

BAB II DASAR TEORI

2.1 Perancangan Produk

2.1.1 Pendahuluan Perancangan

Esensi dari *engineering* adalah memanfaatkan kekayaan dan hukum alam untuk kepentingan manusia. *Engineering* sendiri adalah sebuah aplikasi dari ilmu pengetahuan dengan pengertian mengandung pemahaman tentang prinsip-prinsip ilmiah dan mampu menerapkannya untuk mencapai suatu tujuan tertentu. Salah satu bentuk kegiatan *engineering* adalah merancang.

Dengan meningkatnya kesejahteraan dan kualitas hidup manusia, maka kegiatan menciptakan, membuat, dan memanfaatkan berbagai produk dan jasa yang tak terhitung macam dan jumlahnya, kini menjadi bagian yang tak terpisahkan lagi dari kehidupan manusia sehari-hari baik oleh insinyur dan ahli-ahli teknik lainnya.

Perancangan dan pembuatan produk merupakan bagian yang sangat besar dari semua kegiatan teknik yang ada. Kegiatan perancangan dimulai dengan didapatkannya persepsi tentang kebutuhan manusia, kemudian disusul oleh penciptaan konsep produk, disusul kemudian dengan perancangan, pengembangan, dan penyempurnaan produk, kemudian diakhiri dengan pembuatan dan pendistribusian produk. [1]

Perancangan adalah kegiatan awal dari suatu rangkaian kegiatan dalam proses pembuatan produk. Dalam tahap perancangan dibuat keputusan-keputusan penting yang mempengaruhi kegiatan-kegiatan lain yang menyusul. Di antara keputusan penting tersebut termasuk keputusan yang membawa akibat apakah industri dalam negeri dapat berpartisipasi atau tidak dalam pembangunan proyek. Dalam melaksanakan tugas merancang, perancang memakai dan memanfaatkan ilmu pengetahuan, ilmu dasar teknik, pengetahuan empiris, hasil-hasil penelitian, informasi dan teknologi, yang semuanya dalam versi perkembangan dan kemajuan mutakhir. [1]

2.1.2 Perancangan dan Gambar Teknik

Perancangan produk adalah sebuah proses yang berawal pada ditemukannya kebutuhan manusia akan suatu produk sampai diselesaikannya gambar dan dokumen hasil perancangan yang dipakai sebagai dasar pembuatan produk. Sebelum sebuah produk dibuat, maka produk tersebut haruslah dirancang terlebih dahulu. Dalam bentuknya yang paling sederhana, hasil desain tersebut dapat berupa sebuah sketsa atau gambar sederhana dari produk atau benda teknik yang akan dibuat. Dalam hal si pembuat produk adalah si perancangnya sendiri, maka sketsa atau gambar yang dibuat cukup sederhana asal dapat dimengerti dirinya sendiri.

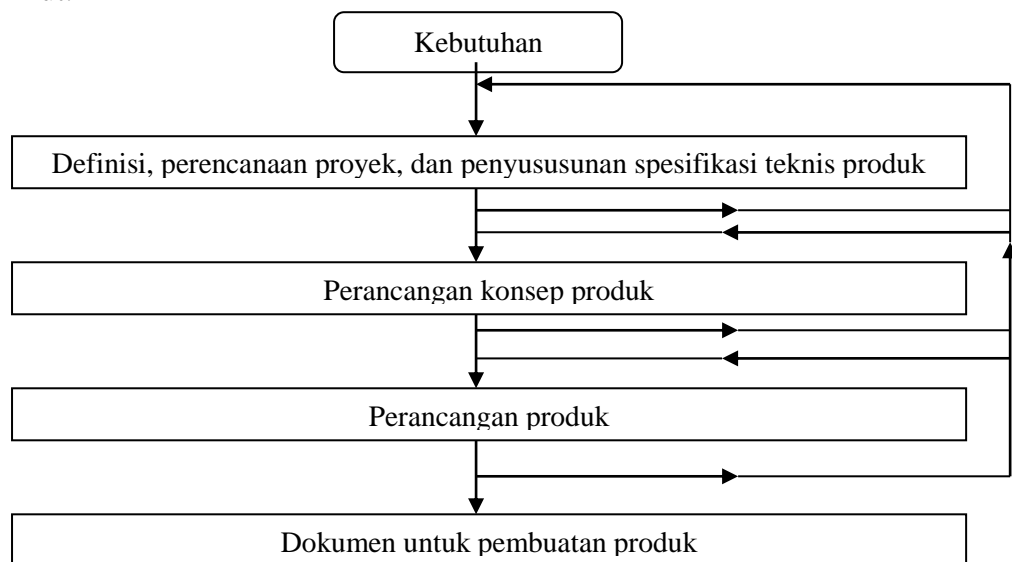
Pada zaman modern ini sebagian besar produk merupakan benda teknik yang rumit yang mempunyai banyak elemen dan pada umumnya sudah tidak dapat lagi dibuat oleh hanya satu orang saja. Gambar yang dibuat pun sudah tidak sederhana lagi tetapi cukup rumit dan harus dibuat dengan aturan atau cara menggambar yang jelas agar dapat dimengerti oleh semua orang yang terlibat dalam kegiatan pembuatan produk. Gambar hasil desain produk adalah hasil akhir proses perancangan dan sebuah produk barulah dapat dibuat setelah dibuat gambar-gambar desainnya. Gambar adalah alat penghubung atau alat komunikasi antara perancang dan pembuat produk, dan antara semua orang yang terlibat dalam kegiatan perancangan dan pembuatan. Bahkan gambar teknik adalah bahasa universal yang dipakai dalam kegiatan dan komunikasi antara orang-orang teknik.

Perancangan dan pembuatan produk adalah dua kegiatan tunggal, artinya desain hasil kerja perancang tidak ada gunanya jika desain tersebut tidak dibuat, sebaliknya pembuat tidak dapat merealisasikan benda teknik tanpa terlebih dahulu dibuat gambar desainnya. Hasil kreasi berupa benda teknik dalam bentuk gambar merupakan tanggung jawab perancang, sedangkan realisasi fisik benda teknik tersebut adalah tanggung jawab pembuat. Sehingga gambar teknik merupakan bahasa penghubung antara keduanya dan merupakan elemen yang penting dalam suatu proses perancangan. [4]

2.1.3 Fase Dalam Perancangan

Perancangan terdiri dari serangkaian kegiatan yang berurutan, karena itu perancangan kemudian disebut sebagai proses perancangan yang mencakup seluruh kegiatan yang terdapat dalam perancangan tersebut. Kegiatan-kegiatan dalam proses perancangan dinamakan fase. Fase-fase dalam proses perancangan berbeda satu dengan yang lainnya. Setiap fase itu sendiri masih terdiri dari beberapa kegiatan, yang dinamakan langkah-langkah dalam fase.

Proses perancangan itu sendiri kemudian berlangsung melalui kegiatan kegiatan dalam fase yang berurutan, yaitu: 1) fase definisi proyek, perencanaan proyek, analisa masalah, dan penyusunan spesifikasi teknis produk, 2) fase perancangan konsep produk, 3) fase perancangan produk, 4) fase penyusunan dokumen atau pembuatan produk. Fase tersebut dapat dilihat pada diagram alir berikut.



Gambar 2.1 Diagram alir proses perancangan [4]

Fase pertama merupakan kebutuhan produk. Kebutuhan akan produk ditemukan oleh bagian pemasaran atau siapa saja yang mengusulkan pada perusahaan. Produk baru yang akan diusulkan untuk dibuat tersebut haruslah dikaji lebih lanjut tentang kebenaran akan kebutuhannya, tentang kelayakan pembuatan dan pemasarannya dan lain-lain.

Ide produk yang telah dipilih kemudian dilakukan survei diantara pengguna dan pelanggan untuk mengetahui keinginan-keinginan pengguna terhadap produk

tersebut. Berdasarkan keinginan pengguna tersebut kemudian disusun spesifikasi teknis produk yang selanjutnya akan dijadikan dasar fase perancangan berikutnya yaitu perancangan konsep produk.

Tujuan fase perancangan konsep produk adalah menghasilkan alternatif konsep produk sebanyak mungkin. Konsep produk yang dihasilkan fase ini masih berupa skema atau dalam bentuk sketsa atau *skeleton*. Pada prinsipnya, semua alternatif konsep produk tersebut memenuhi spesifikasi teknis produk. Pada akhir fase perancangan konsep produk, dilakukan evaluasi pada hasil desain konsep produk untuk memilih salah satu atau beberapa konsep produk terbaik untuk dikembangkan pada fase selanjutnya.

Fase perancangan produk merupakan fase setelah perancangan konsep produk dan terdiri dari beberapa langkah, tetapi pada intinya pada fase ini solusi-solusi alternatif dalam bentuk sketsa dikembangkan lebih lanjut menjadi produk atau benda teknik atau yang bentuk, material, dan dimensi elemennya telah ditentukan. Fase perancangan produk diakhiri dengan perancangan detail elemen-elemen produk yang kemudian dituangkan dalam gambar detail untuk proses pembuatan.

Gambar hasil perancangan produk terdiri dari : 1) gambar semua elemen lengkap dengan bentuk geometrinya, dimensi, kekerasan/kehalusan permukaan, dan material, 2) gambar (susunan) komponen (*assembly*). 3) gambar susunan produk. 4) spesifikasi yang memuat keterangan-keterangan yang tidak dapat dimuat pada gambar dan 6) *bill of material*. Gambar perancangan produk dapat dituangkan dalam bentuk gambar tradisional di atas kertas (2-dimensi) atau dalam informasi digital yang disimpan dalam memori komputer. Informasi dalam bentuk digital tersebut dapat di *print-out* untuk menghasilkan gambar tradisional atau dapat dibaca oleh sebuah *software* ke komputer, yang mengendalikan alat produksi yang akan membuat produk. [4]

2.2 Definisi Sistem Perpipaan

2.2.1 Definisi Sistem Perpipaan

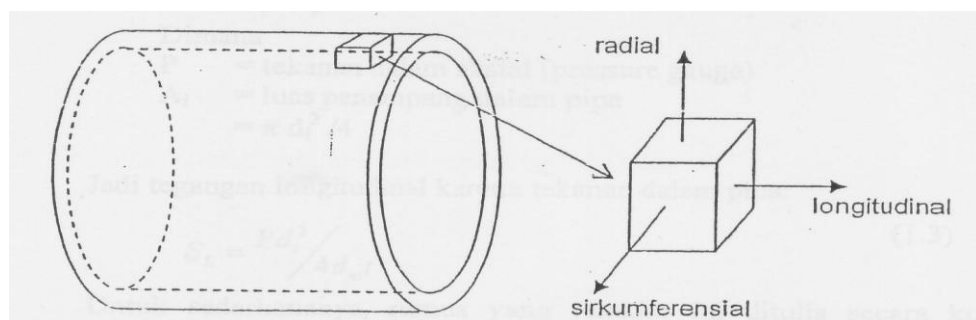
Untuk mengalirkan suatu fluida (cair atau gas) dari satu atau beberapa titik ke satu atau beberapa titik lainnya digunakan suatu media berupa pipa. Gabungan dari

pipa-pipa yang memiliki panjang total relatif pendek dan digunakan untuk mengalirkan fluida dari suatu peralatan ke peralatan lainnya yang beroperasi pada suatu *plant* disebut sistem perpipaan (*piping system*). Dalam sistem perpipaan terdapat komponen-komponen seperti katup, *flange*, *elbow*, percabangan, *nozzle*, *reducer*, *support*, isolasi, dan lain-lain.

2.2.2 Teori Dasar Tegangan Pipa

Dalam menerapkan kode standar desain, perancangan sistem perpipaan harus memenuhi prinsip dasar dari tegangan pipa dan hal-hal yang berhubungan dengannya. Sebuah pipa dinyatakan rusak atau gagal jika tegangan dalam yang terjadi pada pipa melebihi tegangan batas material yang diijinkan. Tegangan dalam yang terjadi pada pipa disebabkan oleh tekanan dari dalam pipa, beban luar seperti berat mati dan pemuaiian *thermal*, dan bergantung pada bentuk geometri pipa serta jenis material pipa. Sedangkan tegangan batas lebih banyak ditentukan oleh jenis material dan metode produksinya.

Tegangan adalah besaran vektor yang selain memiliki nilai, juga memiliki arah. Nilai dari tegangan didefinisikan sebagai gaya (F) per satuan luas (A). Untuk mendefinisikan arah pada tegangan pipa, sebuah sumbu prinsipal pipa dibuat saling tegak lurus seperti terlihat pada gambar 2.2 di bawah ini:



Gambar 2.2 Arah tegangan pada pipa [5]

Sumbu ini terletak di bidang tengah dinding pipa dan salah satu arahnya yang sejajar dengan panjang pipa disebut sumbu *longitudinal*. Sumbu yang tegak lurus terhadap dinding pipa dengan arah bergerak dari pusat menuju luar pipa disebut sumbu *radial*. Sumbu yang sejajar dengan dinding pipa tapi tegak lurus dengan sumbu aksial disebut sumbu *tangensial* atau *circumferensial*.

2.2.2.1 Tegangan Dalam Prinsipal Pada Pipa

Tegangan dalam pipa dapat diuraikan berdasarkan arahnya sesuai dengan arah sumbu sebagai berikut :

a. Tegangan Longitudinal

Tegangan yang arahnya sejajar dengan sumbu longitudinal disebut tegangan *longitudinal* (S_L). Nilai tegangan ini dinyatakan positif jika tegangan yang terjadi adalah tegangan tarik dan negatif jika tegangannya berupa tegangan tekan (kompresi). Tegangan longitudinal pada sistem pipa disebabkan oleh : gaya-gaya aksial, tekanan dalam pipa, dan momen lentur.

- Akibat Gaya Dalam Arah Aksial

$$S_L = \frac{F_{ax}}{A_m}$$

dengan :

F_{ax} = gaya dalam aksial (N/mm^2)

A_m = luas penampang pipa (mm^2)

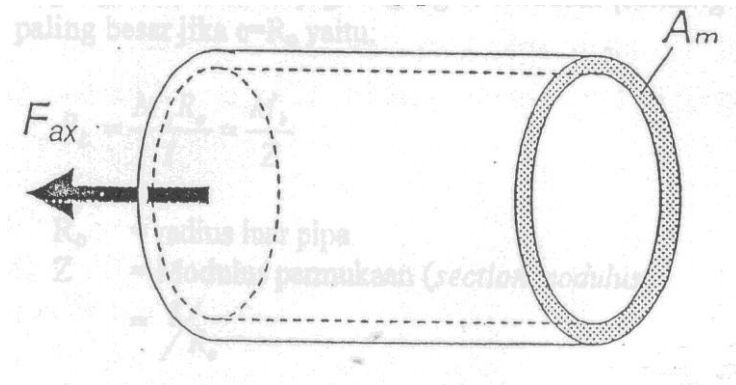
$$= \pi \cdot d_m \cdot t$$

d_m = diameter rata-rata pipa (mm)

$$= \frac{d_i + d_o}{2}$$

d_i = diameter dalam pipa (mm)

d_o = diameter luar pipa (mm)



Gambar 2.3 Arah gaya dalam pada pipa [5]

- Akibat Tekanan Dalam Pipa

$$S_L = \frac{P \cdot A_i}{A_m}$$

Dengan :

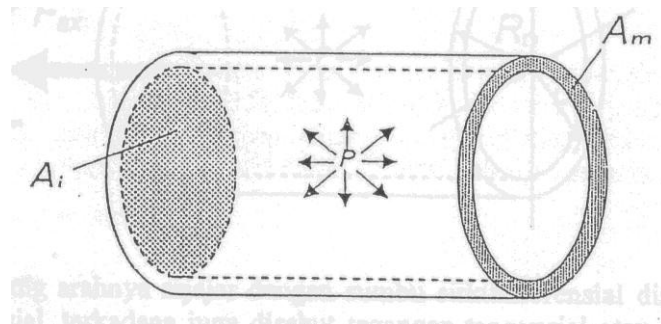
P = tekanan dalam pipa (N/mm^2)

A_i = luas penampang dalam pipa (mm^2)

$$= \frac{\pi \cdot d_i^2}{4}$$

Jadi tegangan longitudinal karena tekanan dalam pipa adalah :

$$S_L = \frac{P \cdot d_o}{4 \cdot t}$$



Gambar 2.4 Arah tegangan longitudinal pada pipa [5]

- Akibat Momen Lentur (Bending Moment)

$$S_L = \frac{M_b \cdot c}{I}$$

Dengan :

M_b = momen lentur (N/mm^2)

c = jarak dari sumbu netral ke suatu titik pada pipa (mm)

I = momen inersia penampang pipa

$$= \frac{\pi \cdot (d_o^4 - d_i^4)}{64}$$

Tegangan ini disebut sebagai tegangan lentur (*bending stress*). Tegangan ini paling besar pada permukaan terluar pipa, yaitu pada $y = R_o$, sehingga :

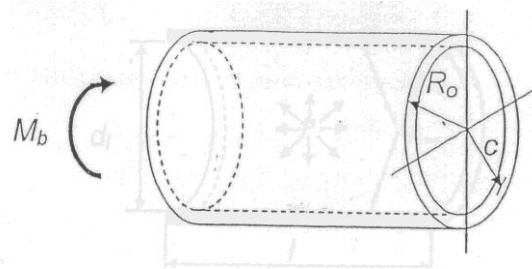
$$S_L = \frac{M_b \cdot R_o}{I} = \frac{M_b}{Z}$$

dengan :

R_o = jari-jari luar pipa (mm)

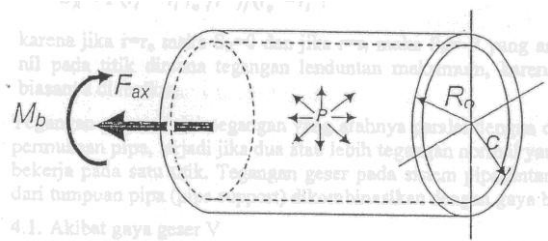
Z = Modulus penampang (*section modulus*)

$$= \frac{I}{R_o}$$



Gambar 2.5 Arah momen lentur pada pipa [5]

- Tegangan Longitudinal keseluruhan menjadi :



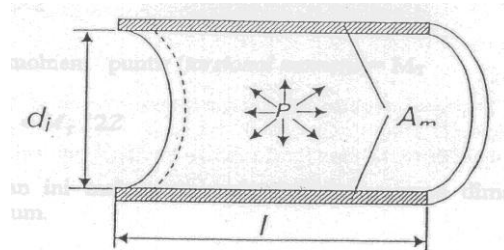
Gambar 2.6 Arah tegangan longitudinal keseluruhan pada pipa [5]

$$S_L = \frac{F_{ax}}{A_m} + \frac{P \cdot d_o}{4 \cdot t} + \frac{M_b}{Z}$$

b. Tegangan *Circumferencial*

Tegangan yang arahnya sejajar dengan sumbu *circumferencial* disebut tegangan *circumferencial* atau tegangan tangensial atau tegangan *hoop* (S_H). Tegangan ini disebabkan oleh tekanan internal yang bekerja secara tangensial dan besarnya bervariasi tergantung pada tebal dinding pipa. Untuk pipa berdinding tipis digunakan rumus sebagai berikut :

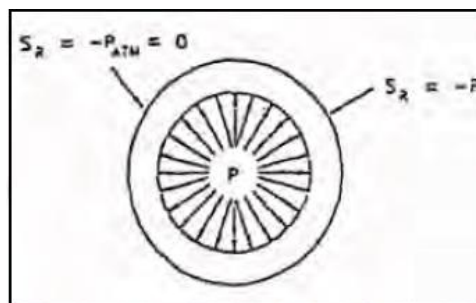
$$S_H = \frac{P \cdot d_o}{2 \cdot t}$$



Gambar 2.7 Arah tegangan *hoop* (*circumferensial*) pada pipa [5]

c. Tegangan Radial

Besar tegangan ini bervariasi dari permukaan dalam pipa ke permukaan luarnya. Oleh tekanan internal tegangan radial maksimum terjadi pada permukaan dalam pipa dan tegangan minimum terjadi pada permukaan luarnya. Oleh karena itu tegangan ini biasanya diabaikan.



Gambar 2.8 Tegangan radial pada pipa [5]

$$S_R = P \cdot \frac{1}{\left(\frac{r_o^2}{r_i^2} - 1 \right)} \cdot \left(\frac{r_i^2}{r^2} - \frac{r_i^2 \cdot r_o^2}{r^2} \right)$$

Karena jika $r = r_o$ maka $S_R = 0$ dan jika $r = r_i$ maka $S_R = -P$ yang artinya tegangan radial = 0 pada titik di mana tegangan lentur maksimal, sehingga tegangan ini biasanya diabaikan.

d. Tegangan geser adalah tegangan yang arahnya paralel dengan penampang pipa. Tegangan ini terjadi jika dua atau lebih tegangan normal yang diuraikan di atas bekerja pada satu titik. Tegangan geser pada sistem pipa antara lain akibat gaya dari tumpuan pipa (*pipe support*) dikombinasikan dengan momen *bending*.

- Akibat Gaya Geser

$$\tau_{\max} = \frac{V \cdot Q}{A_m}$$

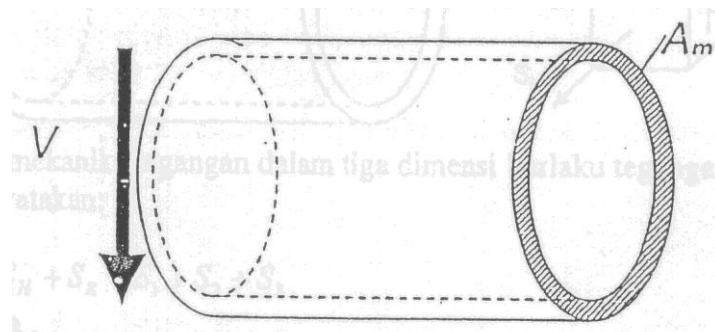
Dengan :

Q = faktor bentuk tegangan geser

= 1,33 untuk silinder solid

V = gaya geser / gaya lintang

Tegangan ini maksimum di sumbu netral dan nol pada titik dimana tegangan lentur maksimum yaitu pada permukaan luar dinding pipa. Maka tegangan ini biasanya sangat kecil dan biasanya diabaikan.

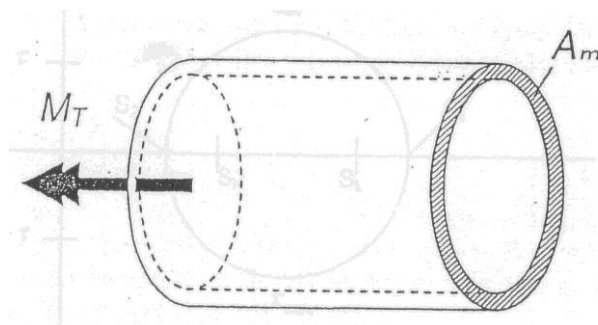


Gambar 2.9 Arah tegangan akibat gaya geser pada pipa [5]

- Akibat Momen Puntir ($M_T = \text{Torsional Moment}$)

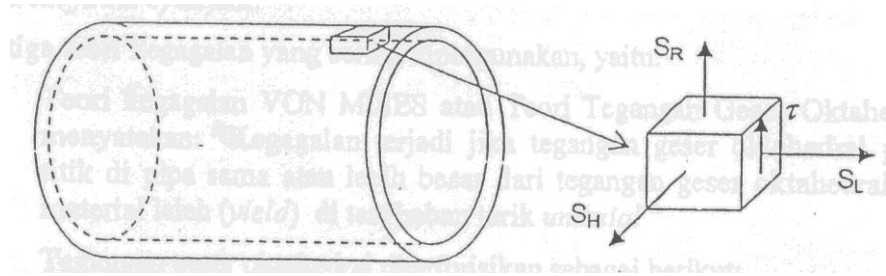
$$\tau = \frac{M_T}{2 \cdot Z}$$

Tegangan ini maksimum pada titik yang sama di mana tegangan lentur mencapai maksimal.



Gambar 2.10 Arah momen puntir pada pipa [5]

e. Kombinasi Tegangan Pada Dinding Pipa



Gambar 2.11 Arah kombinasi tegangan pada dinding pipa [5]

Dari teori mekanika tegangan dalam tiga dimensi berlaku prinsip tegangan *orthogonal* yang menyatakan

$$S_L + S_H + S_R = S_1 + S_2 + S_3$$

$$\text{Dengan : } S_1 > S_2 > S_3$$

2.3 Analisa Kegagalan

Dalam suatu rekayasa teknik, hal yang mendasar adalah menentukan batasan tegangan yang menyebabkan kegagalan dari material tersebut. Dalam menggunakan teori kegagalan yang terpenting adalah menentukan tegangan utama (*principal stress*). Tegangan yang telah dihitung dibandingkan dengan tegangan yang diijinkan oleh kekuatan material yang didapat dari hasil pengujian. Jika tegangan yang dihitung melebihi tegangan yang diijinkan oleh material, kegagalan dari material akan terjadi. Ada tiga teori kegagalan yang sering digunakan, yaitu :

a. Teori Tegangan Normal Maksimum

Teori ini menyatakan bahwa kegagalan terjadi bila salah satu dari tegangan utama (*principal stress*) sama dengan kekuatan dari material. Sebagai contoh untuk tegangan utama setiap keadaan disusun dalam bentuk : $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$

Jika kriteria kegagalan adalah titik luluh (*yield*), teori ini memperkirakan kegagalan akan terjadi bila :

$$\sigma_1 = s_{yt} \text{ atau } \sigma_3 = -s_{yc}$$

Dimana s_{yt} dan s_{yc} adalah kekuatan luluh terhadap gaya tarik dan gaya tekan. Kalau yang dipakai adalah kekuatan akhir, seperti pada bahan yang rapuh, maka kegagalan terjadi jika :

$$\sigma_1 = s_{ut} \text{ atau } \sigma_3 = -s_{uc}$$

b. Teori Tegangan Geser Maksimum

Teori ini mengatakan bahwa kegagalan akan terjadi bila tegangan geser maksimum pada setiap elemen mesin sama dengan kekuatan geser dari material. Jika tegangan utama disusun dalam bentuk $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ teori tegangan geser maksimal memperkirakan bahwa kegagalan akan terjadi bila :

$$\tau_{maks} = \frac{S_y}{2} \text{ atau } \sigma_1 - \sigma_3 \geq S_y$$

Teori ini menyatakan bahwa kekuatan luluh pada kekuatan geser diberikan oleh persamaan :

$$S_{sy} = 0.5 S_y$$

c. Teori Tegangan *Von Misses*

Teori ini memperkirakan suatu kegagalan mengalah dalam tegangan geser yang memadai lebih besar dari yang diperkirakan oleh teori tegangan geser maksimal. Untuk analisis perancangan akan lebih mudah jika kita menggunakan tegangan *Von Misses* yaitu persamaan yang berkaitan dengan suatu tegangan dalam tiga sumbu.

$$\sigma' = \frac{\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}}{2}$$

Hal ini akan terjadi kegagalan jika:

$$\sigma' \geq S_y$$

Dari percobaan-percobaan yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa teori energi distorsi (*Von Misses*) memperkirakan kegagalan dengan ketelitian tertinggi pada semua kuadran. [6]

2.4 Perancangan Sistem Perpipaan

2.4.1 Dasar Perancangan Sistem Perpipaan

Dalam operasi normalnya sistem perpipaan menerima beban yang banyak dan kompleks. Untuk mendapatkan hasil rancangan yang aman, setiap beban tersebut harus diperhatikan. Berikut adalah beban yang terjadi dalam sistem perpipaan.

a) **Beban *Sustain***

Beban *sustain* adalah beban yang dialami oleh sistem perpipaan secara terus-menerus selama operasi normal. Beban ini merupakan kombinasi beban yang diakibatkan oleh tekanan internal dan beban berat. Beban berat ini terdiri dari dua macam, yaitu:

- a. Beban mati yang meliputi berat komponen-komponen sistem perpipaan, berat isolasi, dan berat struktur sistem perpipaan itu sendiri.
- b. Beban berubah yang meliputi berat *fluida* yang mengalir di dalam sistem perpipaan atau *fluida* lain yang digunakan untuk pengujian sistem perpipaan tersebut.

b) **Beban *Thermal***

Beban *thermal* adalah beban yang timbul akibat adanya ekspansi *thermal* yang terjadi pada sistem perpipaan. Beban *thermal* ini dibagi menjadi:

- a. Beban *thermal* akibat pembatasan gerak oleh tumpuan saat pipa mengalami ekspansi.
- b. Beban *thermal* akibat perbedaan temperatur yang besar dan sangat cepat dalam dinding pipa sehingga menimbulkan tegangan.
- c. Beban *thermal* akibat perbedaan koefisien ekspansi pipa yang dibuat dari dua logam yang berbeda.

c) **Beban *Occasional***

Beban *occasional* adalah beban yang terkadang muncul pada sistem perpipaan selama operasi normal dan berlangsung secara singkat. Tegangan akibat beban *occasional* dikombinasikan dengan beban tetap seperti berikut ini.

$$S_L + S_{occ} \leq 1,33 \cdot S_h$$

Adapun penyebab munculnya beban *occasional* ini dapat disebabkan oleh beberapa hal, yaitu:

- a. Beban angin yang ditimbulkan oleh angin yang bertiup ke arah permukaan sistem perpipaan. Kecepatan angin tergantung pada kondisi lokal dan biasanya bervariasi terhadap ketinggian.
- b. Beban gempa yang ditimbulkan oleh gempa bumi yang terjadi di tempat pemasangan sistem perpipaan. Kriteria seismik dalam perancangan dapat dimulai dengan mengestimasi potensi terjadinya gempa pada daerah dimana sistem perpipaan akan dipasang.

2.4.2 Tebal Minimum Pipa Berdasarkan Tekanan dan Temperatur Desain

a) Tebal Minimum Dinding Pipa Lurus

Semua kode pipa mensyaratkan tebal minimum pipa yakni terdiri dari komponen tebal pipa yang diharuskan karena gaya tekan ditambah komponen tebal pipa untuk kemungkinan terjadinya: korosi (*corrosion allowance*), erosi, toleransi manufaktur (*mill tolerance*), kedalaman ulir, dan sebagainya seperti rumus berikut :

$$t_m = t + c$$

Dengan :

- t_m = tebal minimum dinding pipa (in)
- t = tebal minimum dinding pipa akibat tekanan (in)
- c = toleransi (*allowance*) sebesar 0.5 mm (0.02 in) untuk korosi, erosi, *mill tolerance*, dll

Minimum tebal dinding pipa akibat tekanan dalam (*internal pressure*) sesuai dengan ASME B31.3 adalah :

$$t = \frac{1}{MT} \times \left[\frac{P \cdot d_o}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot Y} \right] + c$$

dimana:

- t_m = tebal minimum (in).
- P = tekanan internal desain (psig).
- D = diameter luar (in).
- S = tegangan ijin material (psi), pada tabel ASME B31.3 (Appendix A)
- E = toleransi faktor pengelasan, pada tabel ASME B31.3 (Appendix A -

sebesar 1.0 untuk *seamless pipe*).

Y = faktor temperatur, pada tabel 304.1.1 ASME B31.3 (sebesar 0.4).

C = penambahan toleransi akibat korosi (0,02 in).

MT = faktor toleransi penambahan tebal pipa sebesar 0.875 untuk *seamless* Gr. A-106; Gr. B API-5L Gr. B sebesar 0.90.

Koefisien Y adalah koreksi dari kesalahan asumsi pipa berdinding tipis dan juga untuk memperhitungkan peranan jenis material dan temperatur. Untuk pipa dinding tipis ($t/d_o < 1/6$), nilai Y dapat dilihat pada Tabel 304.1.1 dari ANSI B31.3 seperti diperlihatkan lagi dalam tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1 Nilai koefisien Y [7]

Materials	Temperature, °C (°F)					
	≤ 482 (900 & Lower)	510 (950)	538 (1000)	566 (1050)	593 (1100)	≥ 621 (1150 & Up)
Ferritic steels	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7
Austenitic steels	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
Other ductile metals	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Cast iron	0.0

Faktor E adalah faktor kualitas untuk memperhatikan perbedaan teknik produksi dari pipa, seperti efek perbedaan pengelasan, inspeksi las, faktor pengecoran (*casting*). Nilai E untuk berbagai kode pipa antara 0,8 dan 1,0 yang dapat dilihat pada Tabel A-1A dan A-1B dari ANSI B31.3.

b) Tekanan Kerja Yang Diijinkan / AWP (*Allowable Working Pressure*)

Rumus tebal minimum pipa lurus dapat diubah untuk mendapatkan nilai tekanan kerja yang diijinkan dari pipa yang dirancang (AWP).

Untuk rumus ASME B31.3, tekanan kerja yang diijinkan adalah :

$$AWP = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t}{d_o - 2 \cdot Y \cdot t}$$

Dengan mengetahui jenis fluida yang dialirkan, kita dapat memperkirakan kecepatan rata-rata fluida sepanjang pipa. Kecepatan rata-rata fluida diusahakan masih

berada di dalam batas kecepatan minimal dan maksimal fluida di dalam pipa. Aliran fluida yang terlalu cepat akan mengakibatkan erosi, kebisingan dan meningkatnya gesekan dalam pipa sedangkan apabila terlalu lambat akan mengakibatkan penurunan debit dan terjadinya pengendapan.

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 = Q = \text{konstan}$$

Dimana :

V = kecepatan rata-rata aliran (m/s)

A = luas penampang pipa (m²)

Q = debit aliran (m³/h)

Diketahui bahwa rumus luas penampang pipa

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

Sehingga di dapatkan rumus

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

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$$

Dimana :

d = diameter dalam pipa (in)

Dari diameter dalam pipa yang didapat tersebut, kita dapat menentukan besarnya NPS (*Nominal Pipe Size*) atau DN (*Diameter Nominal*).

2.5 Komponen Utama Sistem Perpipaan

2.5.1 Pipa

Pipa merupakan batang silindris berongga yang digunakan untuk mengalirkan fluida. Di dalam pembahasan ini adalah pipa baja, karena pipa jenis ini merupakan jenis pipa yang paling banyak digunakan terutama pada berbagai bidang industri (pembangkit listrik dan proses). Secara umum pipa-pipa tersebut dapat diklasifikasikan menjadi dua golongan yaitu: pipa *seamless* (tanpa sambungan) dan pipa *welded* (dengan sambungan las).

1. *Seamless Steel Pipe*



Gambar 2.12 *Seamless steel pipe* [8].

Pipa *seamless* dapat dibuat dengan proses sebagai berikut :

a. Proses *Pierching* dan *Rolling*

Proses ini dimulai dengan pemanasan baja *billet* yang terbentuk silinder ke dalam dapur putar sampai temperatur *forging*.

Billet panas selanjutnya dikirim ke unit pengerolan yang di dalamnya terdapat *stationary pierces point*. Dengan pengerolan dan terdapatnya titik tetap ini akan terjadi lubang pada bagian dalam pipa. Demikian seterusnya akan dilakukan pada *roll* berikutnya dengan menghasilkan lubang yang lebih besar dan seterusnya.

Setelah dilakukan pemanasan ulang, *billet* dilewatkan pada *plug rolling mill* dimana *billet* dilakukan pengerolan melalui *mandrel* untuk memperkecil diameter dan ketebalan sehingga terjadi perpanjangan.

Proses terakhir adalah dilakukan pendinginan, pelurusan, dan pemotongan sesuai ukuran dan pembentukan permukaan dan *bevel* untuk pemanasan [8].

b. Proses *Mandrel Stretch Reduction*

Proses *pierching* ini dilakukan dengan tiga tahap, yaitu proses awal pada *pierching mill* awal dengan menggunakan pelumasan, kemudian proses kedua adalah pada rangkaian *mill* dan *mandrel*. Selanjutnya pada proses ketiga adalah *sizing mill* atau *stretch reducing mill* [8].

c. Proses Ekstrusi

Proses ekstrusi dilakukan dengan cara menekan *billet* panas pada *dies* (cetakan) yang membentuk pipa [8].

2. *Welded Steel Pipe*

Pipa jenis ini dibuat dari *plate steel*, *strip* atau *plate* pipa atau proses pengelasan *plate* atau *strip* bersamaan. Proses-proses tersebut berdasarkan pengelasannya dapat dibedakan lagi menjadi dua golongan, yaitu [8]:

- ERW (*Electric Resistance Welding*)
- EFW (*Electric Fuse Welding*)

Meskipun pipa *seamless* dan *welded*, keduanya dipakai dalam industri perpipaan, namun *seamless pipe* umumnya dipakai pada tekanan yang tinggi.



Gambar 2.13 *Welded steel pipe* [8].

3. Material Umum Pipa

Material pipa yang sering digunakan adalah *Carbon Steel*. Kandungan minimum adalah Cr, Ni, Mo dimana unsur ini akan menambah kekuatan, kekakuan, ketahanan terhadap korosi. Secara umum sifat baja ditentukan oleh kandungan C. Berdasarkan kandungan C dan unsur lainnya, maka dikenal [8]:

- *Low Carbon Steel.*
- *High Carbon Steel.*
- *Alloy Steel.*
- *Low and Intermediate Alloy Steel.*
- *Austenite Stainless Steel.*

4. NPS dan Ukuran Tebal Pipa

Pipa dan *tube* diidentifikasi dengan NPS (*Nominal Pipe Size*) dan *Sch* (*Schedule*). *Tube* digunakan dalam alat penukar kalor, jalur-jalur *instrument* dan *small interconnection* pada peralatan. NPS menunjukkan diameter pipa dalam dengan satuan inchi. NPS bukanlah diameter dalam (ID) maupun diameter luar (OD). NPS dimaksudkan untuk memudahkan dalam penentuan ukuran pipa dan dalam perdagangan

(pembelian pipa). *Schedule* pipa menunjukkan ketebalan pipa. Tebal dinding pipa didefinisikan atau ditunjukkan dengan tabel 2.2 berikut :

Tabel 2.2 *Nominal Pipe Size dan Schedule* [10]

Nominal	OD Inches	Pipe Schedule														DBL E.H.	
		Pipe Wall Thickness (inches)															
		5s	5	10s	10	20	30	40s & Std	40	60	80s & EH	80	100	120	140	160	
1/8	.405		.035	.049	.049			.068	.088		.095	.095					
1/4	.540		.049	.065	.065			.088	.088		.119	.119					
3/8	.675		.049	.065	.065			.091	.091		.126	.126					
1/2	.840	.065	.065	.083	.083			.109	.109		.147	.147				.187	.294
3/4	1.050	.065	.065	.083	.083			.113	.113		.154	.154				.218	.308
1	1.315	.065	.065	.109	.109			.133	.133		.179	.179				.250	.358
1 1/4	1.660	.065	.065	.109	.109			.140	.140		.191	.191				.250	.382
1 1/2	1.900	.065	.065	.109	.109			.145	.145		.200	.200				.281	.400
2	2.375	.065	.065	.109	.109			.154	.154		.218	.218				.343	.436
2 1/2	2.875	.083	.083	.120	.120			.203	.203		.276	.276				.375	.562
3	3.500	.083	.083	.120	.120			.216	.216		.300	.300				.437	.600
3 1/2	4.000	.083	.083	.120	.120			.226	.226		.318	.318					.636
4	4.500	.083	.083	.120	.120			.237	.237	.281	.337	.337		.437		.531	.674
4 1/2	5.000							.247			.355						.710
5	5.563	.109	.109	.134	.134			.268	.268		.375	.375		.500		.625	.750
6	6.625	.109	.109	.134	.134			.280	.280		.432	.432		.562		.718	.864
7	7.625							.301			.500						.875
8	8.625	.109	.109	.148	.148	.250	.277	.322	.322	.406	.500	.500	.593	.718	.812	.906	.875
9	9.625							.342			.500						
10	10.750	.134	.134	.165	.165	.250	.307	.365	.365	.500	.500	.593	.718	.843	1.000	1.125	
11	11.750							.375			.500						
12	12.750	.156	.165	.180	.180	.250	.330	.375	.406	.562	.500	.687	.843	1.000	1.125	1.312	
14	14.000	.156		.188	.250	.312	.375	.375	.437	.593	.500	.750	.937	1.093	1.250	1.406	
16	16.000	.165		.188	.250	.312	.375	.375	.500	.656	.500	.843	1.031	1.218	1.437	1.693	
18	18.000	.165		.188	.250	.312	.437	.375	.562								

5. *Fitting*

Fitting merupakan komponen sistem perpipaan yang membuat perubahan arah jalur pipa, perubahan diameter jalur pipa dan percabangan pipa. *Fitting* merupakan komponen-komponen pipa yang berkaitan dengan penyambungan, baik pipa dengan pipa, dan pipa dengan peralatan [8].

Fitting merupakan komponen pipa yang terdiri dari:

- *Elbow*
- *Reducer*
- *Cross*
- *Coupling*
- *Flange*
- *Union*
- Dan lain-lainnya
- *Bend dan Mitter Bend*
- *Tee*
- *Swage*
- *Olet* (penguat sambungan cabang)
- *Cap* atau *Closure*
- *Insert*

Jenis *fitting* dapat digolongkan secara umum berdasarkan metode penyambungan yang menyatakan jenis ujung *fitting-fitting* tersebut. Metode penyambungan dapat digolongkan menjadi [8]:

1. *Butt-Welding* (pengelasan ujung)
2. *Socket-Welding* (ujung *fitting* jenis *socket*, selanjutnya dilas).
3. *Screwed/Threaded* (ujung *fitting* berulir)
4. *Bolted Flange* (sambungan ujung dengan *lens* dan baut).



Gambar 2.14 *Fitting* [8].

a. *Butt-Welding Elbow*

Berfungsi untuk merubah aliran fluida dan menambah fleksibilitas suatu jalur perpipaan [5].

Berdasarkan sudut pembelokannya, *elbow* dibagi menjadi:

- *Elbow 45°*
- *Elbow 90°*
- *Elbow 180°* (untuk sudut pembelokan 180°, *elbow* dikenal dengan nama *return*, ini biasa digunakan untuk koil pemanas dan *vent* pada tangki).

Berdasarkan radius, *elbow* digolongkan menjadi [5]:

1) LR (*Long Radius*)

Radius dari *centerline elbow* sebesar: 1.5 NPS (*nominal pipe size*).

Untuk *elbow* dengan NPS $\frac{3}{4}$ " dan yang lebih besar.

2) SR (*Short Radius*)

Radius dari *centerline elbow* sebesar 1.0 NPS (*nominal pipe size*).

Berdasarkan ada tidaknya pengecilan diameter, *elbow* digolongkan menjadi:

- *Straight Elbow* (tidak ada pengecilan diameter)
- *Reducing Elbow* (ada pengecilan diameter)



Gambar 2.15 *Butt welded elbow* [8]

b. Bend

Bend adalah *elbow* yang dibuat dari pipa lurus yang dibengkokkan sehingga terdapat sedikit penipisan tebal dinding *bend* pada bagian belokan. Penipisan ini menyebabkan tekanan operasi dan ukuran yang sama, *elbow* lebih kuat dari *bend*. Berdasarkan radius *bending*, *bend* dibedakan menjadi [8]:

- *Bend 3R* (3xNPS).
- *Bend 5R* (5xNPS).

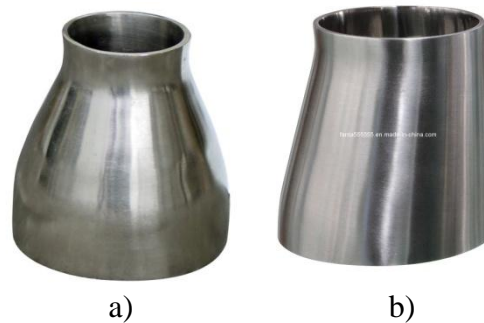


Gambar 2.16 *Bend elbow* [8]

c. Butt-Welding Reducer

Reducer berfungsi untuk pengecilan dan pembesaran jalur pipa. Berdasarkan garis sumbu, *reducer* dibedakan menjadi *reducer* jenis [8]:

- *Concentric* (sesumbu).
- *Eccentric* (jarak antar sumbu atau *offset* = $0.5 (Id_{\max} - Id_{\min})$).



Gambar 2.17 a) *Concentric reducer* b) *Eccentric reducer* [8]

d. Butt-Welding Swage

Swage menghubungkan pipa-pipa yang berdiameter berbeda. *Swage* digunakan dalam jalur pipa dengan NPS kecil (2" ke bawah). Jenis sambungan ujung adalah tipe *screwed (threaded)* dan tipe *socket-welded*. Jika perubahan diameter besar dapat disisipi *reducer* [5].

Swage dibedakan menjadi:

- a. Jenis *Concentric*.
- b. Jenis *Eccentric*.
- c. Jenis *Venture* (aliran menjadi lebih halus atau *smooth*).



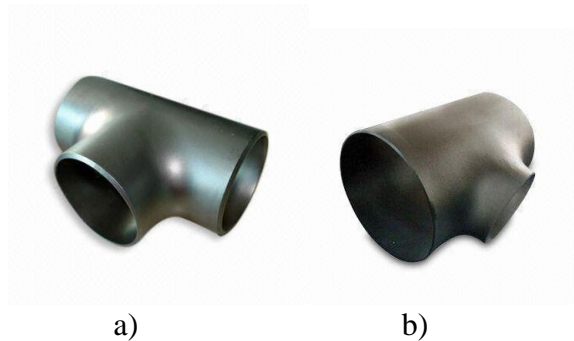
Gambar 2.18 *Butt welded swage* [8]

e. Tee

Tee digunakan untuk percabangan 90°. Berdasarkan ukuran diameter cabang terhadap diameter pipa utama (*header*), *tee* dapat dibedakan menjadi [8]:

- *Straight tee* dimana ukuran cabang = ukuran pipa *header*,
Misal: *Tee 6x6x6*.
- *Reducing Tee* dimana ukuran pipa tidak sama dengan ukuran pipa *header*.

Misal: *Red Tee* 6x6x4.



Gambar 2.19 a) *Straight tee* b) *Reducing tee* [8]

f. Flange

Flange adalah salah satu jenis sambungan pada sistem perpipaan, misalnya pipa dengan pipa, pipa dengan *valves*, pipa dengan komponen lainnya umumnya menggunakan *flange*. Sambungan *flange* dibuat dengan cara menyatukan dua buah *flange* dengan menggunakan baut dan mur, serta menyisipkan serta menyisipkan *gasket* antara kedua *flange* tersebut. Hal penting yang harus diperhatikan adalah kekuatan dari *flange* yang akan digunakan. Ketahanan dari *flange* terhadap tekanan adalah berbanding terbalik dengan temperatur (*pressure – temperature rating*). Makin tinggi suhu makin rendah kemampuan *flange* terhadap tekanan. Ukuran pemilihan material *flange* yang mempunyai ukuran pipa ½ sampai 24 inci telah diatur dalam ASME 16.5. sedangkan untuk *flange* dengan pipa-pipa berukuran besar atau di atas 24 inci menggunakan standar ASME 16.47. [8].

Jenis-jenis *flange* antara lain:

- *Welding Neck Flange* (WN *Flange*)
- *Slip On Flange* (SO *Flange*)
- *Lap Joint Flange* (Lap *Flange*)
- *Expander Flange* (Exp *Flange*)



Gambar 2.20 *Flange* [8].

6. *Support*

Support merupakan penyangga (penahan) dalam pemasangan suatu jalur perpipaan. Pemasangan *support* ini dapat diberikan dari segala arah sesuai fungsinya. Standar-standar *support* yang biasa digunakan [8]:

- MSS SP-58, *Materials and Design of Pipe Supports*
- MSS SP-69, *Selection and Applications of Pipe Support*
- MSS SP-69, *Selection and Applications of Pipe Support*
- WRC Bulletin 198

Lokasi *support* tergantung 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.



Gambar 2.21 Jenis-jenis *support* [8].

7. *Valve*

Valve merupakan sistem perpipaan yang berfungsi menutup, mengalirkan, mengisi, atau mengalihkan suatu fluida yang mengalir di dalam pipa. Adapun cara pengoperasian *valve* dapat dilakukan secara manual, otomatis, atau kombinasi dari

keduanya. Untuk pemilihan material *valve* pada sistem perpipaan telah diatur dalam ASME 16.34. *Valve* pada dasarnya memiliki tiga komponen [8]:

1. *Valve body* (biasanya dengan memutar batang).
2. *Actuator* (katup pengalir).
3. *Valve positioner (instrument)* yang mengkonversi suatu isyarat kendali elektronik dari pengontrol atau komputer untuk mengendalikan posisi *valve* berasal.
4. *Airset* atau *regulator* (untuk menyediakan tekanan udara keposisinya).

Sebagai contoh beberapa jenis karakteristik dari *valve* yang digunakan:

1. *Globe Valve*

Globe valve mempunyai bentuk dalam ukuran NPS 2 (DN 50) ke bawah, dan juga tersedia dalam ukuran sekecil NPS $\frac{1}{4}$ (DN 50) untuk digunakan penelitian. Temperatur dan tekanan tinggi *valve* dapat di las pada jalur pipa. NPS 2 (DN 50) dan lebih kecil dilengkapi dengan *socket-welding* atau *threaded end*. NPS 2 $\frac{1}{2}$ dan lebih besar biasanya dilengkapi dengan *butt-welded* atau *flange* [8].



Gambar 2.22 *Globe valve* [8]

2. *Ball Valve*

Ball valve mempunyai karakteristik penutupan yang bagus dan kapasitas arus tinggi. Sebagai hasil, *ball valve* merupakan pilihan yang baik untuk membuka dan menutup dari rangkaian kontrol. Dudukan logam *ball valve* dirancang untuk

penggunaan temperatur yang tinggi dan dapat melengkapinya dengan sambungan las. Dudukan halus *ball valve* digunakan untuk cairan normal atau berupa gas diatas 482 °F (250 °C), dimana penutupan rapat sangat diperlukan [8].



Gambar 2.23 *Ball valve* [8]

3. *Butterfly Valve*

Pengecualian untuk beberapa design khusus dengan putaran rendah dan suara gaduh rendah, *butterly valve* untuk pengaturan kendali harus tepilih dengan penuh perhatian, karena putarannya tinggi dan tekanan tinggi sehingga cenderung untuk mengeluarkan suara gaduh dan kavitasi. *Butterfly valve* memiliki biaya yang lebih rendah dengan ukuran NPS (DN 150) ke atas [8].



Gambar 2.24 *Butterfly valve* [8]

8. *Gasket*

Gasket adalah suatu kombinasi material yang dirancang untuk mengapit antar permukaan *flange joint*. Fungsi *gasket* yang utama adalah menahan ketidakraturan dari tiap permukaan *flange*, mencegah kebocoran fluida yang mengalir di dalam *flange*

ke luar. *Gasket* harus mampu menahan selama pengoperasian berlangsung, dan membuat perlawanan terhadap fluida yang sedang ditahannya, sesuai kebutuhan temperatur dan tekanan.

Gasket dapat digambarkan ke dalam tiga kategori utama jenis *nonmetallic*, *semimetallic*, dan *spiral wound*. Untuk pemilihan *gasket* berbahan *metallic* telah diatur dalam ASME 16.20, sedangkan *gasket* yang berbahan *non metallic* diatur dalam ASME 16.21. [8].



Gambar 2.25 *Gasket* [8]

1. *Gasket Nonmetallic*

Gasket nonmetallic pada umumnya merupakan gabungan lembaran material yang digunakan pada *flat face flange* untuk penggunaan kelas tekanan yang rendah. *Gasket nonmetallic* dihasilkan dari material *nonasbestos* atau pengkompresian serabut asbes (CAF). Tipe *nonasbestos* meliputi *arimid fiber*, *glass fiber*, *elastomer*, *teflon* (PTFE), dan *gasket grafit* fleksibel. Tipe *full face gasket* pantas digunakan pada *flat face flange*, *flat ring gasket* pantas digunakan pada *raised face (RF) flange* [8].

2. *Gasket Semimetallic*

Gasket semimetallic adalah gabungan dari material *nonmetallic* dan logam. Logam mempunyai unsur kekuatan dan keelastisan. *Gasket semimetallic* dirancang untuk kondisi pengoperasian temperatur dan tekanan yang paling besar. *Gasket semimetallic* umumnya digunakan pada *raise face* [8].

3. *Gasket Spiral Wound*

Gasket spiral wound merupakan *gasket* yang paling umum digunakan pada *raise face flange*. *Spiral wound* digunakan dalam semua kelas tekanan 150 sampai kelas 2500 Psi. Bagian *gasket* yang mampu menahan antar permukaan *flange* adalah bagian *Spiral wound*. *Spiral wound* dihasilkan dari lilitan potongan sebelum

dibentuk logam dan diisi material lembut di sekitar logam. Di dalam dan luar diameter diperkuat oleh beberapa tambahan lilitan logam tanpa pengisi [8].

2.6 Metode Elemen Hingga

2.6.1 Pengenalan Metode Elemen Hingga

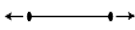

Metode elemen hingga merupakan salah satu cara dalam menyelesaikan masalah yang terdapat di alam dengan solusi numerik. Biasanya kejadian di alam dapat dijelaskan dalam persamaan baik itu dalam bentuk differensial atau integral. Karena alasan tersebut metode elemen hingga menjadi salah satu cara dalam menyelesaikan bentuk differensial parsial dan integral. Umumnya metode elemen hingga memungkinkan pengguna untuk mendapatkan evolusi dalam ruang atau waktu dari satu atau lebih variabel yang mewakili dari suatu sistem fisik.


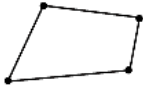





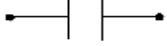
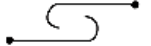
Bila mengacu pada analisa struktur, metode elemen hingga merupakan metode yang baik dalam menghitung *displacement*, tegangan, dan regangan pada suatu struktur dalam pembebanan tertentu. [9]

2.6.2 Geometri Elemen

Banyak bentuk geometris elemen yang digunakan dalam analisis elemen hingga untuk aplikasi tertentu. Berbagai elemen yang digunakan dalam *software FEM* komersial umumnya membentuk kesepakatan kode sebagai referensi seperti perpustakaan kode elemen. Elemen dapat ditempatkan dalam kategori berikut: elemen garis, elemen permukaan, elemen solid, dan elemen tujuan khusus. Tabel 2.3 menyajikan beberapa tipe elemen hingga dalam analisa struktur :

Tabel 2.3 Tipe elemen dalam metode elemen hingga

Tipe Elemen	Nama	Bentuk	Jumlah Nodal	Aplikasi
Garis	<i>Truss</i>		2	Batang ditekan atau ditarik.
	<i>Beam</i>		2	Tekuk

Permukaan	<i>Frame</i>		2	Aksial, puntiran, tekuk, dengan atau tanpa beban kekauan.
	<i>4-node quadrilateral</i>		4	Tegangan/regangan bidang, <i>axisymetry</i> , <i>shear panel</i> , tekuk pada plat tipis datar.
	<i>8-node quadrilateral</i>		8	Tegangan/regangan bidang, tekuk pada plat tipis atau <i>shell</i> .
	<i>3-node triangular</i>		3	Tegangan/regangan bidang, <i>axisymetry</i> , <i>shear panel</i> , tekuk pada plat tipis datar, bila mungkin, pemakaian elemen <i>quad</i> lebih diutamakan, digunakan untuk transisi.
	<i>6-node triangular</i>		6	Tegangan/regangan bidang, <i>axisymetriy</i> , tekuk pada plat tipis atau <i>shell</i> , bila mungkin, pemakaian elemen <i>quad</i> lebih diutamakan, digunakan untuk transisi.
Solid	<i>8-node hexagonal (brick)</i>		8	Solid, plat tebal.
	<i>3-node tetrahedron (tet)</i>		3	Solid, plat tebal, untuk transisi.
Tujuan Khusus	<i>Gap</i>		2	Bebas perpindahan untuk pendefinisian beda tekanan.
	<i>Hook</i>		2	Bebas perpindahan untuk pendefinisian beda perluasan (<i>extension</i>).

2.6.3 Prinsip Dasar Metode Elemen Hingga pada Sistem Perpipaan

Program komputer untuk analisis tegangan pada sistem perpipaan berdasarkan prinsip metode elemen hingga (*Finite Element Method / FEM*) dapat dibedakan menjadi 2, yaitu :

1. Metode Fleksibilitas (*Flexibility Method*) di mana besaran yang dicari adalah gaya dan momen.

2. Metode Kekakuan (*Stiffness Method*) di mana besaran yang dicari adalah perpindahan (*displacement*) dan rotasi, gaya dan momen dihitung kemudian dengan menggunakan persamaan kekakuan setelah perpindahan dan rotasi sudah diketahui. [5]

Program komputer komersial untuk analisis tegangan pipa yang tersedia sekarang umumnya menggunakan metode kekakuan, demikian halnya dengan *CAESAR II*.

Sebagai sebuah metode aproksimasi, metode elemen hingga secara umum memakai beberapa asumsi. Asumsi dasar yang dipakai oleh program elemen hingga untuk analisis tegangan pipa adalah pemodelan pipa sebagai elemen garis (elemen 1-D) yang bertepatan dengan sumbu simetri pipa. Elemen garis dihubungkan dengan 2 titik nodal yakni satu pada ujung awal "*From*" dan yang lain pada ujung akhir "*End*". Setiap titik nodal memiliki koordinat ruang dengan 6 derajat kebebasan (3 perpindahan dan 3 rotasi). Pada elemen garis ini didefinisikan parameter kekakuan, yakni sifat material dan geometri penampang pipa, yang diasumsikan konstan sepanjang elemen. Selanjutnya beberapa asumsi yang umum digunakan oleh program elemen hingga untuk analisis tegangan pipa adalah sebagai berikut :

- Stabilitas struktur (*local buckling*) diabaikan pada seluruh elemen pipa.
- Bidang penampang pipa tetap bidang sebelum dan sesudah deformasi.
- Hukum *Hooke* berlaku di seluruh penampang pipa dan untuk seluruh beban.
- Gaya dan momen diasumsikan bekerja pada sumbu netral pipa.
- Penampang pipa tidak mengalami *ovalisasi* akibat momen, kecuali untuk elemen *bend* yang memang diasumsikan *ovalisasi*.
- Beban diasumsikan bekerja pada struktur pipa dalam keadaan tidak terdeformasi.
- Deformasi rotasi diasumsikan sangat kecil.

Asumsi di atas menjadi tidak berlaku untuk kasus-kasus berikut :

1. Pipa berdiameter sangat besar atau berdinding sangat tipis ($d/t \gg 10$). Pipa seperti ini sangat sensitif terhadap *local buckling*. Pemasangan *saddle* atau *pad* untuk pencegahan *local buckling* dengan cara mendistribusikan tegangan lebih merata.

2. *Pad* dan *saddle* menyebabkan distorsi geometri secara lokal, di mana tegangan konsentrasi di kasus ini tidak diperhitungkan oleh kode pipa dengan SIF.
3. *Elbow* mengalami *ovalisasi* yang besarnya tidak boleh diabaikan. Fleksibilitas akibat *ovalisasi* diperhitungkan pada prosedur penentuan SIF *elbow*. Fleksibilitas *elbow* berkurang oleh sebab-sebab berikut:
 - *Flange* atau *fitting* kaku lainnya di-las langsung (atau sangat dekat) dengan *elbow*. Koreksi pada kasus ini diperhitungkan oleh *CAESAR II*.
 - *Dummy leg*, *trunion*, dan *rigid attachment* lainnya di-las pada dinding *elbow*. Fleksibilitas dan SIF sangat terpengaruh dan besar kuantitatifnya harus dilakukan analisis detail dengan FEM.
4. Efek non-linear terjadi, misalnya pada *sliding-friction*, *restraint* satu arah, *restraint* dengan gap, diselesaikan secara iterasi sampai konvergensi diperoleh.
5. Elemen pipa tidak homogen, misalnya *reducer*, belum dimodelkan secara otomatis.
6. *Valve* dan *flange* dimodelkan sebagai elemen *rigid* (diameter yang sama tapi ketebalan 10 x elemen pipa yang berhubungan). Tegangan yang terjadi pada elemen ini tidak dapat digunakan, tapi efek dari kerigidan elemen ini pada elemen pipa yang lebih fleksibel cukup merepresetasikan keberadaan elemen *valve* dan *flange* ini.