi berada di tengah-tengah *span*, dan nilainya adalah :

$$M_{max} = \frac{W.L^2}{8} \dots \dots \dots (2.32)$$

Dengan :

M_{max} = momen lentur maksimal

W = beban berat pipa, fluida, dan lainnya per satuan panjang

L = panjang batang (*pipe span*)

Untuk model kedua (tumpuan jepit), momen lentur maksimum terjadi tepat di tumpuan dan besarnya adalah :

$$M_{max} = \frac{W.L^2}{12} \dots \dots \dots (2.33)$$

Dua model teoritis ini memperhatikan dua nilai ekstrim. Kenyataan yang sebenarnya akan berada di antara dua nilai itu. Salah satu nilai kompromi yang diambil adalah nilai tengahnya, yaitu :

$$M_{max} = \frac{W.L^2}{10} \dots\dots\dots(2.34)$$

Tegangan yang terjadi karena momen lentur menurut teori elastisitas adalah :

$$S = \frac{M_{max}}{Z} \dots\dots\dots(2.35)$$

Dengan :

$$Z = \frac{I_{zz}}{y} \dots\dots\dots(2.36)$$

Z = momen tahanan (*section modulus*) penampang pipa

Dari dua persamaan ini, jika nilai tegangan yang ditentukan tidak boleh melebihi tegangan izin S_A , maka jarak maksimum antar tumpuan yang dibolehkan adalah :

$$L_{max} = \sqrt{\frac{10.Z.S_A}{W}} \dots\dots\dots(2.37)$$

Selain tegangan yang diizinkan sebagai batasan panjang *span* pipa, besarnya lendutan (defleksi ke bawah) dari pipa juga dapat untuk menjadi kriteria.

Dari dua model ekstrim di atas, dapat diturunkan rumus untuk defleksi maksimum yang terjadi akibat beban berat pipa, yaitu untuk model dengan tumpuan sederhana :

$$y_{max} = \frac{(-5).W.L^4}{384.E.I} \dots\dots\dots(2.38)$$

Dengan :

y_{max} = defleksi maksimum (negatif artinya ke bawah)

E = modulus elastisitas

I = momen inersia penampang pipa

Dan untuk model tumpuan jepit :

$$y_{max} = \frac{(-W).L^4}{384.E.I} \dots\dots\dots(2.39)$$

Dua rumus terakhir ini pun untuk kasus yang ekstrim, di mana nilai yang sebenarnya ada diantaranya. Nilai kompromi yang digunakan adalah nilai tengah dari dua nilai maksimum defleksi ini.

2.2.9. Jarak Antara Support Maksimum (Maximum Pipe Span)

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

Kemudian dengan mengambil asumsi berikut :

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

Tabel 2.8. MSS-SP-69 *maksimum pipe span*
(David R. Sherwood, 1973)

NOMINAL PIPE OR TUBE SIZE	STD WT STEEL PIPE		COPPER TUBE				FIRE PROTECTION	CAST IRON DUCTILE IRON PRESSURE	CAST IRON SOIL	ASBESTOS CEMENT	CLASS	PLASTIC	FIBERGLASS REINFORCED
	WATER SERVICE	VAPOR SERVICE	WATER SERVICE	VAPOR SERVICE	WATER SERVICE	VAPOR SERVICE							
	ft	m	ft	m	ft	m	ft	m					
1/4	7	2.1	8	2.4	5	1.5	5	1.5					
3/8	7	2.1	8	2.4	5	1.5	6	1.8					
1/2	7	2.1	8	2.4	5	1.5	6	1.8					
3/4	7	2.1	9	2.7	5	1.5	7	2.1					
1	7	2.1	9	2.7	6	1.8	8	2.4					
1 1/4	7	2.1	9	2.7	7	2.1	9	2.7					
1 1/2	9	2.7	12	3.7	8	2.4	10	3.0					
2	10	3.0	13	4.0	8	2.4	11	3.4					
2 1/2	11	3.4	14	4.3	9	2.7	13	4.0					
3	12	3.7	15	4.6	10	3.0	14	4.3					
3 1/2	13	4.0	16	4.9	11	3.4	15	4.6					
4	14	4.3	17	5.2	12	3.7	16	4.9					
5	16	4.9	19	5.8	13	4.0	18	5.5					
6	17	5.2	21	6.4	14	4.3	20	6.1					
8	19	5.8	24	7.3	16	4.9	23	7.0					
10	22	6.1	26	7.9	18	5.5	25	7.6					
12	23	7.0	30	9.1	19	5.8	28	8.5					
14	25	7.6	32	9.8									
16	27	8.2	35	10.7									
18	28	8.5	37	11.3									
20	30	9.1	39	11.9									
24	32	9.8	42	12.8									
30	33	10.1	44	13.4									

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

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

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

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

2.2.10. Metode analisis *check* kebocoran

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

1. *Flange*

- a. Periksa tekanan keseluruhan pada *flange* :

Metode perhitungan dengan tekanan *equivalen* (P_{eq}) berdasarkan *standard* ASME Section III, *Flange Check* (NC-3658) *base oil* adalah:

$$P_{eq} + P < P_{ASME} \quad (2.40)$$

Dengan :

- P_{ASME} = tekanan kerja pada *temperature* desain ASME B16.5, B16.47 (bar)
 P = tekanan operasi (bar)
 P_{eq} = tekanan *equivalen* (bar)

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

$$P_{eq} = \frac{509296 \times MF}{G^3} + \frac{127 \times FA}{G^2} \dots \dots \dots (2.41)$$

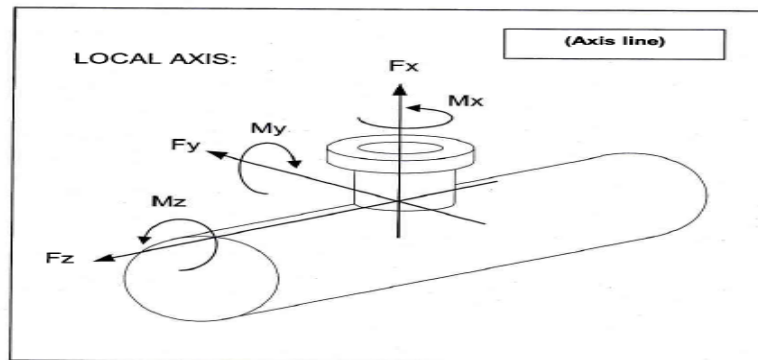
Dengan :

- 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)

$$MF = \sqrt{M_i^2 + M_o^2} \dots \dots \dots (2.42)$$

M_i = momen lentur *in plane* (N.m)

M_o = momen lentur *out plane* (N.m)



Gambar 2.32. Momen *Inplane* Dan *Outplane* Pada Suatu Tee (Ap-Greid, 2007)

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

b. Kesimpulan persamaan metode pembagian faktor koreksi :

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

Dengan :

- P_{eq} = tekanan *equivalen* (bar)
- P_{ASME} = tekanan kerja pada *temperature* desain ASME B16.5, B16.47 (bar)
- P = tekanan operasi (bar)
- β = koefisien *beta* pada *static loads* dan *dynamic loads*

untuk menentukan koefisien beta pada *static loads* dan *dynamic loads* dapat dilihat pada tabel 2.9 berikut.

Tabel 2.9. Koefisien *beta* pada *static loads and dinamic loads*
(Ap-Greid, 2007)

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		

2.4. Gasket

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

Diameter rata-rata *gasket* untuk sambungan datar :

$$G = a_1 - 2 \left(2,5 \sqrt{\frac{J}{2}} \right) \dots\dots\dots$$

.(2.44)

Diameter rata-rata *gasket* untuk sambungan ring :

$$G = a_1 - J \dots\dots\dots$$

.(2.45)

Diameter efektif rata-rata *gasket* untuk sambungan ring :

$$\left(\frac{D_1 + D_d}{2} \right) \dots\dots\dots(2.46)$$

Dengan :

- a_1 = diameter luar *gasket* (mm)
- J = lebar sambungan efektif (mm)
- D_1 = diameter luar *gasket* (mm)
- D_d = diameter dalam *gasket* (mm)

2.3. Perangkat lunak (software) Caesar II versi 7.00

CAESAR II adalah program computer untuk perhitungan stress analysis yang mampu mengakomodasi kebutuhan perhitungan stress analysis. Software ini sangat membantu dalam Engineering terutama di dalam desain Mechanical dan system perpipaan. Pengguna Caesar II dapat membuat permodelan system perpipaan dengan menggunakan “simple beam element” kemudian menentukan kondisi pembebanan sesuai dengan kondisi yang dikehendaki. Dengan memberikan/membuat inputan tersebut, Caesar II mampu menghasilkan hasil analisa berupa stress yang terjadi, beban, dan pergeseran terhadap system yang kita analisa.

Hal-hal yang perlu diketahui dan penting dalam Caesar II adalah:

1. Data masukan:
 - Dimensi dan jenis material.
 - Parameter operasi: temperatur, tekanan, fluida.
 - Parameter beban: berat isolasi, perpindahan, angin, gempa dan lain - lain.
 - *Code* yang digunakan.

2. Pemodelan: node, elemen, tumpuan.
 - Aturan penempatan node.
 - Definisi geometri : *system start*, interseksi, perubahan arah, *end*.
 - Perubahan parameter operasi : perubahan temperatur, tekanan, isolasi.
 - Definisi parameter kekakuan elemen : perubahan ukuran pipa, *valve*, *tee* dan lain lain.
 - Posisi kondisi batas: *restrain*, *anchor*.
 - Aplikasi pembebanan : aplikasi gaya, berat isolasi, gempa dan lain - lain.
 - Pengambilan informasi dari hasil analisis: gaya dalam, *stress*, *displacement*, reaksi tumpuan dan lain - lain.

2.3.1. Kemampuan-Kemampuan CAESAR II versi 7.00

1. Sistem pemodelan

CAESAR II memudahkan pemodelan perpipaan dan penambahan baja pendukung dengan *system* merevolusi jalur *pipe stress* mendekati analisis fleksibilitas. Perancangan, memperlancar dan respon dari alat inovatif pemodelan sangat mengurangi waktu pemodelan pekerjaan yang khas dari jam ke menit aja.

Pemodelan : *node*, elemen, dan tumpuan

Aturan penempatan *node* :

- a. Definisi geometri : *system start*, interseksi, perubahan arah, *end*.
- b. Perubahan parameter operasi : perubahan temperatur, tekanan, isolasi.
- c. Definisi parameter kekakuan elemen : perubahan ukuran pipa, *valve*, *tee* dll.
- d. Posisi kondisi batas : *restrain*, *anchor*.
- e. Aplikasi pembebanan : aplikasi gaya, berat isolasi, gempa.
- f. Pengambilan informasi dari hasil analisis : gaya dalam, *stress*, *displacement*, reaksi tumpuan.

2. Analisis statis

CAESAR II memulai analisis statis dengan merekomendasikan kasus beban yang diperlukan untuk mengikuti *code* tegangan pipa yang di minta. Pemodelan beban pada kasus standar yang disarankan untuk dianalisis, tetapi pengguna juga dapat membuat kasus beban dari kombinasi jenis beban dasar atau kasus beban

lain yang diperlukan. Kasus beban yang ada dapat diubah atau dihapus seperlunya. Kombinasi dari pipa dan model struktural juga memungkinkan untuk mengamati efek dari interaksi *non-linier* pipa struktur baik grafis dan numerik.

Bagian – bagian dari analisis statis:

- a. Pilihan kasus beban komperhensif
- b. Pemeriksaan kesalahan interaktif
- c. Pilihan pegas gantungan ekstensif
- d. Perhitungan beban angin
- e. Fleksibilitas nosel dan tegangan
- f. Pemeriksaan beban peralatan
- g. Pemeriksaan tegangan dan kebocoran *flange*
- h. Kelelahan dan analisis penggunaan kumulatif
- i. Gelombang dan analisis beban aliran

3. Analisis dinamis

CAESAR II memandu pengguna melalui spesifikasi data akuisisi data yang diperlukan untuk analisis dinamis. Analisis dinamis dimulai dengan spesifikasi dari *input* data dinamis seperti massa terpusat, getaran yang ditetapkan, *snubbers* dan definisi spektrum. Pengguna dapat menggunakan getaran spektrum terpasang tetap atau sesuai dengan keinginan pengguna. Akurasi dapat diseimbangkan dengan efisiensi melalui pilihan, baik massa konsisten atau disamakan analisis model massa.

Bagian-bagian dari analisis dinamis:

- a. Bentuk mode dan perhitungan frekuensi normal.
- b. Perpindahan selaras dan analisis gaya.
- c. Analisis getaran *spectrum* dan gerakan penyangga bebas.
- d. Analisis gaya *spectrum*.
- e. Analisis penceritaan saat modal.
- f. Animasi respon dinamis.
- g. Kehilangan masa atau perbaikan gaya.
- h. Statis atau kombinasi beban dinamis.
- i. Katup *relief* beban perpaduan.

j. *Data Interfaces*

4. Output

Laporan *output CAESAR II* termasuk masukan gempa, pemilihan gantungan dan daftar kasus beban pengendalian tersendiri, perpindahan, gaya ditempat dan momen, dan *code* mendefinisikan tegangan membandingkan dengan batas yang diijinkan pengguna.

Pengguna dapat meninjau semua atau sebagian dari informasi ini pada layar sebelum laporan dicetak atau dikirim untuk meninjau *output* pada *Microsoft Word*. Tinjauan *Output* ini mempercepat siklus desain dengan menampilkan hasil yang sangat berguna dalam mendiagnosis daerah masalah perpipaan.

Bagian – bagian dari output:

- a. *Customizable* Laporan
- b. Tinjauan gambar rancangan hasil *analytical*
- c. Isometrik tegangan pipa otomatis
- d. Pengeluaran basis data ODBC

5. *Standard dan Code analisis*

Caesar II dilengkapi dengan *code*, *standard* dan basis data yang diperlukan untuk banyaknya aplikasi di seluruh dunia, sehingga pengguna dapat memulai pekerjaan segera.

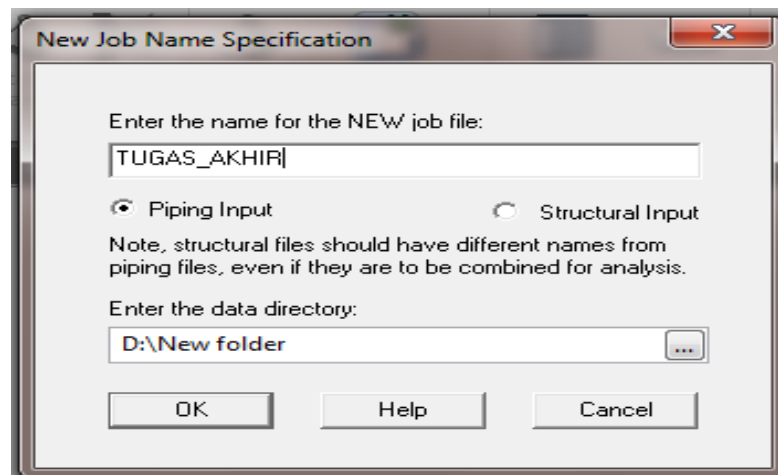
Bagian-bagian dari *standard dan code analisis*:

- a. Perpipaan.
- b. Pembebanan angin.
- c. Gempa.
- d. Evaluasi *flange*.
- e. Pembebanan peralatan.
- f. Fleksibilitas dan tegangan nosel.
- g. Basis data
- h. Material ekstensif.

2.3.2. Menu Utama Pada Caesar II versi 7.00

1. *New file*

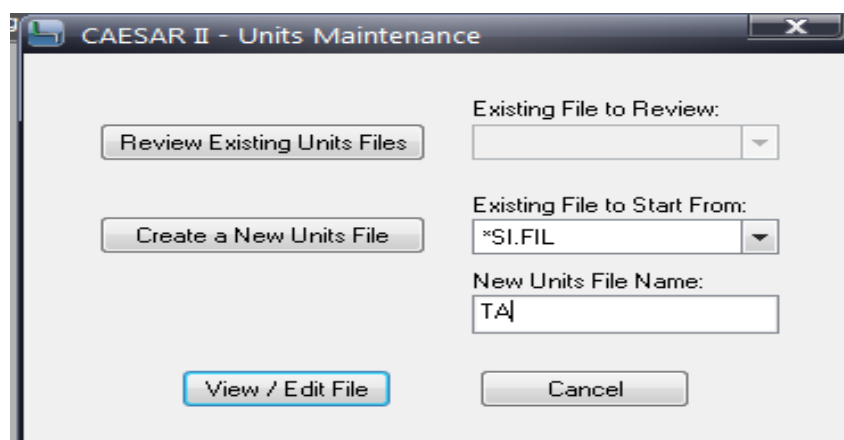
Untuk memulai program Caesar II, kita pilih File - New. Ketika memilih *new* kita harus memilih apakah pekerjaan yang akan kita buat adalah *piping input* atau *structural input*. Dalam hal ini kita akan melakukan pemodelan piping sehingga kita pilih *piping input* kemudian klik OK. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.33.



Gambar 2.33. *New file*

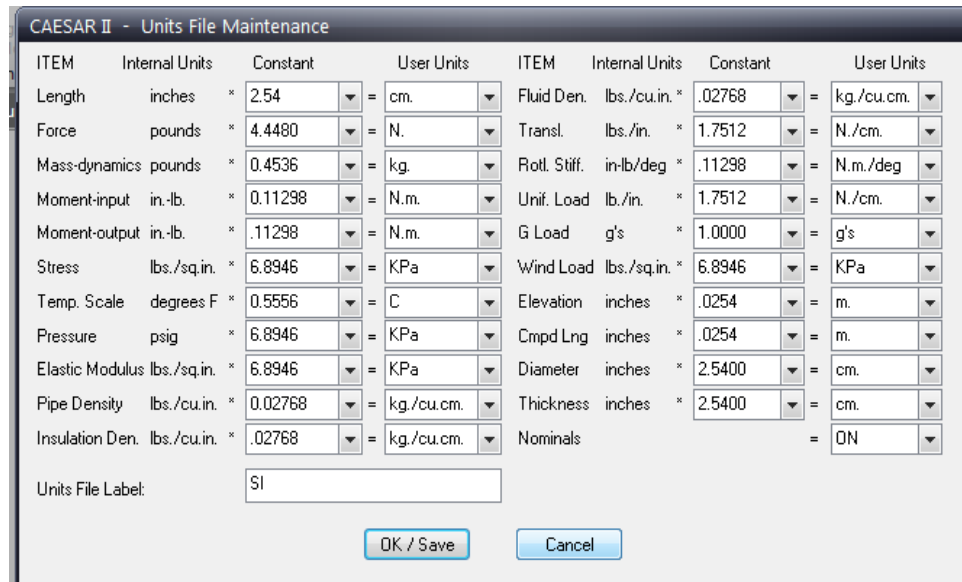
2. *Make unit files*

Setting default unit file dalam *Caesar II version 7.00* adalah menggunakan unit “ SI “, oleh karena itu *make unit files* berfungsi sebagai perubah atau pembuat *unit file* baru sesuai yang di butuhkan atau menyesuaikan *unit* yang ada pada data seperti yng di tunjukan pada Gambar 2.34.



Gambar 2.34. *Make new unit files*

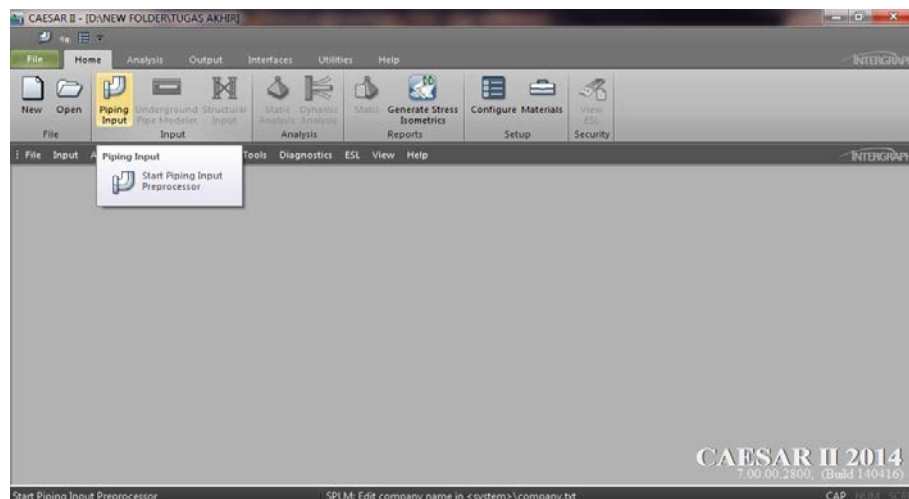
Unit files yang baru sesuai yang di butuhkan atau menyesuaikan *unit* yang ada pada data dapat dirubah pada *unit file maintenance* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.35.



Gambar 2.35. *Unit files maintenance*

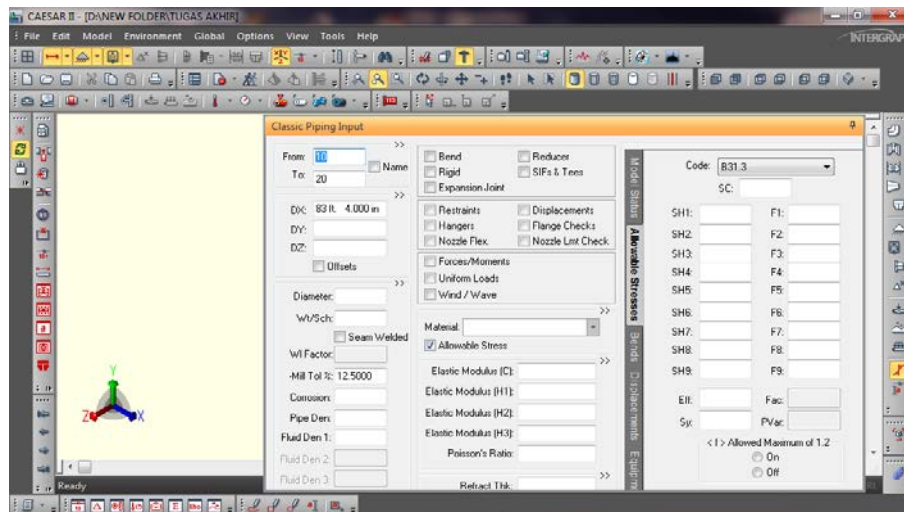
3. *Input piping*

Piping pada *screen Caesar II version 7.00* memiliki fungsi sebagai *start* pemodelan sistem perpipaan sesuai yang diinginkan *engineer* sebagaimana di tunjukan Gambar 2.36.



Gambar 2.38. *Input* pemulai pemodelan desain

Setelah mengklik *piping input* pada menu maka akan muncul tampilan *Spreadsheet* seperti pada Gambar 2.39.



Gambar 2.39. *Spreadsheet*

Spreadsheet adalah fungsi utama yang akan menjelaskan elemen demi elemen tentang desain *piping* yang akan dibuat. Di dalamnya terdapat data *field* yang berguna untuk memasukkan berbagai informasi tentang masing-masing kondisi elemen *piping* dan beberapa menu perintah dan *toolbars* yang mana dapat digunakan untuk menjalankan perintah yang diinginkan *engineer*. Di samping *piping input* adalah tampilan gambar dari *input* yang akan dibuat atau dimasukkan datanya.

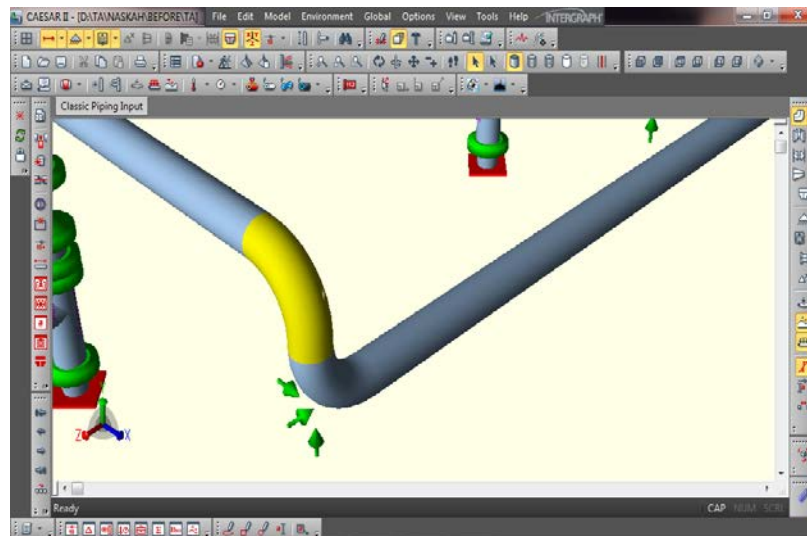
2.3.3. Aplikasi khusus

1. *Bend*

Dalam program ini terdapat 2 macam *bend* yang biasa di aplikasikan, yaitu :

a. *Elbow*

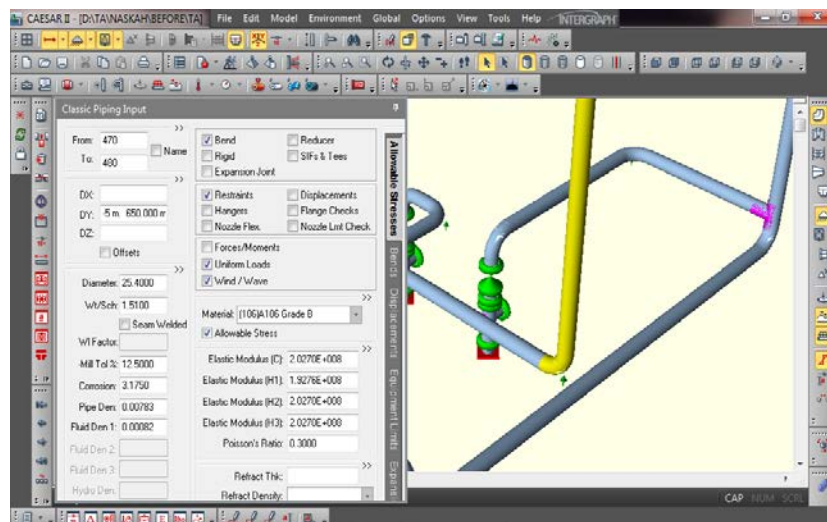
Elbow banyak digunakan jika *engineer* mendesain *piping* di dalam suatu pabrik atau *plant* dimana sistem perpipaannya berada *above ground* (di atas tanah). Pada *Spreadsheet* seperti yng di tunjukan pada Gambar 2.40 menunjukkan *bend* jenis *elbow*.



Gambar 2.40. Bend jenis Elbow

b. Bend

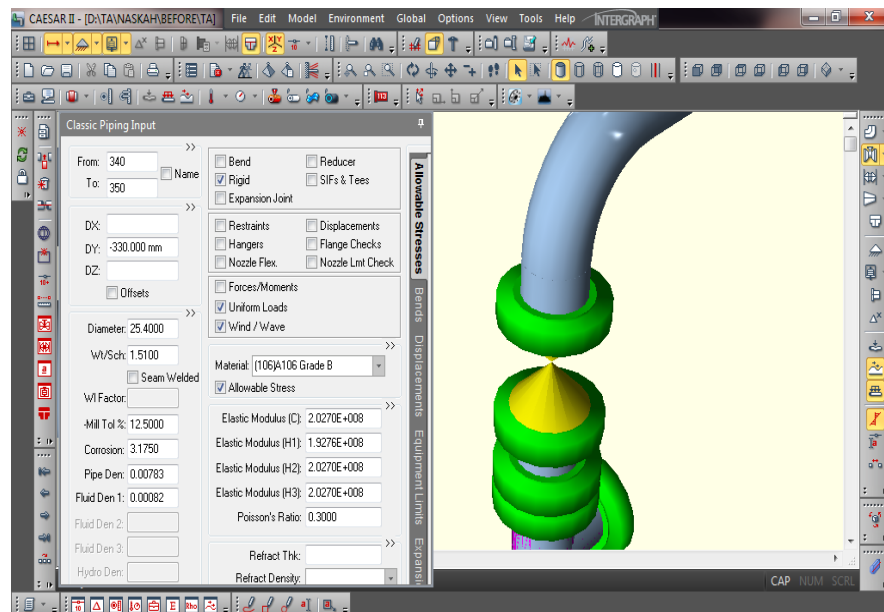
Di dalam pekerjaan pipa terutama *pipeline* seringkali *engineer* harus melakukan bending terhadap pipa dimana biasanya sudut yang diperlukan di bawah 90^0 , maka *engineer* harus mendesain radius bending tersebut sesuai dengan besaran yang *engineer* inginkan atau *klien* inginkan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.41. berikut.



Gambar 2.41. Bend pada Spreadsheet

2. Valve dan Flange

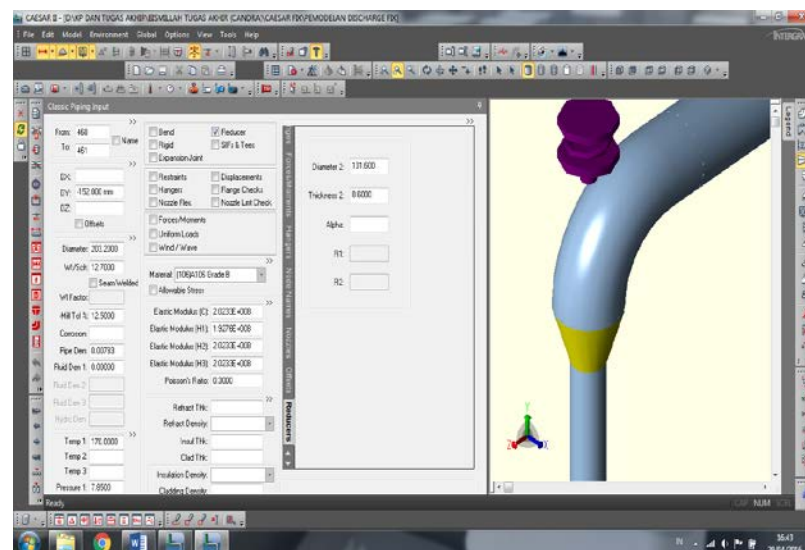
Valve atau *flange* dalam *Spreadsheet* berbentuk *rigid* sehingga mudah dalam memasukkan nilai data *valve* atau *flange* itu sendiri sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.42. berikut.



Gambar 2.42. Valve dan flange pada Spreadsheet

3. Reducer

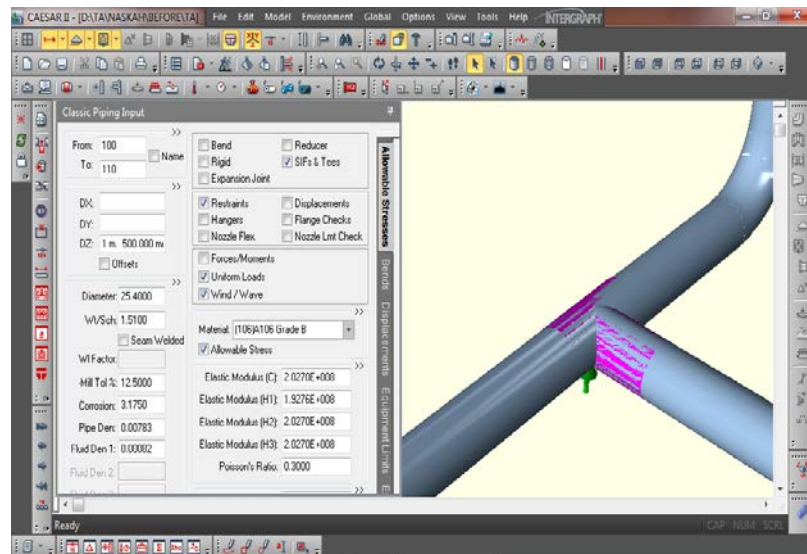
Reducer berfungsi sebagai perubahan diameter pipa pada pemodelan sistem perpipaan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.43. berikut.



Gambar 2.43. Reducer pada Spreadsheet

4. SIF atau Tee

SIF atau Tee berfungsi sebagai percabangan pipa pada pemodelan sistem perpipaan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.44. berikut.



Gambar 2.44. SIF atau Tee pada Spreadsheet

5. Restraint

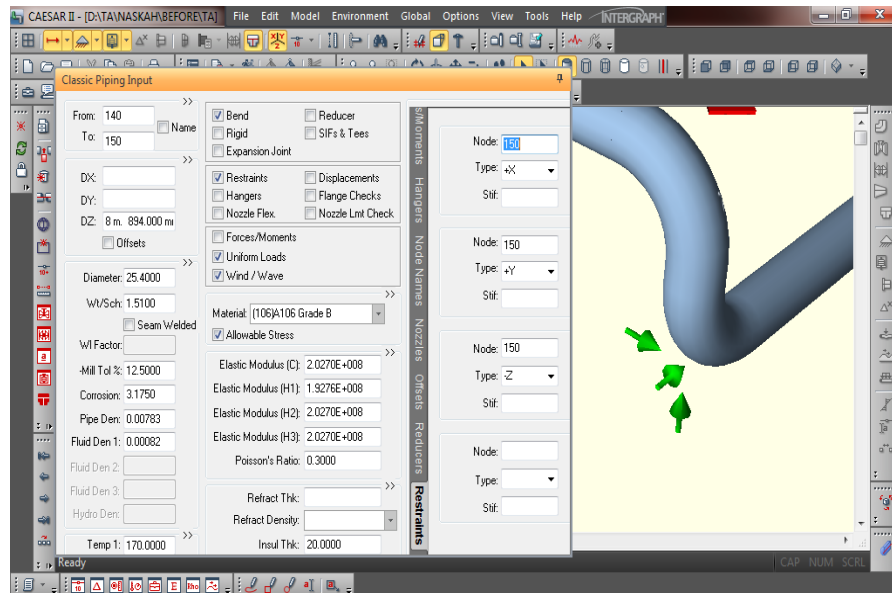
Untuk memberikan restraint pada piping kita lakukan dengan cara memilih restrain pada *check box* di atas dan memasukkan *type restraint* di dalam kotak sebelah kanan yang telah tersedia.

Ada berbagai macam tipe restraint yang dapat di aplikasikan di dalam *Caesar II* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.45. sesuai dengan fungsi yang diinginkan, yaitu :

Restraint Type Abbreviation.

1. AnchorANC
2. Translational Double Acting X, Y, dan Z
3. Rotational Double Acting RX, RY, dan RZ
4. Guide, Double Acting GUI
5. Double Acting Limit Stop LIM
6. Translational Double Acting SnubberXSNB,YSNB, ZSNB
7. Translational Directional +X, -X, +Y, -Y, +Z, -Z
8. Rotational Directional +RX, -RX, +RY, dsb.
9. Directional Limit Stop +LIM, -LIM
10. Large Rotation RodXROD, YROD, ZROD
11. Translational Double Acting Bilinear X2, Y2, Z2
12. Rotational Double Acting Bilinear RX2, RY2, RZ2
13. Translational Directional Bilinear -X2, +X2, -Y2, dsb.

14. *Rotational Directional Bilinear* +RX2, -RX2, +RY2, dsb.
15. *Bottom Out Spring* XSPR, YSPR, ZSPR
16. *Directional Snubber* +XSNB, -XSNB, +YSNB, dsb.



Gambar 2.45. Restraint pada Spreadsheet

6. Static Analysis

Metode *Static analysis* adalah memperhitungkan *static load* yang akan menimpa pipa secara perlahan sehingga dengan demikian *piping system* memiliki cukup waktu untuk menerima, bereaksi dan mendistribusikan *load* tersebut keseluruh bagian pipa, hingga tercapainya keseimbangan.

1) Static dan Dynamic Load

Loading yang mempengaruhi sebuah *piping system* dapat diklasifikasikan sebagai *primary* dan *secondary*. *Primary loading* terjadi dari *sustain load* seperti berat pipa, sedangkan *secondary load* dicontohkan sebagai *thermal expansion load*.

Static loading meliputi :

Weight effect (live loads and dead loads).

- a. *Thermal expansion and contraction effects.*
- b. *Effect of support, anchor movement.*

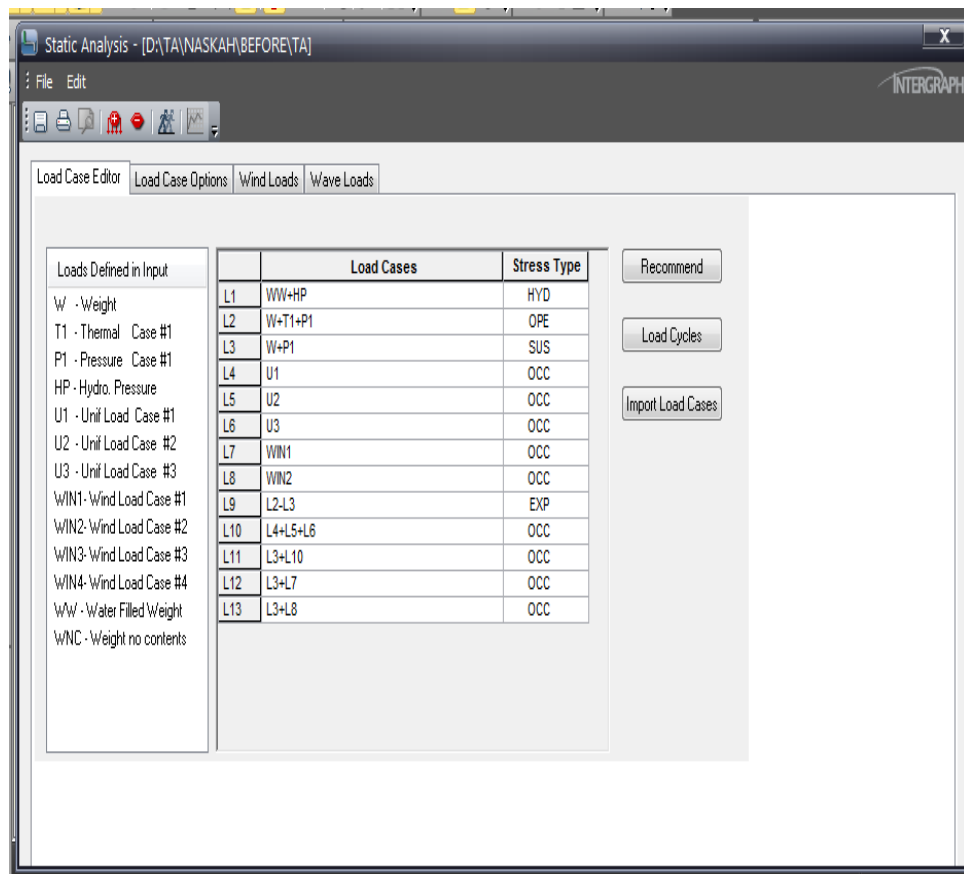
c. *Internal or external pressure loading.*

Sedangkan yang termasuk *Dynamic loading* adalah :

- a. *Impact forces*
- b. *Wind*
- c. *Discharge Load*

2) *Load Case*

Ada berbagai macam jenis *load case* yang dapat *engineer* gunakan dalam *CAESAR II*. *Load case* mendefinisikan pembebanan yang terjadi pada pipa, baik beban akibat berat pipa itu sendiri ataupun beban akibat faktor yang lain sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.46. berikut.



Gambar 2.46. Load case

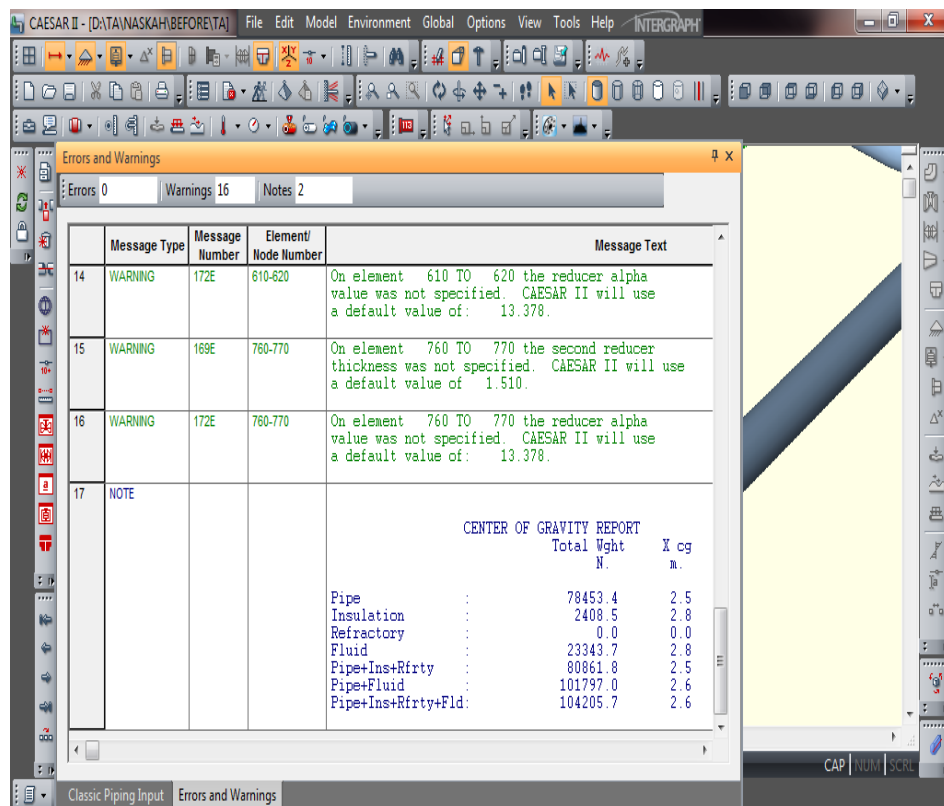
Penjelasan *Allowable Stress Type* dan *Load Case* :

- a. (OPE) *Operating* : *Stress* yang terjadi akibat beban kombinasi antara *sustain load* dan *expansion load* dimana biasa terjadi pada kondisi *operational*.

- b. (SUS) *Sustained* : *Stress* yang terjadi secara terus menerus selama umur operasi akibat tekanan dan berat pipa dan fluida.
- c. (OCC) *Occasional* : *Stress* yang terjadi hanya dalam waktu relatif singkat akibat beban *sustained load* ditambah *occasional loading* (seperti angin, *wave*, dan lain - lain.)
- d. (EXP) *Expansion* : *Stress* yang terjadi akibat adanya perubahan temperatur.
- e. (HYD) *Hydrotest* : *Stress* akibat tekanan air saat dilakukan *hydrotest*.

7. Error Checking

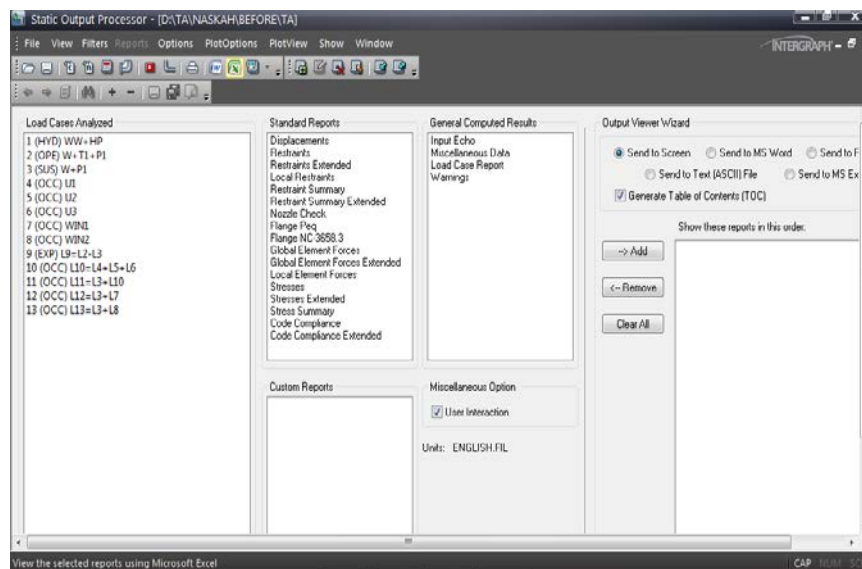
Error checking berfungsi menjelaskan desain *piping* yang telah dibuat apakah ada kesalahan (*error*), peringatan (*warning*) atau tidak, jika terdapat *error* maka proses *run* tidak dapat dilanjutkan dan harus melakukan revisi pada *node* yang mengalami *error* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.47. berikut.



Gambar 2.47. Error cheking

8. Static output processor

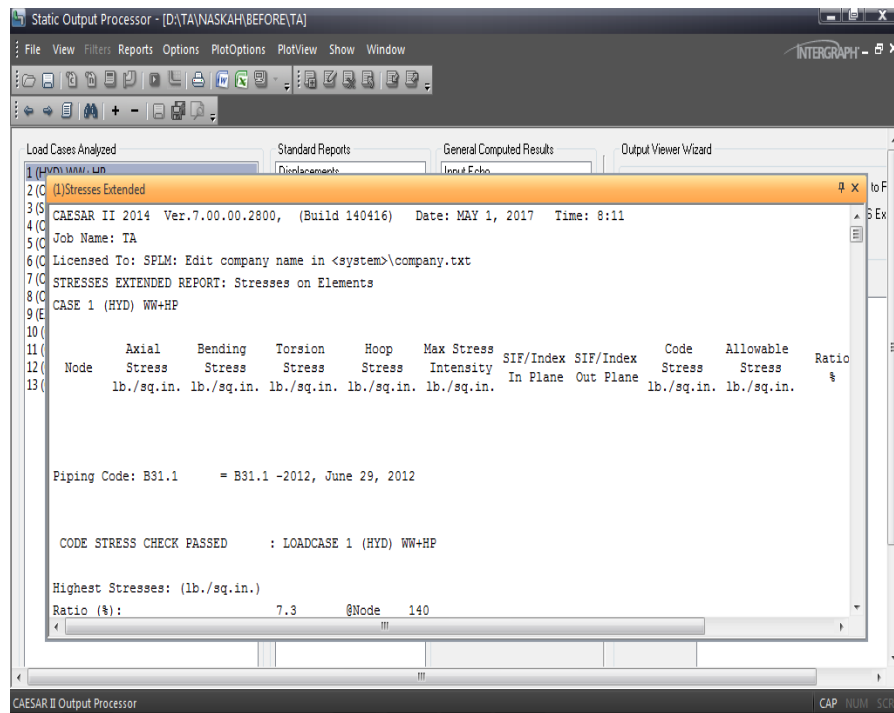
Static output processor berfungsi menampilkan *load case* yang akan di *running* pada *standard reports* sesuai keinginan *engineer* untuk melihat hasil analisis yang terjadi pada setiap *node - node* pemodelan sesuai pembebanan yang di inputkan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.48. berikut.



Gambar 2.48. *Static Output Processor*

9. *Static Output Reports*

Static output reports berfungsi menampilkan *stress analysis report* yang terjadi pada setiap *node-node* sesuai keinginan *engineer* dalam pemilihan *load cases analyzed* dan *standard report* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.49. berikut.



Gambar 2.49. Static Output Reports