

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian dan Prinsip Dasar Alat uji *Bending*

2.1.1. Definisi Alat Uji *Bending*

Alat uji *bending* adalah alat yang digunakan untuk melakukan pengujian kekuatan lengkung (*bending*) pada suatu bahan atau material. Pada umumnya alat uji *bending* memiliki beberapa bagian utama, seperti: rangka, alat tekan, *point bending*, dan alat ukur. Rangka berfungsi sebagai penahan gaya balik yang terjadi pada saat melakukan uji *bending*. Rangka harus memiliki kekuatan lebih besar dari kekuatan alat tekan, agar tidak terjadi kerusakan pada rangka pada saat melakukan pengujian. Alat tekan berfungsi sebagai alat yang memberikan gaya tekan pada benda uji pada saat melakukan pengujian. Alat penekan harus memiliki kekuatan lebih besar dari benda yang di uji (ditekan). *Point bending* berfungsi sebagai tumpuan benda uji dan juga sebagai penerus gaya tekan yang dikeluarkan oleh alat tekan. Panjang pendek tumpuan *point bending* berpengaruh terhadap hasil pengujian. Alat ukur adalah suatu alat yang menunjukkan besarnya kekuatan tekan yang terjadi pada benda uji.

Uji *bending* adalah suatu proses pengujian material dengan cara di tekan untuk mendapatkan hasil berupa data tentang kekuatan lengkung (*bending*) suatu material yang di uji. Proses pengujian *bending* memiliki 2 macam pengujian, yaitu 3 *point bending* dan 4 *point bending*.

Untuk melakukan uji *bending* ada faktor dan aspek yang harus dipertimbangkan dan dimengerti yaitu :

a. Tekanan (p)

Tekanan adalah perbandingan antara gaya yang terjadi dengan luasan benda yang dikenai gaya. Besarnya tekanan yang terjadi dipengaruhi oleh dimensi benda yang di uji. Dimensi mempengaruhi tekanan yang terjadi karena semakin besar dimensi benda uji yang digunakan maka semakin besar pula gaya yang terjadi. Selain itu alat penekan juga mempengaruhi besarnya tekanan yang terjadi. Alat penekan yang digunakan menggunakan sistem hidrolik. Hal lain yang mempengaruhi besar tekanan adalah luas penampang dari torak yang digunakan. Maka daya pompa harus lebih besar dari daya yang dibutuhkan. Dan motor harus bisa melebihi daya pompa, perhitungan tekanan (Sularso & Tahara, 1983):

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

P = tekanan (Kg/cm²)

F = gaya atau beban (kg)

A = luas penampang (m²)

Daya Pompa adalah besarnya energi persatuan waktu atau kecepatan melakukan kerja, rumus :

$$P = \frac{p \times Q}{600} \dots\dots\dots(2.2)$$

P = daya (kw)

p = tekanan (bar)

Q = laju aliran (l/min)

b. Benda uji

Benda uji adalah suatu benda yang di uji kekuatan lengkungnya dengan menggunakan alat uji *bending*. Jenis material benda uji yang digunakan sebagai benda uji sangatlah berpengaruh dalam pengujian *bending*. Karena tiap jenis material memiliki kekuatan lengkung yang berbeda-beda, yang nantinya berpengaruh terhadap hasil uji *bending* itu sendiri.

c. *Point Bending*

Point bending adalah suatu sistem atau cara dalam melakukan pengujian lengkung (*bending*). *Point bending* ini memiliki 2 tipe, yaitu: *three point bending* dan *four point bending*.

Perbedaan dari kedua cara pengujian ini hanya terletak dari bentuk dan jumlah *point* yang digunakan, *three point bending* menggunakan 2 *point* pada bagian bawah yang berfungsi sebagai tumpuan dan 1 *point* pada bagian atas yang berfungsi sebagai penekan sedangkan *four point bending* menggunakan 2 *point* pada bagian bawah yang berfungsi sebagai tumpuan dan 2 *point* (penekan) pada bagian atas yang berfungsi sebagai penekan. Selain itu juga terdapat beberapa kelebihan dan kelemahan dari cara pengujian *three point* dan *four point*.

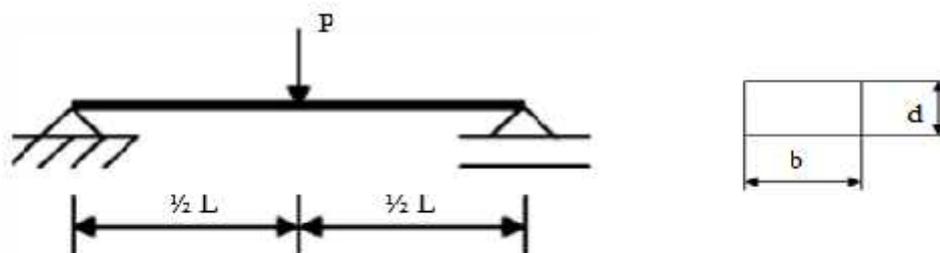
Tabel 2.1. Kelebihan dan Kekurangan Metode Uji *Three Point Bending* dan *Four Point Bending* (Wijaya, 2011)

<i>Three Point Bending</i>	<i>Four Point Bending</i>
Kelebihan	
<ul style="list-style-type: none"> + Kemudahan persiapan spesimen dan pengujian + Pembuatan <i>point</i> lebih mudah 	<ul style="list-style-type: none"> + Penggunaan rumus perhitungan lebih mudah + Lebih akurat hasil pengujiannya
Kekurangan	
<ul style="list-style-type: none"> - Kesulitan menentukan titik tengah persis, karena jika posisi tidak di tengah persis penggunaan rumus berubah - Kemungkinan terjadi pergeseran, sehingga benda yang diuji pecah/patah tidak tepat di tengah maka rumus yang digunakan kombinasi tegangan lengkung dengan tegangan geser 	<ul style="list-style-type: none"> - Pembuatan <i>point</i> lebih rumit - 2 <i>point</i> atas harus bersamaan menekan benda uji. Jika salah satu <i>point</i> lebih dulu menekan benda uji maka terjadi <i>three point bending</i>, sehingga rumus yang digunakan berbeda.

Secara umum proses pengujian *bending* memiliki 2 cara pengujian, yaitu: *Three point bending* dan *Four point bending*. Kedua cara pengujian ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing karena tiap cara pengujian memiliki cara perhitungan yang berbeda-beda.

a. *Three Point Bending*

Three point bending adalah cara pengujian yang menggunakan 2 tumpuan dan 1 penekan.



Gambar 2.1. *Three point bending* (Wijaya, 2011)

Perhitungan yang digunakan (West Conshohocken, 1996):

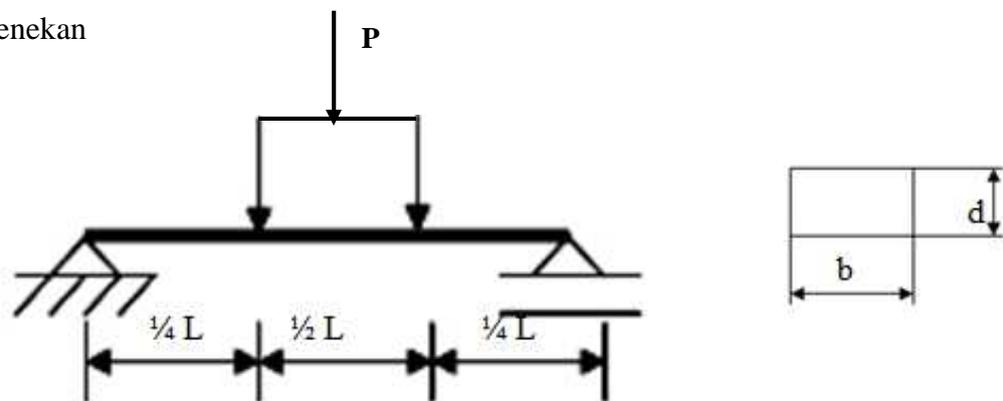
$$f = \frac{3 PL}{2 bd^2} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan rumus:

- f = Tegangan lengkung (kg/mm^2)
- P = beban atau Gaya yang terjadi (kg)
- L = Jarak *point* (mm)
- b = lebar benda uji (mm)
- d = Ketebalan benda uji (mm)

b. Four Point Bending

Four point bending adalah cara pengujian yang menggunakan 2 tumpuan dan 2 penekan



Gambar 2.2. *Four point bending* (Wijaya, 2011)

Perhitungan yang digunakan (West Conshohocken, 1996):

$$f = \frac{3 PL}{4 bd^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

- f = Tegangan lengkung (kg/mm^2)
- P = beban atau Gaya yang terjadi (kg)
- L = Jarak *point* (mm)
- b = lebar benda uji (mm)
- d = Ketebalan benda uji (mm)

d. Rangka

Rangka berfungsi sebagai penahan kekuatan balik dari gaya tekan yang dihasilkan oleh alat penekan pada saat proses pengujian. Selain itu rangka juga berfungsi sebagai dudukan komponen-komponen lain, sehingga ukuran dari rangka haruslah lebih besar dari komponen-komponen tersebut.

e. Alat Ukur

Alat ukur berfungsi sebagai pembaca data hasil pengukuran pada saat pengujian berlangsung. Angka-angka yang di tunjukkan oleh alat ukur nantinya di olah lagi dalam perhitungan untuk mendapatkan data yang inginkan. Pada umumnya alat ukur yang digunakan adalah alat pengukur tekanan.

2.1.2. Definisi Sistem Hidrolik

Sistem Hidrolik adalah suatu sistem yang memanfaatkan tekanan fluida sebagai power (sumber tenaga) pada sebuah mekanisme. Karena itu, pada sistem hidrolik dibutuhkan power unit untuk membuat fluida bertekanan. Kemudian

fluida tersebut dialirkan sesuai dengan kebutuhan atau mekanisme yang diinginkan.

Dalam sistem hidrolis ada komponen dasar yang harus diperhatikan dan dipahami yaitu

a. Pompa

Pompa digunakan untuk memompa fluida hidrolis, pompa ini memberikan daya pada fluida yang digunakan untuk melakukan kerja, daya pompa harus lebih besar dari daya yang dibutuhkan. Rumus yang digunakan (Sularso & Tahara, 1983) :

$$P_p = 0,163 \times Q \times H \times \gamma \dots\dots\dots (2.5)$$

P_p = daya pompa (HP)

Q = kapasitas pompa (m^3/s)

H = head total (m)

= berat jenis fluida (kg/m^3)

b. Penggerak pompa

Penggerak pompa biasanya adalah motor listrik, fungsi motor listrik ini adalah sebagai penggerak pompa, motor berputar lalu gerak putar motor diteruskan oleh kopel yang memutar pompa, daya motor dan kecepatan putaran motor berpengaruh pada daya dan putaran yang dihasilkan oleh pompa, dan juga mempengaruhi daya hidrolis yang dihasilkan. Rumus yang digunakan daya keluar motor (Sularso & Tahara, 1983) :

$$P_m = P_{moto.in} \times \eta_m \dots\dots\dots (2.6)$$

P_m = daya keluar motor (HP)

$P_{moto.in}$ = daya input motor (HP)

η_m = efisiensi motor (%)

Torsi penggerak (Sularso & suga, 1997)

$$P_m = \frac{T \cdot 2\pi \cdot n}{60} \dots\dots\dots (2.7)$$

P_m = daya penggerak (watt)

T = daya poros (Nm)

n = putaran motor (Rpm)

c. Sambungan pompa dan penggerak

Sambungan berfungsi sebagai sambungan antara motor listrik dan pompa, yang meneruskan daya dari motor ke pompa, sambungan dapat berupa poros gear atau belt. Rumus yang digunakan (Sularso & Tahara, 1983) :

$$P_r = \frac{P_p}{\eta_p} \dots\dots\dots (2.8)$$

P_r = daya poros (hp)

P_p = daya pompa (hp)

η_p = efisiensi pompa (%)

2.2. Pengertian Head Pompa.

Head pompa adalah energi per satuan berat yang harus disediakan untuk mengalirkan sejumlah zat cair yang direncanakan sesuai dengan kondisi instalasi pompa, atau tekanan untuk mengalirkan sejumlah zat cair,yang umumnya dinyatakan dalam satuan panjang. Sementara hubungan head dan tekanan (Sularso & Tahara, 1983) :

$$p = \rho \cdot g \cdot h \dots\dots\dots (2.9)$$

p = tekanan (pa)

Q = kapasitas pompa (m^3/s)

H = head total (m)

= massa jenis fluida (kg/m^3)

2.2.1. Head yang dibutuhkan atau head total

Adalah jumlah total head pada sistem perpipaan dari mulai sisi hisap sampai sisi tekan pompa sampai pada bak penampungan, perhitungan head total sistem dinyatakan dalam rumus (Sularso & Tahara, 1983):

$$H = h_a + h_p + h_t + \frac{1}{2g} (v_d^2 - v_s^2) \dots\dots\dots(2.10)$$

H = head total (m)

h_a = perbedaan tinggi antara sisi hisap dan tekan (m)

h_p = perbedaan head tekanan statis sisi hisap dan tekan (m)

h_t = total kerugian head yang terjadi (m)

g = gaya gravitasi ($9.81 m/s^2$)

v_d = kecepatan aliran rata-rata sisi tekan (m/s)

v_s = kecepatan aliran rata-rata sisi hisap (m/s)

2.2.2. Kecepatan aliran rata-rata sisi hisap dan tekan

Kecepatan aliran dipengaruhi oleh kapasitas pompa dan luas penampang, dimana dapat dilihat dalam rumus (Sularso & Tahara, 1983):

$$v = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(2.11)$$

v = kecepatan aliran rata-rata (m)

Q = kapasitas pompa (m^3/s)

A = luas penampang pipa (m^2)

2.2.3. Head tekan

Head tekanan adalah perbedaan head tekanan yang bekerja pada permukaan zat cair pada sisi tekan dengan head tekanan yang bekerja pada permukaan zat cair pada sisi isap. Head tekan dinyatakan dalam rumus (Sularso & Tahara, 1983):

$$h_p = \frac{p}{\gamma} = \frac{p_d}{\gamma} - \frac{p_s}{\gamma} \dots\dots\dots(2.12)$$

h_p = head tekan (m)

p_d = tekanan sisi tekan (kg/m^2)

p_s = tekanan sisi hisap (kg/m^2)

γ = berat cairan persatuan volume (kg/m^3)

2.2.4. Kerugian head

Kerugian aliran terjadi karena adanya faktor gesekan saat fluida mengalir dengan permukaan pipa, katup, belokan pipa dan lainnya, dimana mempengaruhi head yang terjadi atau head sebenarnya, maka rumus yang digunakan antara lain :

a. Kerugian gesekan pipa

- Kecepatan aliran dalam pipa (Sularso & Tahara, 1983):

$$v = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(2.13)$$

v = kecepatan aliran dalam pipa (m/s)

Q = kapasitas aliran (m^3/s)

A = luas penampang dalam pipa (m^2)

- Bilangan reynolds (Re) (Sularso & Tahara, 1983):

$$Re = \frac{vD}{\nu} \dots\dots\dots(2.14)$$

Re = bilangan reynolds

v = kecepatan aliran dalam pipa (m/s)

ν = viskositas fluida (m²/s)

D = diameter pipa (m)

- Koefisien kerugian (f) (Sularso & Tahara, 1983):

$$f = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots(2.15)$$

f = koefisien kerugian

Re = bilangan reynolds

- Kerugian aliran akibat gesekan dalam pipa (Sularso & Tahara, 1983):

$$h_f = \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(2.16)$$

h_f = kerugian head (m)

f = koefisien kerugian

L = panjang pipa (m)

D = diameter pipa (m)

g = gravitasi (9,81 m/s²)

- Kerugian ujung masuk pipa (Sularso & Tahara, 1983):

$$h_f = f \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(2.17)$$

h_f = kerugian head (m)

f = koefisien kerugian ujung masuk pipa

v = kecepatan aliran (m/s)

g = gravitasi (9.81 m/s^2)

c. Kerugian pengecilan pipa (Sularso & Tahara, 1983):

$$h_f = f \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(2.18)$$

h_f = kerugian head (m)

f = koefisien kerugian pengecilan pipa

v = kecepatan aliran (m/s)

g = gravitasi (9.81 m/s^2)

d. Kerugian ujung keluar pipa (Sularso & Tahara, 1983):

$$h_f = f \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(2.19)$$

h_f = kerugian head (m)

f = koefisien kerugian ujung keluar pipa

v = kecepatan aliran (m/s)

g = gravitasi (9.81 m/s^2)

e. Kerugian percabangan pipa (Sularso & Tahara, 1983):

$$h_{f1-3} = f_1 \frac{v_1^2}{2g} \dots\dots\dots(2.20)$$

h_{f1-3} = kerugian head (m)

f_1 = koefisien kerugian percabangan pipa

v_1 = kecepatan aliran (m/s)

g = gravitasi (9.81 m/s^2)

$$h_{f1-2} = f_2 \frac{v_1^2}{2g} \dots\dots\dots(2.21)$$

h_{f1-2} = kerugian head (m)

f_2 = koefisien kerugian percabangan pipa

v_2 = kecepatan aliran (m/s)

g = gravitasi (9.81 m/s^2)

f. Kerugian belokan pipa (Sularso & Tahara, 1983):

- Koefisien kerugian

$$f = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R} \right)^{3,5} \right] \left(\frac{\theta}{90} \right)^{0,5} \dots\dots\dots(2.22)$$

f = koefisien kerugian

D = diameter pipa (m)

R = jari-jari lengkung belokan (m)

θ = sudut belokan (m)

- Kerugian akibat belokan

$$h_f = f \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(2.23)$$

h_f = kerugian head (m)

f = koefisien kerugian

v = kecepatan aliran (m/s)

g = gravitasi (9.81 m/s^2)

g. Kerugian akibat katup (Sularso & Tahara, 1983):

$$h_v = f_v \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2.24)$$

h_v = kerugian head (m)

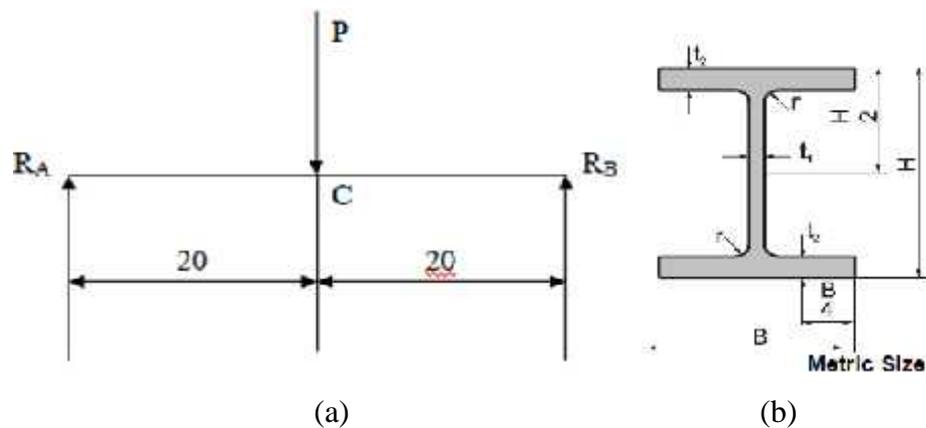
f_v = koefisien kerugian katup

v = kecepatan aliran (m/s)

g = gravitasi (9.81 m/s^2)

2.3. Kekuatan Rangka

Dalam penghitungan kekuatan rangka ada beberapa tahap yang harus kita hitung terlebih dahulu, yaitu: menghitung R_A dan R_B , momen maksimal yang terjadi dan tegangan bengkok.



Gambar 2.3. (a) Perumpamaan gaya tekan yang terjadi, (b) Profil baja I
(Wijaya, 2011)

Keterangan gambar 2.3. :

P : Beban terpusat atau gaya yang terjadi (kg)

ℓ : Jarak antara gaya dengan salah satu tumpuan (mm)

R_A dan R_B : Resultan gaya pada titik A dan B (kg)

Rumus untuk melakukan perhitungan R_A dan R_B adalah:

- Perhitungan mencari nilai R_B (ferik, 1978):

$$\sum M_A = 0$$

$$-P \times \ell + R_B \times \ell_{\text{tot}} = 0 \dots\dots\dots(2.25)$$

- Perhitungan mencari nilai R_A (ferik, 1978):

$$\sum M_B = 0$$

$$-R_A \times \ell_{\text{tot}} + P \times \ell = 0 \dots\dots\dots(2.26)$$

dimana:

M_A = Momen yang terjadi pada titik A (kg.mm)

M_B = Momen yang terjadi pada titik B (kg.mm)

P = Beban terpusat atau gaya yang terjadi (kg)

Langkah selanjutnya adalah mencari nilai momen maksimal yang terjadi,

rumus yang digunakan yaitu (ferik, 1978):

$$M_{\text{max}} = R_A \times \ell \dots\dots\dots(2.27)$$

dimana:

M_{max} = Momen maksimal yang terjadi (kg.mm)

R_A = Resultan gaya pada titik A (kg)

ℓ = Jarak antara gaya dengan salah satu tumpuan (mm)

Langkah selanjutnya adalah menghitung inersia pada sumbu x, dengan

menggunakan rumus (ferik, 1978):

$$I_x = \frac{1}{12} bh^3 \dots\dots\dots(2.28)$$

dimana:

I_x : Inersia pada sumbu x (mm^4)

b : lebar benda (mm)

h : tinggi benda (mm)

Langkah selanjutnya adalah menghitung tegangan bengkok pada rangka,

rumus yang digunakan (ferik, 1978):

$$\sigma_b = \frac{M_{\max} \cdot e}{I_x} \dots\dots\dots(2.29)$$

dimana:

σ_b = Tegangan bengkok yang terjadi (kg/mm^2)

M_{\max} = Momen maksimal (kg)

e = Jarak titik tengah ke sumbu x (mm)

I_x = Inersia pada sumbu x (mm^4)

2.4. Kekuatan Pengelasan

Berdasarkan definisi dari *Deutsche Industries Normen* (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam yang menggunakan energi panas. Las juga dapat diartikan penyambungan dua buah logam sejenis maupun tidak sejenis dengan cara memanaskan (mencairkan) logam tersebut di bawah atau di atas titik leburnya, disertai dengan atau tanpa tekanan dan disertai atau tidak disertai logam pengisi.

Berdasarkan cara kerjanya, pengelasan diklasifikasikan menjadi tiga kelas utama yaitu: pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian. Kekuatan las dipengaruhi oleh beberapa faktor, oleh karena itu penyambungan dalam proses pengelasan harus memenuhi beberapa syarat, antara lain:

- 1) Benda yang dilas tersebut harus dapat cair atau lebur oleh panas.
- 2) Antara benda-benda padat yang disambungkan tersebut terdapat kesamaan sifat lasnya, sehingga tidak melemahkan atau meninggalkan sambungan tersebut.
- 3) Cara-cara penyambungan harus sesuai dengan sifat benda padat dan tujuan dari penyambungannya.

Rumus yang digunakan dalam perhitungan sambungan las sebagai berikut (Sularso & suga, 1997)

$$P = \frac{s \times l}{\sqrt{2}} \tau_g \dots\dots\dots(2.30)$$

dimana: P = Beban maksimal yang terjadi (kg)

s = Tebal plat yang dilas (cm)

l = Panjang las yang di kurangi tebal plat (cm)

persamaan yang digunakan $l = b - s$

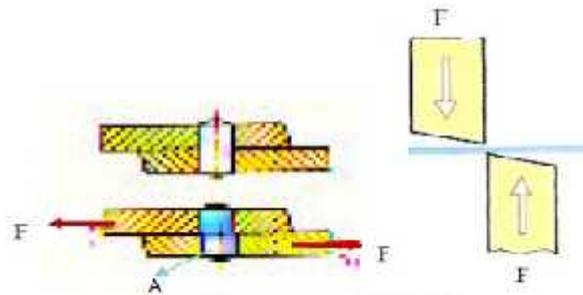
b = Panjang las-lasan (cm)

τ_g = Tegangan geser ijin (kg/cm^2)

2.5. Tegangan Geser

Tegangan geser merupakan tegangan yang bekerja sejajar atau menyinggung permukaan. Perjanjian tanda untuk tegangan geser sebagai berikut:

Tegangan geser yang bekerja pada permukaan positif suatu elemen adalah positif apabila bekerja dalam arah positif dari salah satu sumbu-sumbu positif dan negatif apabila bekerja dalam arah negatif dari sumbu-sumbu. Tegangan geser yang bekerja pada permukaan negatif suatu elemen adalah positif apabila bekerja dalam arah negatif sumbu dan negatif apabila bekerja dalam arah positif.



Gambar 2.4. Tegangan geser (riski, 2013)

Pada gambar diatas dua gaya F sama besar berlawanan arah, gaya F bekerja merata pada penampang A, pada material timbul tegangan gesernya sebesar (riski, 2013) :

$$\tau_g = \frac{\text{gaya dalam}}{\text{luas penampang}} = \frac{F}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.31)$$

$$\tau_g = \text{tegangan geser (kg/cm}^2\text{)}$$

$$F = \text{gaya yang terjadi (kg)}$$

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

Tegangan geser terjadi karena adanya gaya radial F yang bekerja pada penampang normal dengan jarak yang relatif kecil, maka pelengkungan benda diabaikan. Untuk hal ini tegangan yang terjadi adalah Apabila pada konstruksi

mempunyai n buah paku keling, maka sesuai dengan persamaan dibawah ini tegangan gesernya adalah (riski, 2013) :

$$\tau_g = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.32)$$

$$\tau_g = \frac{F}{\frac{\pi}{4} D^2} \dots\dots\dots(2.33)$$

τ_g = tegangan geser (kg/cm²)

F = gaya yang terjadi (kg)

A = luas penampang (m²)

Jika jumlah paku atau pasak lebih dari satu maka (riski, 2013) :

$$\tau_g = \frac{F}{n \cdot \frac{\pi}{4} D^2} \dots\dots\dots(2.34)$$

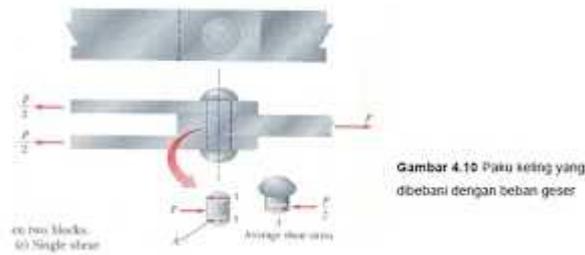
τ_g = tegangan geser (kg/cm²)

F = gaya yang terjadi (kg)

A = luas penampang (m²)

n = jumlah paku atau pasak

Tegangan geser pada permukaan-permukaan yang saling tegak lurus besarnya sama tetapi memiliki arah-arah yang sedemikian rupa sehingga kedua tegangan mengarah ke, atau menjauhi garis perpotongan kedua permukaan.



Gambar 4.10 Paku keling yang doebani dengan beban geser

Gambar 2.5. Tegangan geser paku keling (riski, 2013)

Tegangan geser yang diakibatkan adanya beban P pada sebuah paku keling dengan luas penampang A , diformulasikan sebagai berikut (riski, 2013) :

$$\tau_g = \frac{P}{2A} \dots\dots\dots(2.35)$$

$$\tau_g = \frac{P}{2 \cdot \frac{\pi}{4} D^2} \dots\dots\dots(2.36)$$

τ_g = tegangan geser (N/cm²)

P = beban yang terjadi (N)

A = luas penampang (m²)