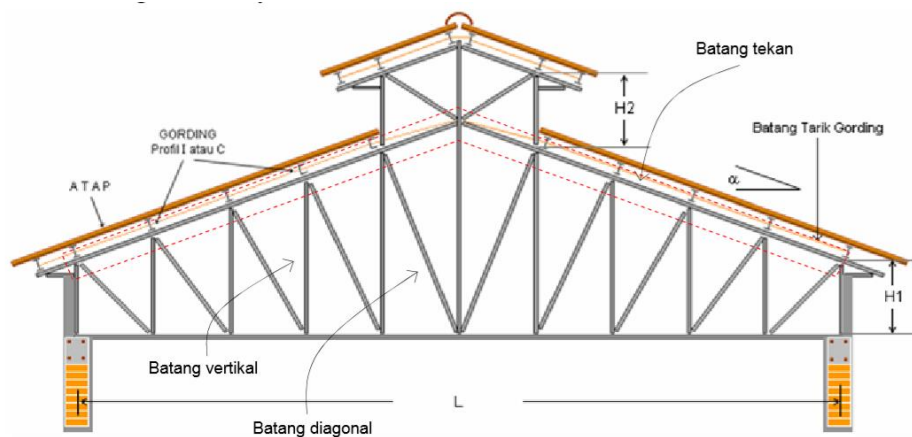


BAB IV BATANG TEKAN (COMPRESSION MEMBER)

4.1 Elemen Batang Tekan.

Batang tekan yang hanya menerima gaya tekan secara sentris saja dijumpai pada struktur rangka atap, jembatan, menara dan struktur lain yang bersifat rangka. Pada struktur rangka atap dan jembatan umumnya dijumpai pada batang-batang tepi atas, sedikit pada batang-batang diagonal dan vertikal, lihat gambar berikut. Batang ini tidak mengalami momen dan gaya lintang, hanya ada gaya normal tekan yang bekerja sentris, tepat pada garis berat penampang, oleh karena sifat dari struktur rangka itu sendiri dimana buhul-buhulnya dapat berotasi sehingga gaya-gaya dalam yang lain seperti momen dan gaya lintang akan tereduksi dengan sendirinya.



Gambar 4.1: Struktur rangka atap.

Sumber: STEELROOFTRUSS, 2011. dalam Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA I", thamrinnst.wordpress.com, 2011

Pada struktur portal, kolom merupakan elemen utama yang memikul gaya tekan, tetapi masih mengandung gaya dalam momen dan gaya lintang.

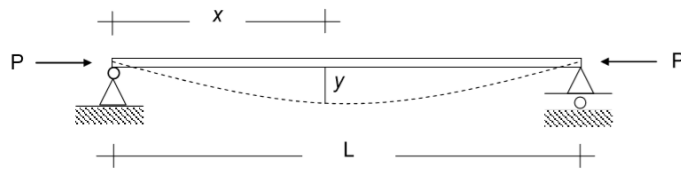
4.1.1 Tekuk Elastis Euler.

Pada tekuk elastis, komponen struktur yang dibebani gaya tekan, masih dalam keadaan elastis, akan melengkung secara perlahan-lahan, seperti *gambar 4.2*. Gaya yang bekerja sentris pada batang menyebabkan batang tersebut melentur sejauh y , sehingga terjadi momen lentur tambahan sekunder yang besarnya,

$$M_x = P \cdot y \quad (1)$$

Garis lentur diberikan oleh persamaan berikut,

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M_x}{EI} = \frac{P}{EI} \cdot y \quad (2)$$



Gambar 4.2: Kolom tekuk Euler.

Dimana,

E = modulus elastisitas baja

I = momen inertia batang.

Persamaan (2) diatas adalah persamaan homogen linear orde kedua (*second-order homogeneous linear differential equation*) apabila di integralkan akan menghasilkan persamaan beban kritis yang bekerja pada batang tekan,

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_k^2} \quad (3)$$

Dimana,

L_k = panjang tekuk batang.



Gambar 4.3: Batang tekan kolom struktur portal.

Sumber: AISCPresentation, dalam Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA 1", thamrinnst.wordpress.com, 2011

Tegangan kritis,

$$f_{cr} = \frac{P_{cr}}{A_g} \quad (4)$$

$$f_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{A_g \cdot L_k^2} \quad (5)$$

Untuk jari-jari inertia,

$$r = \sqrt{\frac{I}{A_g}} \quad (6)$$

Maka,

$$f_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot r^2}{L_k^2} \quad (7)$$

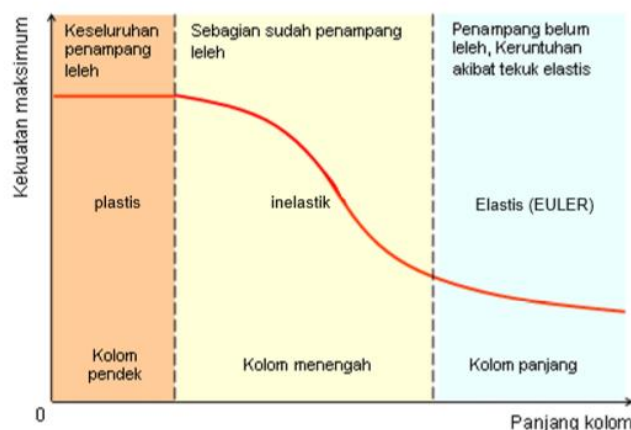
Kelangsingan Batang,

$$\lambda = \frac{L_k}{r} \quad (8)$$

Diperoleh,

$$f_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} \quad (9)$$

Pendekatan EULER diatas hanya terjadi pada batang tekan dalam kondisi elastis dengan kelangsingan yang besar ($\lambda > 110$, batang panjang), artinya batang tekan sudah menekuk sebelum tegangan mencapai leleh. Untuk kelangsingan sedang ($\lambda < 110$, batang sedang) akan terjadi tekuk inelastik, yaitu pada sebagian penampang sudah leleh dan untuk batang pendek ($\lambda < 20$) seluruh penampang leleh, seperti dilukiskan gambar 4.4 berikut,

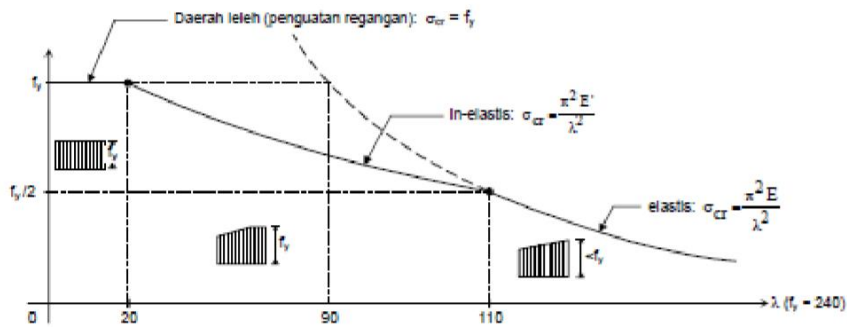


Gambar 4.4: Kurva panjang batang/kolom versus kekuatan kritis.

Pada daerah tekuk inelastik besaran modulus elastis E menurun menjadi E_t ($E > E_t$), dan kurva tegangan-regangan tidak lagi linear, dan rumus EULER diatas berubah menjadi,

$$f_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t}{\lambda^2} \quad (10)$$

Grafik yang menggambarkan hubungan tegangan–kelangsingan seperti berikut,



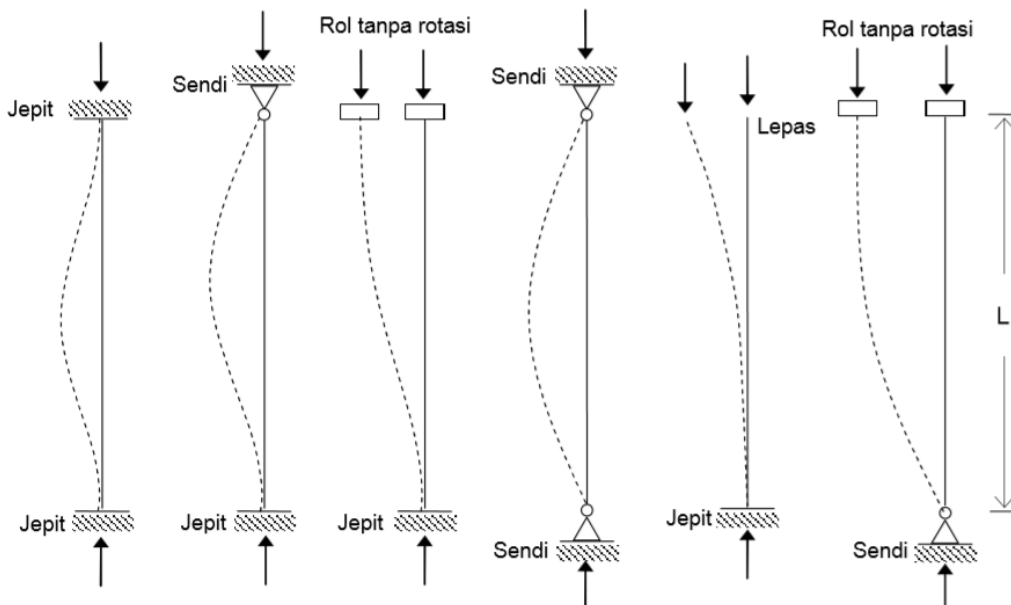
Gambar 4.5: Kurva hubungan antara tegangan (f) versus kelangsingan (λ).

Persamaan Euler diatas bergantung kepada anggapan berikut ini,

- Kolom/batang benar-benar lurus.
- Beban bekerja secara sentris, tanpa eksentrisitas gaya.
- Kolom/batang mempunyai perletakan sendi pada kedua ujungnya.
- Tidak terjadi puntir selama pelenturan.
- Kolom/batang tidak cacat.

4.1.2 Panjang Tekuk.

Panjang tekuk (L_k) batang tekan sangat tergantung kepada jenis perletakannya, seperti kolom dengan tumpuan jepit dapat mengekang ujungnya dari berotasi dan translasi, sehingga mampu menahan beban yang lebih besar dibandingkan tumpuan sendi. Panjang tekuk dihitung seperti berikut,



Gambar 4.6: Garis lentur akibat tekuk berdasarkan jenis perletakan.

Apabila $L_k = k.L$, dimana k faktor panjang tekuk, maka nilai k dapat dilihat pada tabel berikut,

Tabel 4.1: Faktor panjang tekuk (k)

	Jepit-jepit	Jepit-sendi	Jepit-rol tanpa rotasi	Sendi-sendi	Jepit-lepas	Sendi-rol tanpa rotasi
k teoritis	0,50	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	1,00	1,00	2,00	2,00
k desain	0,65	0,80	1,20	1,00	2,10	2,00

Sumber : SNI 03-1729-2002

Untuk kolom pada struktur portal, faktor panjang tekuknya (k) dipengaruhi oleh nilai G pada ujung-ujung kolom. Nilai G pada salah satu ujung adalah ratio jumlah kekakuan semua kolom terhadap jumlah kekakuan semua balok yang bertemu di ujung tersebut yang ditulis dengan rumus;

$$G_A = \frac{\sum(I_{cA}/L_{cA})}{\sum(I_{bA}/L_{bA})} \quad (11a)$$

$$G_B = \frac{\sum(I_{cB}/L_{cB})}{\sum(I_{bB}/L_{bB})} \quad (11b)$$

$$Lk = k.L$$

Gambar 4.7: Kolom dan balok portal.

I_{cA} = Momen inertia kolom yang bertemu dititik A.

I_{cB} = Momen inertia kolom yang bertemu dititik B.

L_{cA} = Panjang kolom yang bertemu dititik A.

L_{cB} = Panjang kolom yang bertemu dititik B.

I_{bA} = Momen inertia balok yang bertemu dititik A.

I_{bB} = Momen inertia balok yang bertemu dititik B.

L_{bA} = Panjang balok yang bertemu dititik A.

L_{bB} = Panjang balok yang bertemu dititik B.

Untuk tumpuan jepit nilai $G=1$

Untuk tumpuan sendi nilai $G=10$

Faktor panjang tekuk (k) dihitung dengan memasukan nilai G kedua ujung-ujungnya pada nomogram gambar 8. Dari kedua titik nilai G tersebut ditarik garis yang memotong garis skala k .

Titik potong ini menunjukkan nilai k dari kolom tersebut. Perlu diperhatikan bahwa ada dua nomogram, yaitu untuk struktur tak bergoyang dan untuk struktur bergoyang. Struktur tak bergoyang artinya jika ujung-ujung dari kolom yang ditinjau tidak dapat berpindah ke arah lateral.

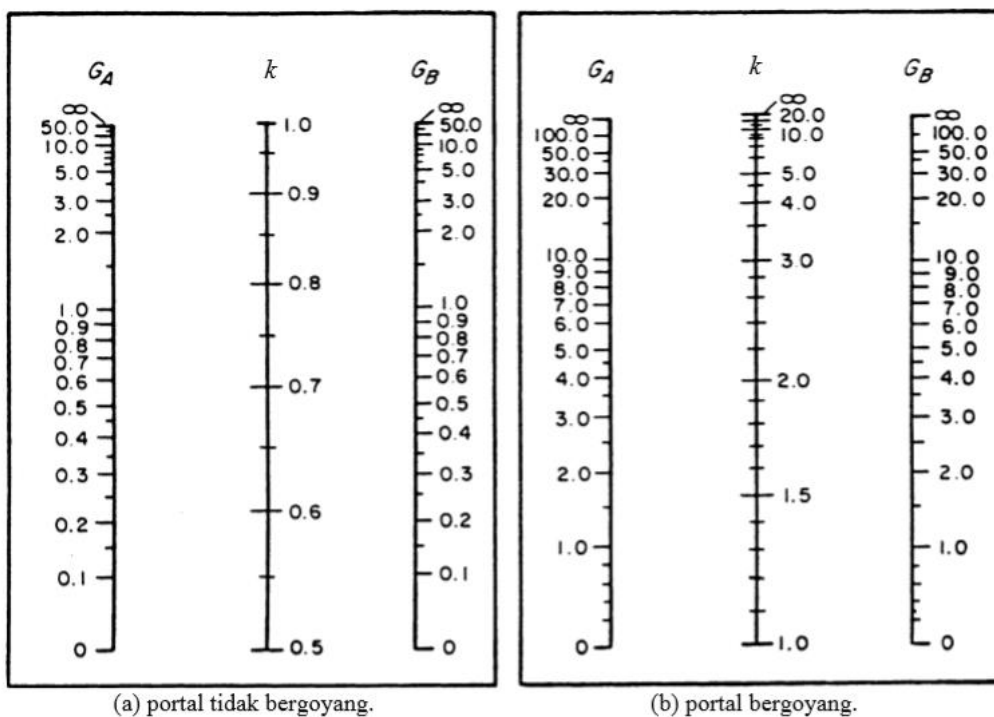
4.1.3 Batas Kelangsingan Batang Tekan.

Untuk batang-batang yang direncanakan terhadap tekan, angka perbandingan kelangsingan,

$$\lambda = Lk/r < 200.$$

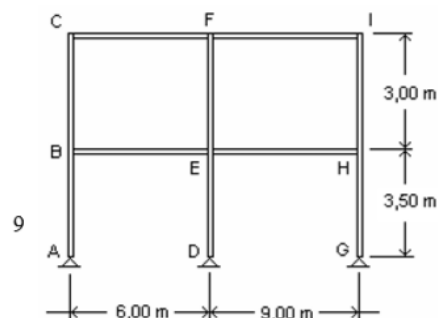
Dimana,

Lk = panjang tekuk = $k.L$; r = jari-jari inertia.



Gambar 4.8: Nomogram faktor panjang tekuk kolom portal.

Contoh1: Hitunglah nilai k untuk masing-masing kolom pada struktur portal seperti gambar 9.



Gambar 4.9 Sumber:

Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP.
ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA I"

Penyelesaian:

- a) Kekakuan tiap elemen balok dan kolom, dihitung dalam tabel berikut,

Tabel 4.2: Kekakuan elemen balok dan kolom

Elemen	Fungsi	Profil	I_x cm ⁴	L cm	I_x / L cm ³
AB	Kolom	WF 200.200.8.12	4720	350	13.486
BC	Kolom	WF 200.200.8.12	4720	300	15.733
DE	Kolom	WF 250.125.6.9	4050	350	11.571
EF	Kolom	WF 250.125.6.9	4050	300	13.500
GH	Kolom	WF 200.200.8.12	4720	350	13.486
HI	Kolom	WF 200.200.8.12	4720	300	15.733
BE	Balok	WF 450.200.9.14	33500	600	55.833
CF	Balok	WF 400.200.8.13	23700	600	39.500
EH	Balok	WF 450.300.11.18	56100	900	62.333
FI	Balok	WF 400.300.10.16	38700	900	43.000

- b) Faktor G tiap titik buhul (*Joint*)

Tabel 4.3: Perhitungan faktor G tiap titik buhul (*Joint*).

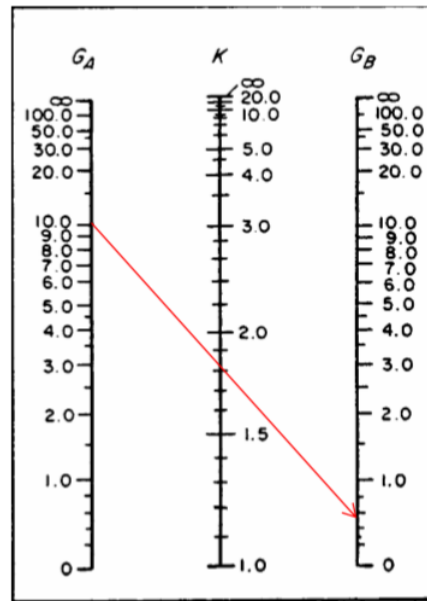
Joint			G	Ket.
A		-	10	Sendi
B	(Kolom AB + Kolom BC) / (Balok BE)	$(13.486 + 15.733) / 55.833$	0.523	
C	(Kolom BC) / (Balok CF)	$(15.733) / 39.500$	0.398	
D			10	Sendi
E	(Kolom DE + Kolom EF) / (Balok BE + Balok EH)	$(11.571 + 13.500) / (55.833 + 62.333)$	0.212	
F		$(13.500) / (39.500 + 43.000)$	0.164	
G			10	Sendi
H	(Kolom GH + Kolom HI) / (balok EH)	$(13.486 + 15.733) / 62.333$	0.469	
I	(Kolom HI) / (Balok FI)	$(15.733) / 43.000$	0.366	

- c) Faktor panjang tekuk (*panjang efektif*) k masing-masing kolom,

Tabel 4.4: Faktor panjang tekuk, k .

Kolom	G_A	G_B	k
AB	10	0.523	1.80
BC	0.523	0.398	1.15
DE	10	0.212	1.72
EF	0.212	0.164	1.07
GH	10	0.469	1.79
HI	0.469	0.366	1.18

Contoh memakai nomogram untuk portal bergoyang, kolom AB,



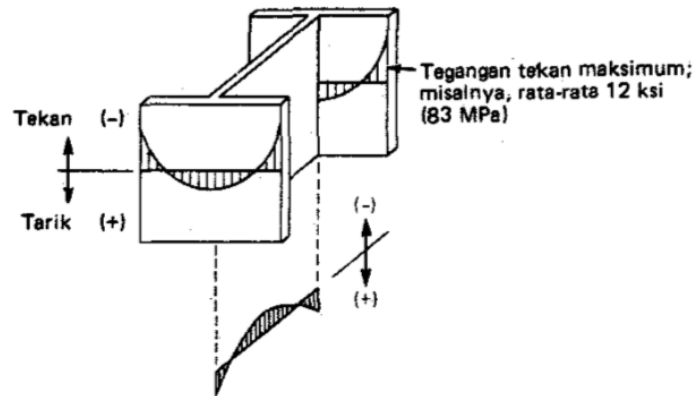
Gambar 4.10. Nomogram portal bergoyang

4.2 Pengaruh Tegangan Sisa (*Residual Stress*).

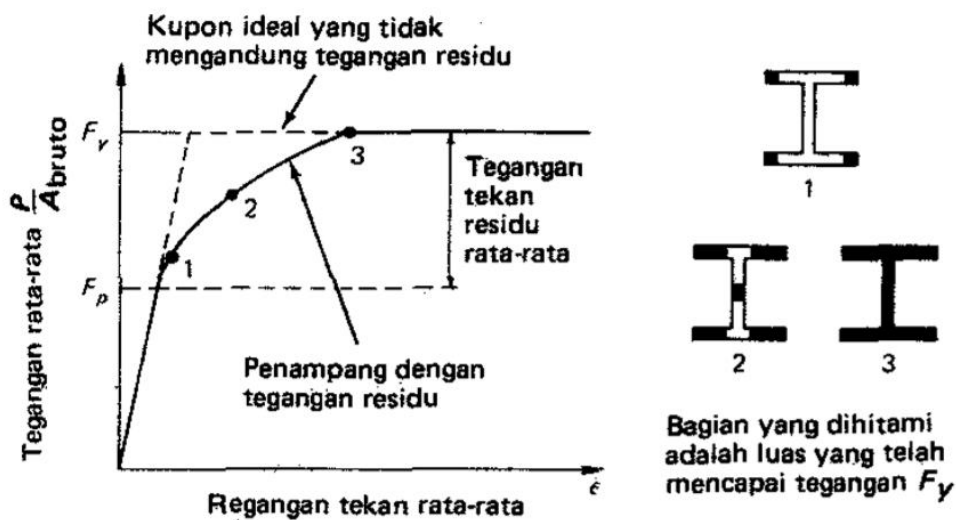
Tegangan sisa (*Residual Stress*), adalah tegangan yang tertinggal dalam suatu komponen struktur baja, pada proses pembuatannya maupun dalam pemakaiannya. Yang dapat diakibatkan oleh antara lain,

- Proses pendinginan yang tidak merata setelah profil struktural dibentuk dengan penggilingan panas.
- Lenturan atau lendutan dingin selama fabrikasi.
- Proses pelobangan dan pemotongan selama fabrikasi.
- Proses pengelasan.

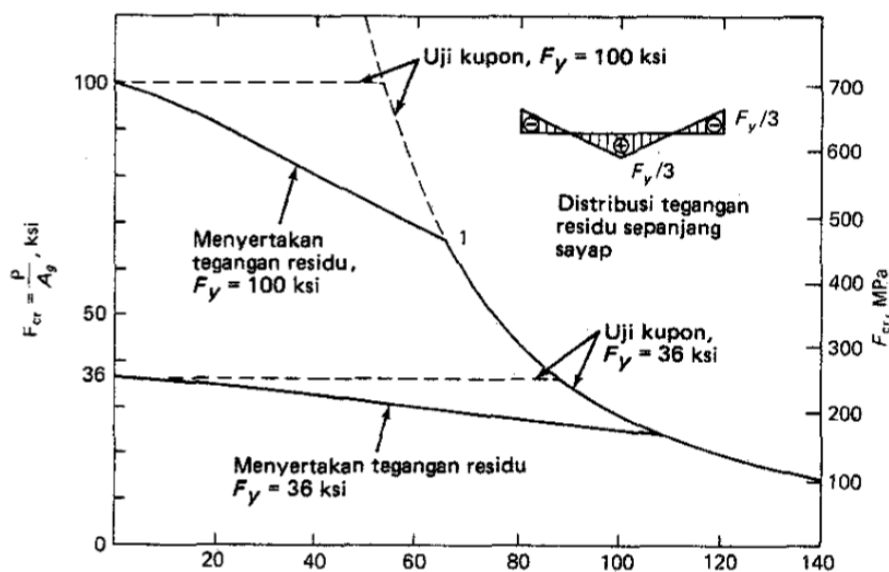
Pada penampang profil sayap lebar (*wide flange*) atau profil H yang digiling panas, sayap yang merupakan bagian yang lebih tebal mendingin lebih lambat daripada daerah badan (*web*). Ujung sayap yang lebih terbuka terhadap udara lebih cepat dingin daripada daerah pertemuan sayap dan badan, ini berakibat ujung-ujung sayap dan tengah-tengah badan mengalami tegangan residu tekan. Sedangkan pada daerah pertemuan sayap dan badan mengalami tegangan residu tarik. Distribusi tegangan residu dapat dilihat pada gambar 11 berikut.



Gambar 4.11: Pola tegangan residu yang umum pada profil giling.



Gambar 4.12: Pengaruh tegangan residu pada kurva tegangan-regangan rata-rata. Sumber: Charles G. Salmon, Jhon E. Johnson, "STRUKTURBAJA, Design dan Perilaku", Jilid I, Penerbit AIRLANGGA, Jakarta, 1990, dalam Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA 1", thamrinnst.wordpress.com, 2011



Gambar 4.13: Kurva kekuatan yang menunjukkan pengaruh tegangan residu ($E=29.000$ ksi).

Sumber: Charles G.Salmon, Jhon E. Johnson, "STRUKTURBAJA, Design dan Perilaku", Jilid1, Penerbit AIRLANGGA, Jakarta,1990, dalam Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA 1", thamrinnst.wordpress.com, 2011

SNI03-1729-2002, pada tabel 7.5.1, menetapkan pengaruh tegangan residu pada pelat sayap 70 Mpa untuk penampang yang dirol/digiling panas, dan 115 MPa untuk penampang yang dilas. Misal pada sayap profil dengan mutu baja BJ-34, dengan tegangan leleh $f_y = 210$ MPa, harus dikurangi sebesar 70 Mpa menjadi $f_y = 210 \text{ Mpa} - 70 \text{ Mpa} = 140 \text{ MPa}$.

4.3 Tahanan Tekan Nominal (SNI03-1729-2002).

Suatu komponen struktur yang mengalami gaya tekan sentris akibat beban terfaktor N_u menurut SNI 03-1729-2002, pasal 9.1, harus memenuhi:

$$N_u < \phi_n \cdot N_n \quad (13)$$

Dimana,

ϕ_n = adalah faktor reduksi kekuatan (lihat SNI, Tabel 6.4-2),

= 0,85.

N_u = beban terfaktor.

N_n = kekuatan tekan nominal.

a) Gaya tekuk elastis.

SNI pasal 7.6.1, gaya tekuk elastis komponen struktur (N_{cr}) ditetapkan sebagai berikut:

$$N_{cr} = \frac{A_g \cdot f_y}{\lambda_c^2} \quad (14)$$

dengan parameter kelangsingan kolom, λ_c , ditetapkan sebagai berikut:

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \frac{L_k}{r} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (15)$$

dengan $L_k = k \cdot L$ dan f_y adalah tegangan leleh material. Dalam hal ini k adalah faktor panjang tekuk, dan L adalah panjang teoritis kolom.

b) Daya dukung nominal komponen struktur tekan

Daya dukung nominal komponen struktur tekan dihitung sebagai berikut:

$$N_u = A_g \cdot f_{cr} = A_g \cdot \frac{f_y}{\omega} \quad (16)$$

$$f_{cr} = \frac{f_y}{\omega} \quad (17)$$

$$\text{untuk } \lambda_c \leq 0,25 \quad \text{maka,} \quad \omega = 1 \quad (18a)$$

$$\text{untuk } 0,25 < \lambda_c < 1,2 \quad \text{maka,} \quad \omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,6\lambda_c} \quad (18b)$$

$$\text{untuk } \lambda_c \geq 1,2 \quad \text{maka,} \quad \omega = 1,25 \lambda_c^2 \quad (18c)$$

Keterangan:

A_g = luas penampang bruto, mm²

f_{cr} = tegangan kritis penampang, MPa

f_y = tegangan leleh material, MPa

ω = koefisien tekuk.

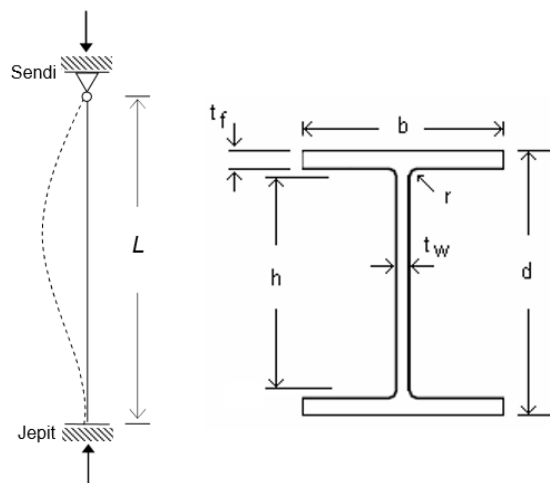
Contoh 2:

Lakukanlah evaluasi terhadap komponen struktur tekan berikut dengan memakai profil WF 300.200.9.14. Kondisi perletakan jepit – sendi. Beban aksial terfaktor $N_u = 120 \text{ ton} = 1200 \text{ kN}$. Mutu baja BJ-37 ($f_y = 240 \text{ MPa}$, $f_u = 370 \text{ MPa}$). Panjang batang $L = 4500 \text{ mm}$.

DATA-DATA :

WF 300.200.9.14

d	=	298	mm
b	=	201	mm
t_f	=	14	mm
t_w	=	9	mm
L	=	4500	mm
r	=	18	mm
A_g	=	8336	mm ²
r_x	=	126	mm
r_y	=	47,7	mm
h	=	$d - 2 \cdot (t_f + r)$	
	=	$298 - 2 \cdot (14 + 18)$	
h	=	234	mm



Gambar 4.14

Sumber: Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA I"

EVALUASI

a. Kelangsingan batang.

Faktor panjang tekuk, $k = 0,80$ (jepit-send, tabel1)

- Tekuk kearah sumbu – X,

$$L_{kx} = k.L = 0,8.(4500) = 3600 \text{ mm.}$$

$$\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{3600}{126} = 28,57 < 200 \text{ (memenuhi)}$$

- Tekuk kearah sumbu –Y,

$$L_{ky} = k.L = 0,8.(4500) = 3600 \text{ mm.}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{3600}{47,7} = 75,47 < 200 \text{ (memenuhi)}$$

b. Kekuatan nominal terfaktor batang tekan.

- **Kearah sumbu – X,**

$$\lambda_{cx} = \frac{1}{\pi} \frac{L_{kx}}{r_x} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$$\lambda_{cx} = \frac{1}{\pi} (28,57) \cdot \sqrt{\frac{240}{200.000}} = 0,3152 \quad (\pi = 3,14)$$

untuk $0,25 < \lambda_c < 1,2$, maka $\omega_x = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_{cx}}$

$$\omega_x = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot (0,3152)} = 1,0297$$

Kekuatan nominal batang tekan,

$$N_n = A_g \cdot f_{cr} = A_g \cdot \frac{f_y}{\omega_x} = (8336 \text{ mm}^2) \cdot \frac{240 \text{ Mpa}}{1,0297} = 1942935 \text{ N}$$

$$N_n = 1942,9 \text{ kN}$$

Kekuatan nominal terfaktor,

$$N_u = \phi_n \cdot N_n = 0,85 \cdot (1942,9) \text{ kN} = 1651,5 \text{ kN} > 1200 \text{ kN. (memenuhi).}$$

- **Kearah sumbu – Y,**

$$\lambda_{cy} = \frac{1}{\pi} \frac{L_{ky}}{r_y} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$$\lambda_{cy} = \frac{1}{\pi} (75,47) \cdot \sqrt{\frac{240}{200000}} = 0,8326 \quad (\text{untuk } \pi = 3,14)$$

untuk $0,25 < \lambda_c < 1,2$, maka $\omega_y = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_{cy}}$

$$\omega_y = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot (0,8326)} = 1,3722$$

Kekuatan nominal batang tekan,

$$N_n = A_g \cdot f_{cr} = A_g \cdot \frac{f_y}{\omega_y} = (8336 \text{ mm}^2) \cdot \frac{240 \text{ Mpa}}{1,3722} = 1457980 \text{ N}$$

$$N_n = 1458,0 \text{ kN}$$

Kekuatan nominal terfaktor,

$$N_u = \phi_n \cdot N_n = 0,85 \cdot (1458,0) \text{ kN} = 1239,3 \text{ kN} > 1200 \text{ kN. (memenuhi).}$$

4.4 Profil Tersusun batang tekan

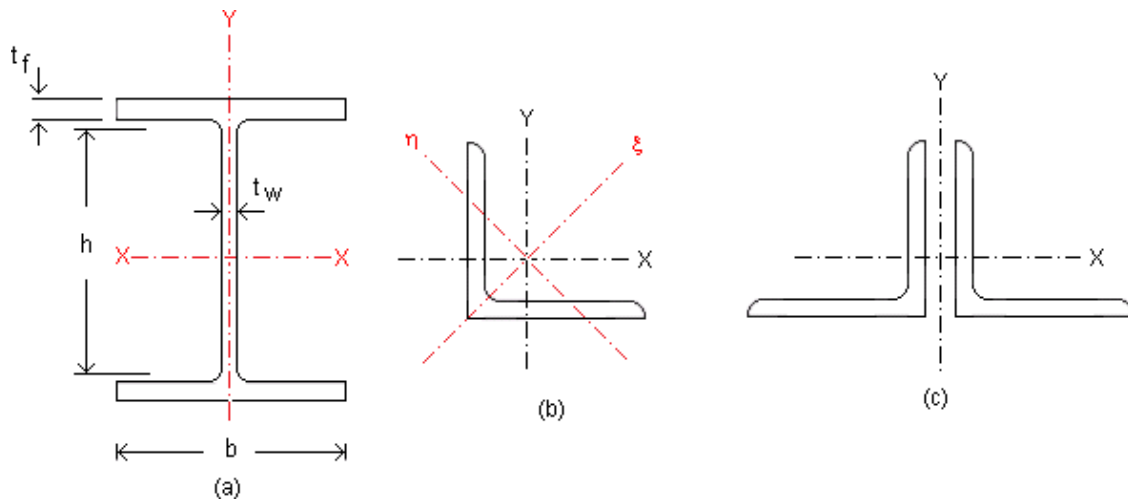
Profil tersusun adalah susunan beberapa profil menjadi satu profil atau batang tunggal, yang diikat dengan pelat-pelat yang disebut Pelat Koppel, dimana kekuatannya dihitung terhadap Sumbu Bahan dan Sumbu Bebas Bahan.

a). Sumbu profil.

Pada batang tekan terdapat sumbu-sumbu penting yang harus diperhatikan, yaitu :

- Sumbu Utama.
- Sumbu Bahan.
- Sumbu Bebas Bahan.

Sumbu utama, adalah sumbu dimana terdapat nilai inertia ekstrim maksimum dan minimum, seperti terlihat pada gambar 16.(a) berikut, dimana sumbu X dan sumbu Y adalah sumbu utama, sumbu X dan Y pada profil ini adalah juga merupakan sumbu bahan.



Gambar 4.15 : Letak sumbu-sumbu profil.

Pada gambar 4.15 (b), yaitu profil siku tunggal, sumbu bahannya adalah sumbu X dan sumbu Y. Yang menjadi sumbu utama adalah sumbu ξ tempat momen inertia ekstrim maksimum, dan sumbu η tempat momen inertia ekstrim minimum.

Besar momen inertia I_ξ dan I_η dapat dilihat pada tabel profil, atau dapat dihitung sebagai berikut,

$$I_\xi = I_{\max} = \frac{I_x + I_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{I_x + I_y}{2}\right)^2 + S_{xy}^2}$$

$$I_\eta = I_{\min} = \frac{I_x + I_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{I_x + I_y}{2}\right)^2 + S_{xy}^2}$$

Dimana

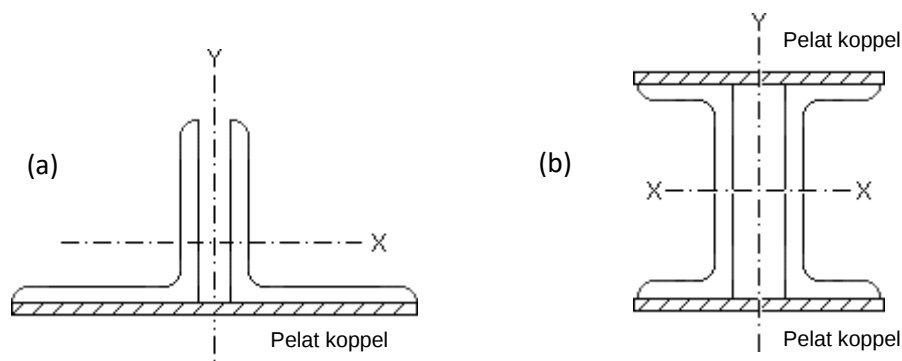
I_x = momen inertia terhadap sumbu X.

I_y = momen inertia terhadap sumbu Y.

S_{xy} = momen sentrifugal terhadap sumbu X dan Y.

Pada Gambar 16.(c), sumbu X adalah sumbu bahan dan sumbu Y adalah sumbu bebas bahan.

b). Kelangsingan batang profil tersusun.



Gambar 4.16 : Profil tersusun.

- Terhadap sumbu X-X (sumbu bahan),

$$\lambda_x = \frac{k \cdot L_x}{r_x}$$

Dimana,

k = faktor panjang tekuk.

L_x = panjang komponen struktur tekan arah x.

r_x = jari-jari inertia terhadap sumbu X.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_{x \text{ total}}}{A_{g \text{ total}}}}$$

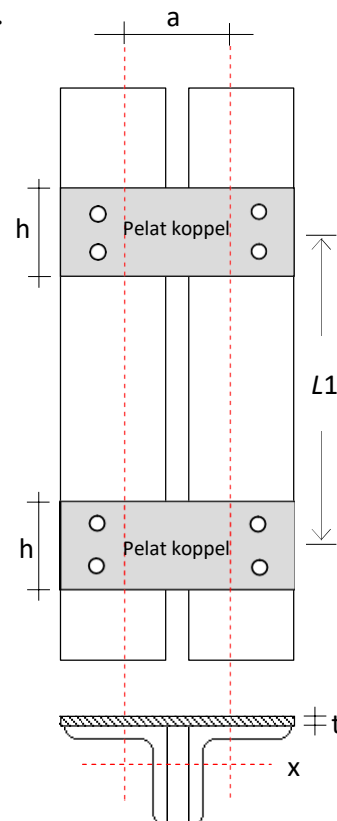
- Terhadap sumbu Y-Y (sumbu bebas bahan),

$$\lambda_{iy} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \lambda_1^2}$$

Dimana,

$$\lambda_y = \frac{k \cdot L_y}{r_y}$$

$$\lambda_1 = \frac{L_1}{r_{min}}$$



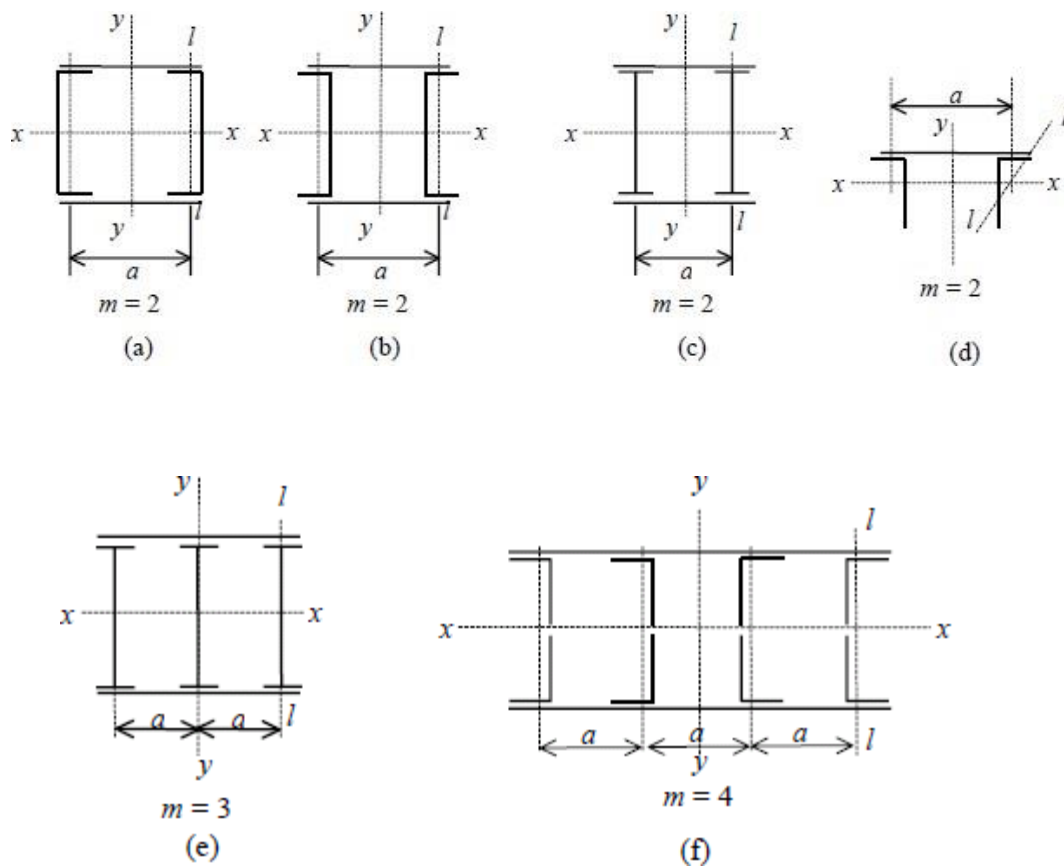
m = jumlah batang tunggal yang membentuk profil tersusun.

L_y = panjang komponen struktur tekan arah Y.

r_y = jari-jari inertiya terhadap sumbu Y.

L_1 = jarak antara dua pelat koppel.

$r_{\min} = r_{\eta}$ = jari-jari inertiya minimum batang tunggal (lihat gbr. [4.15 b](#))



Gambar 4.18 : Profil tersusun dengan nilai m .

Sumber : SNI 03-1729-2002

c). Pelat Koppel.

SNI 03-1729-2002 pasal 9.3 menyatakan bahwa persamaan (22) diatas terpenuhi apabila :

- c1). Pelat-pelat koppel membagi komponen struktur tersusun menjadi beberapa bagian yang sama panjang atau dapat dianggap sama panjang.
- c2). Banyaknya pembagian komponen struktur minimum adalah 3 (tiga) medan

pelat koppel. c3). Hubungan antara pelat koppel dengan elemen komponen struktur tekan harus kaku.

c4). Pelat koppel harus cukup kaku, sehingga memenuhi persamaan,

$$\frac{I_p}{a} \geq \frac{10 \cdot I_1}{L_1}$$

Dimana,

$$\begin{aligned} I_p &= \text{momen inertia pelat koppel} \\ &= 1/12 \cdot t \cdot h^3. \end{aligned}$$

Apabila pelat koppel terdapat pada muka dan belakang (gbr 4.18 a,b,c,e,f),

$$I_p = (2) \cdot 1/12 \cdot t \cdot h^3.$$

I_1 = momen inertia minimum batang tunggal (I_{η}), lihat gambar 4.15 b.

a = jarak antara dua pusat berat profil, lihat gambar 18 dan 19.

Pelat-pelat koppel harus dihitung dengan menganggap bahwa pada seluruh panjang komponen struktur tersusun itu bekerja gaya lintang sebesar,

$$Du = 0,02 \cdot Nu$$

dengan Nu adalah kuat tekan perlu (beban kerja) komponen struktur tersusun akibat beban-beban terfaktor. Anggapan ini hanya berlaku untuk batang tekan dengan gaya sentris.

d). Koefisien Tekuk.

Koefisien tekuk ω_x dan ω_{iy} selanjutnya ditentukan oleh harga-harga λ_{cx} dan λ_{ciy}

- Terhadap sumbu X,

$$\lambda_{cx} = \frac{1}{\pi} (\lambda_x) \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

- Terhadap sumbu Y,

$$\lambda_{ciy} = \frac{1}{\pi} (\lambda_{iy}) \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

Dengan menggunakan parameter kelangsingan batang tekan pada persamaan sebelumnya dicari koefisien tekuk dengan persamaan 18.(a), (b), dan (c) seperti berikut,

untuk $\lambda_c \leq 0,25$ maka $\omega = 1$

untuk $0,25 < \lambda_c < 1,2$ maka $\omega = \frac{1,43}{1,6-0,67\lambda_c}$

untuk $\lambda_c \geq 1,2$ maka $\omega = 1,25.\lambda_c^2$

e). Kuat Tekan Nominal.

Kuat tekan nominal dipilih yang terkecil dari kedua persamaan berikut,

- Terhadap sumbu X,

$$N_n = A_g \cdot \frac{f_y}{\omega_x}$$

- Terhadap sumbu Y,

$$N_n = A_g \cdot \frac{f_y}{\omega_{iy}}$$

f). Kestabilan Profil Tersusun.

Pasal 9.3.(6) SNI 03-1729-2002 menyatakan, untuk menjaga kestabilan elemen-elemen penampang komponen struktur tersusun maka harga-harga λ_x dan λ_{iy} persamaan (20) dan (22) harus memenuhi :

$$\lambda_x \geq 1,2 \lambda_1$$

$$\lambda_{iy} \geq 1,2 \lambda_1$$

$$\lambda_1 \leq 50$$

BAB V

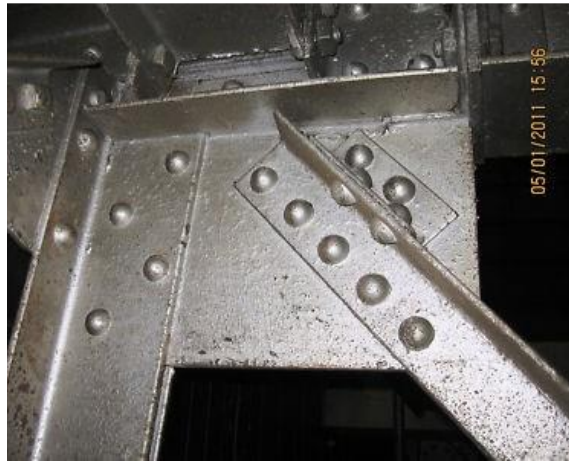
ALAT PENGIKAT STRUKTURAL (*STRUCTURAL FASTENER*)

5.1 Jenis Alat Pengikat/Penyambung

Dalam konstruksi baja, setiap bagian elemen dari strukturnya dihubungkan satu sama lain dengan menggunakan alat pengikat (*fastener*)/penyambung. Pada struktur rangka baik atap maupun jembatan baja, juga pada struktur portal, tempat berkumpulnya batang-batang, yang disebut titik buhul, menggunakan pelat penyambung yang dinamakan pelat buhul, dimana batang-batang tadi diikat dengan menggunakan alat pengikat pada pelat buhul tersebut. Jenis-jenis alat pengikat yang sering digunakan adalah paku keling (*rivet*) Gambar (5.1) dan (5.2), baut (*bolt*) gambar (5.3), dan alat pengikat dari las gambar (5.4).



Gambar 5.1 : Struktur rangka atap dengan alat pengikat paku keling (rivet)
Sumber: Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA 1"



Gambar 5.2 : Alat pengikat dari paku keling (rivet).

Sumber : Internet. dalam Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA 1", thamrinnst.wordpress.com, 2011



Gambar 5.3 : Alat pengikat dari baut (bolt).

Sumber : AISC Presentation, dalam Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA 1", thamrinnst.wordpress.com, 2011



*Gambar 5.4 : Alat pengikat dari las (welding).
Sumber : AISC Presentation, dalam Thamrin Nasution*



*Gambar 5.5: Cara menginstalasi paku keling dengan palu (hot driven rivet).
Sumber : William Vermes, P.E., "Design and Performance of Riveted Bridge Connections",
Euthenics, Inc., October 24, 2007, Sumber: dalam Thamrin Nasution*

5.2 Alat Pengikat dari Paku Keling (rivets)

a). Sejarah.

Paku keling (*rivet*) telah lama dikenal yaitu pada saat hari-hari besi dan baja, jenis paku keling yang dimasukkan dalam keadaan panas (*hot driven rivet*) telah diketahui mempunyai kekuatan yang mengikat. Pada saat pendinginan paku keling menyusut, sehingga memberikan kekuatan menjepit. Namun jumlah kekuatan menjepit yang dihasilkan oleh pendinginan bervariasi dari paku keling yang satu dengan paku keling yang lain, oleh karena itu tidak dapat diandalkan dalam perhitungan disain.

b). Cara pemasangan paku keling.

Paku keling dimasukkan kedalam lobang paku dengan diameter 1/16 in (1,6 mm) lebih besar dari diameter dari paku. Pada saat pemasangan, paku dalam keadaan panas, gambar (5), kemudian didorong dengan menggunakan alat yang disebut *pneumatic hammer* (palu bertekanan), Gambar (5.6).

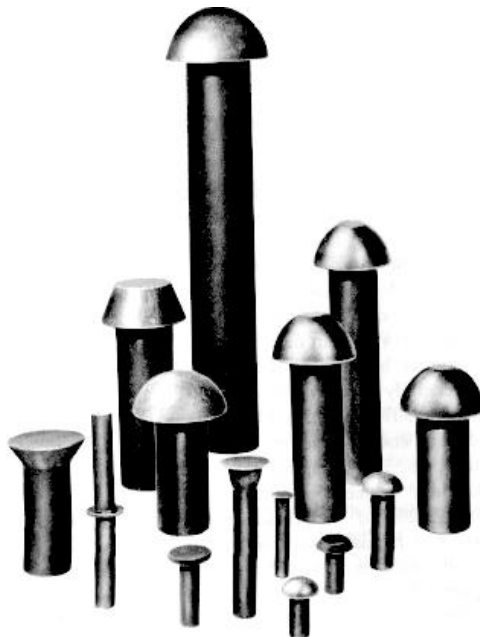


Gambar 5.6 : Cara menginstalasi paku keling, dengan menggunakan *pneumatic hammer*.

Sumber : M. D'Aniello, F. Portioli, L. Fiorino, R. Landolfo, "Experimental investigation on shear behaviour of riveted connections in steel structures", *Engineering Structures* 33 (2011) 516–531, dalam Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA 1", thamrinnst.wordpress.com, 2011,

c). Mutu paku keling (*rivet*).

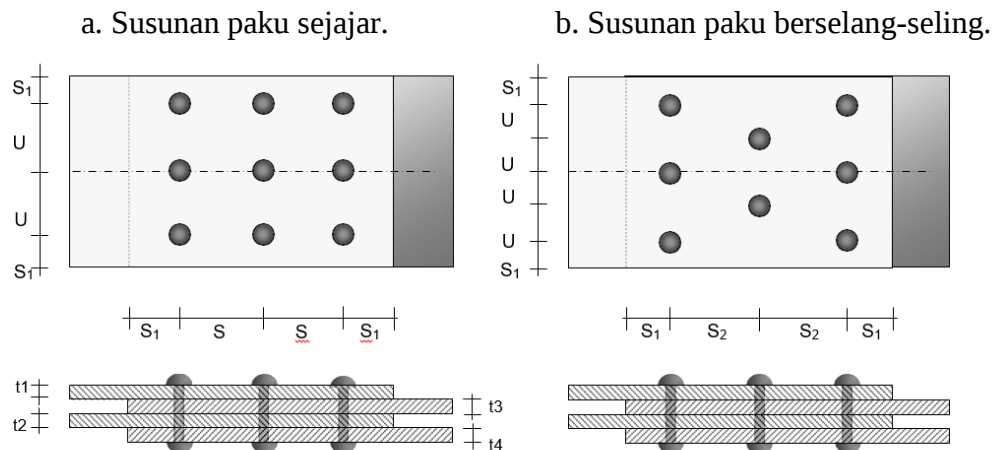
Paku keling dibuat dari baja batangan dan memiliki bentuk silinder dengan kepala disalah satu ujungnya, gambar (5.7). Baja paku keling adalah baja karbon sedang dengan identifikasi ASTM A502 mutu (*grade*) 1 dengan $f_y = 28$ ksi (195 MPa), dan mutu 2, $f_y = 38$ ksi (260 MPa)



Gambar 5.7 : Bentuk-bentuk paku keling.

Sumber : Geoffrey L. Kulak, John W. Fisher, John H. A., "Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints", 2 nd, AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, Inc. 2001, Sumber: dalam Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA 1", thamrinnst.wordpress.com, 2011

d). Susunan, ukuran dan jarak antara paku.



Gambar 5.8 : Susunan dan jarak paku keling.

Sumber: Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA 1"

Syarat-syarat jarak paku berdasarkan PPBBI 1984,

$$2,5 d \leq S \leq 7 d \text{ atau } 14 t \quad (t = \text{tebal pelat terkecil} ; d = \text{diameter paku})$$

$$2,5 d \leq U \leq 7 d \text{ atau } 14 t$$

$$1,5 d \leq S_1 \leq 3 d \text{ atau } 6 t$$

$$2,5 d \leq S \leq 7 d \text{ atau } 14 t$$

$$S_2 \leq 7d - 0,5 U \text{ atau } 14 t - 0,5 U$$

Jarak minimum paku pinggir dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 5.1 : Jarak baut/paku keling pada tepi minimum.

Nominal rivet or bolt diameter		Minimum edge distance			
		At sheared edges		At rolled edges of plates, shapes or bars, or gas cut edges†	
(in.)	(mm)	(in.)	(mm)	(in.)	(mm)
1/2	12.7	7/8	22.2	3/4	19.1
5/8	15.9	1 1/8	28.6	7/8	22.2
3/4	19.1	1 1/4	31.8	1	25.4
7/8	22.2	1 1/2‡	38.1	1 1/8	28.6
1	25.4	1 3/4‡	44.5	1 1/4	31.8
1 1/8	28.6	2	50.8	1 1/2	38.1
1 1/4	31.8	2 1/4	57.2	1 5/8	41.3
Over 1 1/4	Over 31.8	13/4 × diam		11/4 × diam	

Sumber : Charles G. Salmon, "Steel Structures Design and Behavior", 5th Edition, 2009 dalam Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA 1", thamrinnst.wordpress.com, 2011

5.3 Alat Sambung Baut

1) Baut Mutu Tinggi

Ada dua jenis baut mutu tinggi yang ditetapkan ASTM yaitu A325 dan A490. Baut A325 terbuat dari baja karbon sedang dengan kekuatan leleh (*yield strength*) dari 560 sampai dengan 630 MPa tergantung dari ukuran diameter. Sedangkan baut A490 terbuat dari baja alloy yang mempunyai kekuatan leleh mendekati 790 sampai dengan 900 MPa, juga tergantung kepada ukuran diameter.

Ukuran diameter baut berkekuatan tinggi berkisar ½" sampai dengan 1 ½" khusus baut A490 sampai dengan 3". Ukuran baut yang sering digunakan pada

struktur bangunan adalah $\frac{3}{4}$ " dan $\frac{7}{8}$ ", sedangkan untuk struktur jembatan $\frac{7}{8}$ " sampai dengan 1".

Baut kekuatan tinggi dikencangkan untuk menimbulkan tegangan tarik yang ditetapkan pada baut sehingga terjadi gaya jepit (*clamping force*) pada sambungan. Oleh karena itu beban kerja sesungguhnya dipikul oleh gaya gesekan antara pelat atau batang yang disambung. Gaya ini disebut *Proof load*.

Baut mutu tinggi dapat direncanakan sebagai sambungan tipe friksi (tanpa ada slip pada bagian-bagian sambungan), tetapi dapat juga direncanakan sebagai sambungan tipe tumpu.

Tabel 5.2 : Karakteristik baut mutu tinggi.

ASTM designation	Bolt diameter in. (mm)	Proof load, ^a length measurement ^b method, ksi (MPa)	Proof load, ^a yield strength ^c method, ksi (MPa)	Minimum tensile strength, ksi (MPa)
A307 [2.4], low-carbon steel Grades A and B	$\frac{1}{2}$ to 4 (6.35 to 102)	—	—	60 (415)
A325 [2.5], high-strength steel Types 1, 2, and 3	$\frac{1}{2}$ to 1 (12.7 to 25.4)	85 (585)	92 (635)	120 (825)
	$1\frac{1}{4}$ to $1\frac{1}{2}$ (28.6 to 38.1)	74 (510)	81 (560)	105 (725)
A449 [2.6], quenched and tempered steel	$\frac{1}{2}$ to 1 (6.35 to 25.4)	85 (585)	92 (635)	120 (825)
(Note: AISC ^d permits use only for bolts larger than $1\frac{1}{4}$ in. and for threaded rods and anchor bolts)	$1\frac{1}{4}$ to $1\frac{1}{2}$ (28.6 to 38.1)	74 (510)	81 (560)	105 (725)
	$1\frac{1}{2}$ to 3 (44.5 to 76.2)	55 (380)	58 (400)	90 (620)
A490 [2.7], quenched and tempered alloy steel	$\frac{1}{2}$ to $1\frac{1}{2}$ (12.7 to 38.1)	120 (825)	130 (895)	150 (1035)

^aActual proof load and tensile load obtained by multiplying given stress value by the tensile stress area A_s ; $A_s = 0.785 (d_b - (0.9743/n))^2$, where A_s = stress area in square inches, d_b = nominal diameter of bolt in inches, and n = number of threads per inch.
^b0.5% extension under load.
^c0.2% offset value.
^dAISC-J3.1

Sumber : Charles G. Salmon, "Steel Structures Design and Behavior", 5th Edition, 2009 dalam Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA 1", thamrinnst.wordpress.com, 2011



Gambar 5.9 : Kode baut mutu tinggi A325 dan A490.

Sumber : AISC Presentation dalam Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA 1", thamrinnst.wordpress.com, 2011

2) Cara Pemasangan Baut.

Cara pemasangan baut mutu tinggi, mula-mula dikencangkan dengan kekuatan tangan, kemudian diikuti $\frac{1}{2}$ putaran lagi, lihat tabel SNI 03-1729-2002, pasal 18.2.5.2 berikut,

Tabel 5.3 : Putaran mur dari kondisi kencang tangan.

Panjang baut (Bagian bawah kepala baut sampai ujung baut)	Posisi permukaan luar bagian yang dibaut (lihat Catatan 1, 2, 3, 4)		
	Semua permukaan tegak lurus terhadap sumbu baut	Satu permukaan tegak lurus terhadap sumbu baut, dan yang lainnya miring	Semua permukaan miring
$\leq 4d$	1/3 putaran	1/2 putaran	2/3 putaran
$4d < l \leq 8d$	1/2 putaran	2/3 putaran	5/6 putaran
$8d < l \leq 12d$ (lihat catatan 5)	2/3 putaran	5/6 putaran	1 putaran

Hasil putaran ini memberikan gaya tarik minimum dalam baut pengikat, seperti tertera dalam tabel SNI pasal 18.2.5.1 berikut,



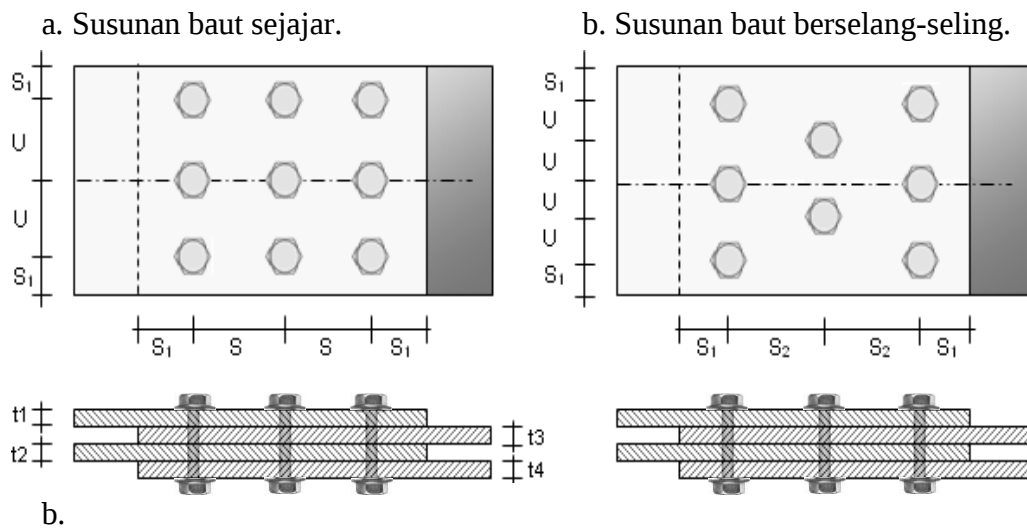
Gambar 5.9 : Baut dikencangkan dengan tangan.

Sumber : AISC Presentation.dalam Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA 1", thamrinnst.wordpress.com, 2011

Tabel 5.4 : Gaya tarik baut minimum.

Diameter nominal baut (mm)	Gaya tarik minimum (KN)
16	95
20	145
24	210
30	335
36	490

3) Susunan, ukuran dan jarak antara baut.



Gambar 10 : Susunan dan jarak baut.

Syarat-syarat jarak paku berdasarkan PPBBI 1984,

$$2,5 d \leq S \leq 7 d \text{ atau } 14 t \quad (t = \text{tebal pelat terkecil} ; d = \text{diameter paku})$$

$$2,5 d \leq U \leq 7 d \text{ atau } 14 t$$

$$1,5 d \leq S_1 \leq 3 d \text{ atau } 6 t$$

$$2,5 d \leq S \leq 7 d \text{ atau } 14 t$$

$$S_2 \leq 7d - 0,5 U \text{ atau } 14 t - 0,5 U$$

4) Ukuran lobang baut.

SNI 03-1729-2002, fs.17.3.6 (lihat juga modul 3 sesi 1),

$$d \leq 24 \text{ mm}, \quad d1 = d + 2 \text{ mm}$$

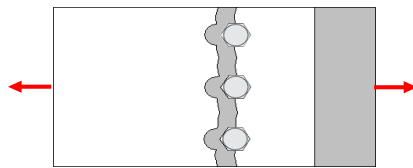
$$d > 24 \text{ mm} \quad d1 = d + 3 \text{ mm}$$

5.4 Bentuk Kegagalan (*Failure*) Sambungan Baut/Paku Keling.

Kekuatan sambungan dengan baut/paku keling dievaluasi dengan meninjau beberapa kemungkinan kegagalan. Kekuatan biasanya dihitung dengan mempertimbangkan jumlah lapis pelat/batang yang disambung. Ada empat cara kegagalan (*failure*) yang mungkin terjadi pada sambungan dengan baut/paku keling tunggal, yaitu :

a). Robeknya pelat pada daerah sambungan. (*Tearing failure of plates*)

Pelat penyambung robek akibat gaya tarik.



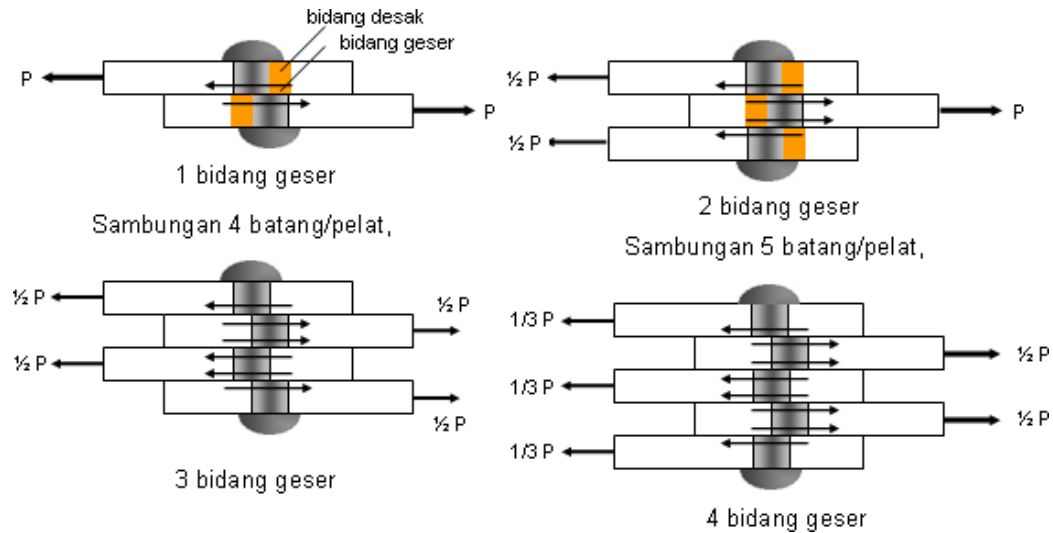
Gambar 5.11(a) : Sambungan pelat.



Gambar 5.11(b) : sambungan pada struktur rangka, profil siku.

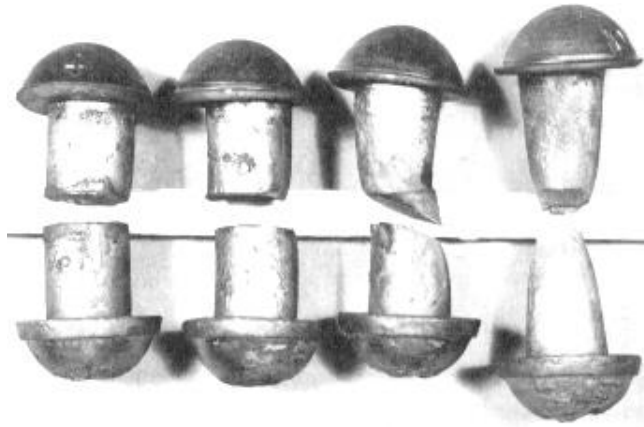
Sumber : Geoffrey L. Kulak, John W. Fisher, John H. A., "*Guide to Design Criteria for bolted and Riveted Joints*", 2 nd, AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, Inc. 2001 dalam Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "*MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA 1*", thamrinnst.wordpress.com, 2011

b). Keruntuhan geser pada baut/paku keling. (*Shear failure of bolts / rivets*).



Gambar 5.12 : Keruntuhan geser pada baut/paku dengan berbagai lapis pelat.

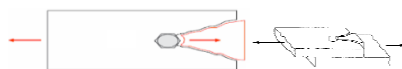
Sumber: Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA 1", thamrinnst.wordpress.com, 2011



Gambar 5.13 : Tipe fraktur antara tarik – geser.

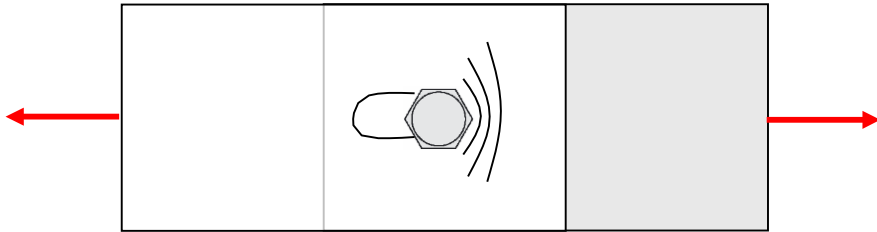
Sumber : Geoffrey L. Kulak, John W. Fisher, John H. A., "Guide to Design Criteria for bolted and Riveted Joints", 2 nd, AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, Inc. 2001 dalam Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA 1", thamrinnst.wordpress.com, 2011

c). Keruntuhan geser pada pelat yang disambung/penyambung. (*Shear failure of plate*).

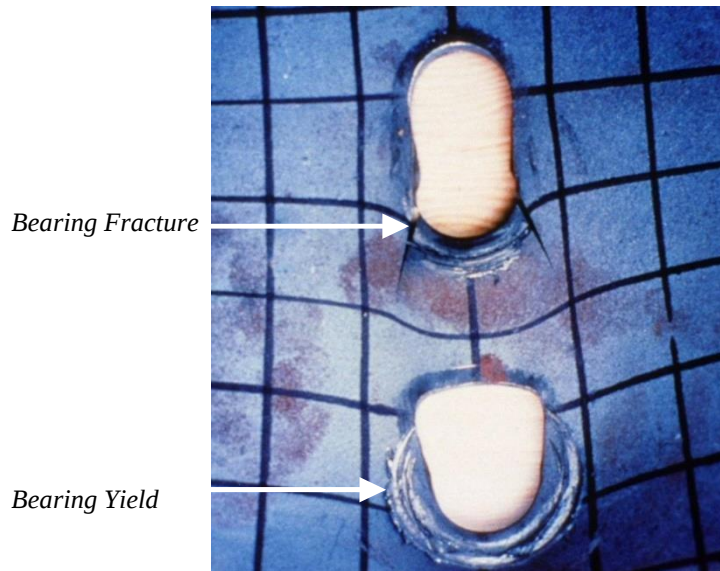


Gambar 5.14 : Tipe fraktur geser pada pelat.

- d). Keruntuhan tumpu pada pelat (*Bearing failure of plate*).



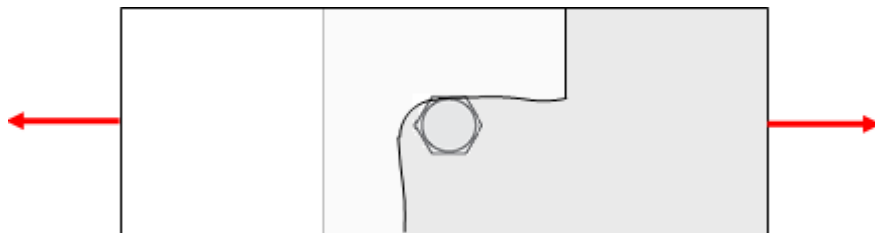
Gambar 5.15 : Tipe fraktur bidang tumpu pada pelat.



Gambar 5.16 : Tipe fraktur dan leleh bidang tumpu pada pelat.

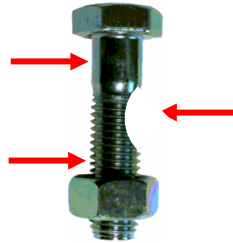
Sumber : AISC Presentation dalam Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA 1", thamrinnst.wordpress.com, 2011

- e). Keruntuhan blok geser pada pelat (*Shear block failure of plate*).



Gambar 5.17 : Tipe fraktur blok geser pada pelat.

- f). Keruntuhan tumpu pada baut (*Bearing failure of bolt*).



Gambar 5.18 : Tipe keruntuhan tumpu pada baut.

5.5 Kekuatan Sambungan Baut/Paku Keling

- a). Kekuatan Baut/Paku Keling.

SNI 03-1729-2002 pasal 13.2.2. menyatakan, suatu baut yang memikul gaya terfaktor,

R_u harus memenuhi syarat berikut,

$$R_u \leq \phi R_n \quad \dots\dots\dots (1)$$

Dimana,

ϕ = faktor reduksi kekuatan (tabel 6.4.2) = 0,75

R_n = kuat nominal baut.

Sesuai dengan cara bekerjanya baut maka baut dibedakan dalam dua type yaitu type friksi (*friction type*) dan type tumpu (*bearing type*). Pada baut type friksi, kekuatan baut didapat dari gesekan (*friction*) yang terjadi antar pelat atau batang yang disambung. Sedangkan pada baut type tumpu, kekuatan baut didapat dari adanya gaya tumpu pada bidang kontak antara baut dan pelat yang disambung, atau kemampuan menahan geseran pada penampang baut.

- b). Baut Tipe Friksi

Baut type ini sering dikenal dengan istilah *slip-critical connections* yaitu baut yang mengandalkan kekuatan slip antara permukaan batang yang disambung. Agar baut type ini bekerja maka diperlukan suatu alat yang dapat mengencangkan baut atau memberikan momen torsi pada baut sedemikian sehingga baut mengalami prategang tarik.

Pada sambungan tipe friksi yang menggunakan baut mutu tinggi yang slipnya dibatasi, satu baut yang hanya memikul gaya geser terfaktor, dalam bidang permukaan friksi harus memenuhi:

$$R_u \leq \phi R_n \quad \dots\dots (2)$$

Kuat geser mominal satu baut dalam sambungan tipe friksi yang ditentukan sebagai berikut:

$$R_n = 1,13 \mu.m.T_b \quad \dots\dots(3)$$

Dimana,

$\mu = 0,35$ koefisien gesek untuk bidang kontak dalam keadaan bersih.

m adalah jumlah bidang geser.

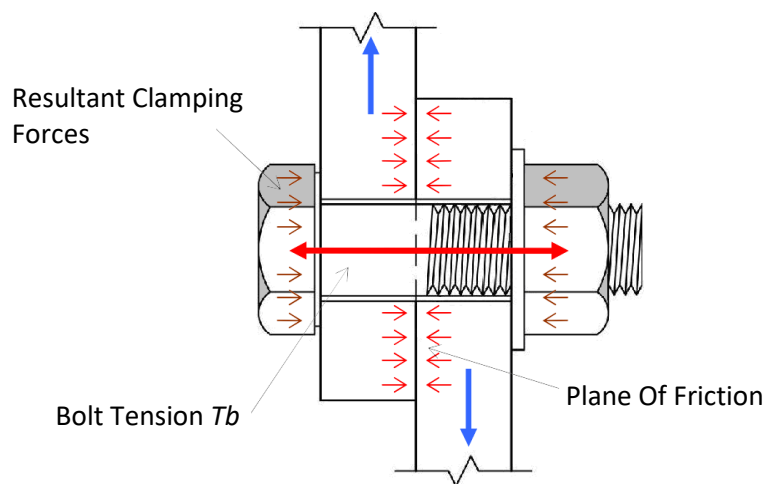
T_b adalah gaya tarik baut minimum, lihat tabel (3) diatas.

$\mu = 1,0$ untuk lubang standar.

$\mu = 0,85$ untuk lubang selot pendek dan lubang besar.

$\mu = 0,70$ untuk lubang selot panjang tegak lurus arah kerja gaya.

$\mu = 0,60$ untuk lubang selot panjang sejajar arah kerja gaya.



Gambar 5.19 : Gaya pretension pada Baut, T_b .

Baut pada sambungan yang slipnya dibatasi dan memikul gaya tarik terfaktor, T_u , harus memenuhi ketentuan diatas dengan kuat rencana slip $R_u = \phi R_n$ direduksi dengan factor:

$$\left[1 - \frac{T_u}{1,13T_b} \right] \dots\dots(4)$$

c). Baut Tipe Tumpu

Pada baut type tumpu, keruntuhan sambungan dapat terjadi karena keruntuhan geser pada baut atau keruntuhan tumpu pada elemen yang disambung seperti pelat/batang.

1) *Kekuatan Geser Nominal Baut/Paku Keling*

Kuat geser nominal yang diberikan oleh satu buah baut yang mengalami geser pada penampangnya adalah,

$$R_n = m \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \dots\dots(5)$$

Dimana,

m = jumlah bidang geser (lihat gambar 12).

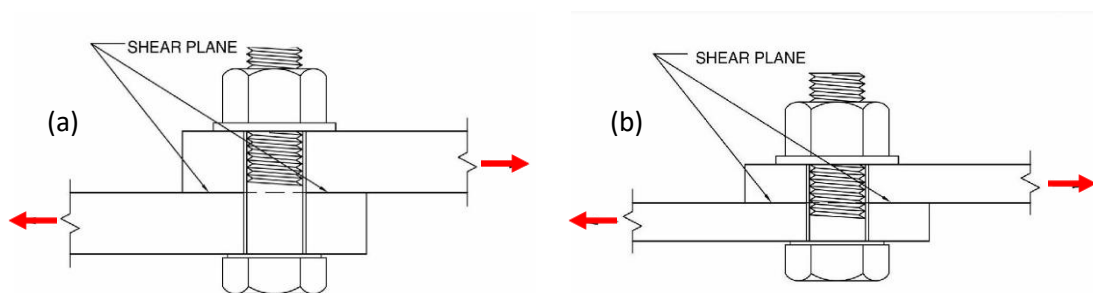
$r_1 = 0,5$ untuk bidang geser baut tak berulir.

$= 0,4$ untuk bidang geser baut berulir.

$= 0,6$ untuk paku keling.

f_u^b = kuat tarik putus baut (MPa).

A_b = luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir (mm²).



Gambar 5.20 : Bidang geser baut, gambar (a) $r_1 = 0,5$, gambar (b) $r_1 = 0,4$.
Untuk paku keling $r_1 = 0,6$.

2) *Kekuatan Tumpu Nominal*

Kekuatan tumpu nominal tergantung kepada kondisi terlemah antara baut dan pelat/batang yang disambung, dihitung dengan cara sebagai berikut,

$$R_n = n \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u$$

Dimana,

$n = 2,4$ berlaku untuk semua jenis lobang baut.

$= 2,0$ untuk lobang selot panjang tegak lurus arah kerja gaya.

d_b = diameter baut bagian tidak berulir (mm).

t_p = tebal pelat/batang terkecil (mm).

f_u = tegangan tarik putus baut/pelat/batang, sesuai mutu baja (MPa).

d). Kekuatan Tarik Nominal Baut

Baut yang memikul gaya tarik, kekuatan nominalnya dihitung sebagai berikut,

$$R_n = f_u^b \cdot A_b \quad \dots\dots\dots (7)$$

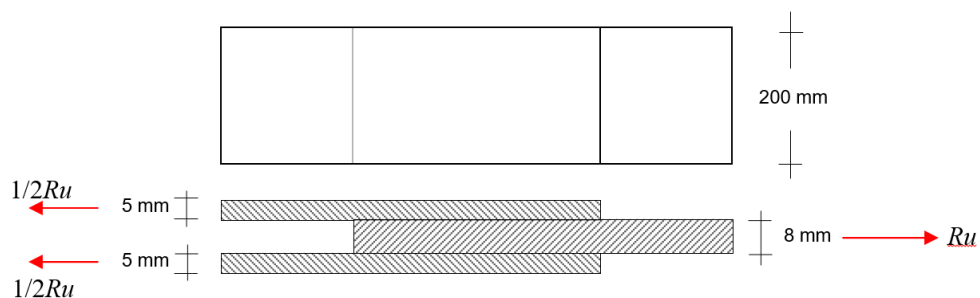
Dimana,

f_u^b = kuat tarik putus baut (MPa).

A_b = luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir (mm²).

5.6 Contoh Soal

- a. Sebuah sambungan terdiri dari dua buah pelat $\square 5 \times 200$ mm disambung dengan satu buah pelat $\square 8 \times 200$ mm, mutu baja BJ-37, seperti pada gambar dibawah mengalami gaya tarik sentris, yang terdiri dari muatan mati $D = 10$ ton, muatan hidup $L = 7$ ton. Sambungan menggunakan baut biasa dengan mutu BJ-37. Rencanakan sambungan tersebut, lakukanlah evaluasi terhadap kekuatannya.



PERENCANAAN

a). Tegangan izin Baja BJ-37

Baut, $f_y = 240 \text{ MPa}$.
 $f_u = 370 \text{ MPa}$.

Pelat, $f_y = 240 \text{ MPa}$.
 $f_u = 370 \text{ MPa}$.

b). Beban tarik terfaktor,

$$R_u = 1,2 D + 1,6 L = 1,2 \cdot (10 \text{ ton}) + 1,6 \cdot (7 \text{ ton}) = 23,2 \text{ ton} = 232,0 \text{ kN}.$$

c). Rencana baut.

Pakai baut diameter $d = 12 \text{ mm}$, diameter lobang $d1 = 12 \text{ mm} + 2 \text{ mm} = 14 \text{ mm}$.

c1). Tinjau terhadap kekuatan geser,

$$R_n = m \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b$$

Dimana,

$m = 2$ bidang geser

$r_1 = 0,4$ untuk bidang geser baut berulir.

$$A_b = \frac{1}{4} \pi d^2 = 0,25 \cdot (3,14) \cdot (12 \text{ mm})^2 = 113,04 \text{ mm}^2.$$

Maka,

$$R_n = (2) \cdot (0,4) \cdot (370 \text{ MPa}) \cdot (113,04 \text{ mm}^2) = 33459,8 \text{ N} = 33,46 \text{ kN}.$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot (33,46 \text{ Kn}) = 25,09 \text{ kN}.$$

c2). Tinjau terhadap kekuatan tumpu.

Tebal pelat terkecil $t_p = 8 \text{ mm}$.

$$R_n = n \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u$$

Dimana,

$n = 2,4$ berlaku untuk semua jenis lobang baut.

$d_b = 12 \text{ mm}$.

$t_p = 8 \text{ mm}$.

Maka,

$$R_n = (2,4) \cdot (12 \text{ mm}) \cdot (8 \text{ mm}) \cdot (370 \text{ MPa}) = 85248,0 \text{ N} = 85,25 \text{ kN}.$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot (85,25 \text{ kN}) = 63,94 \text{ kN}.$$

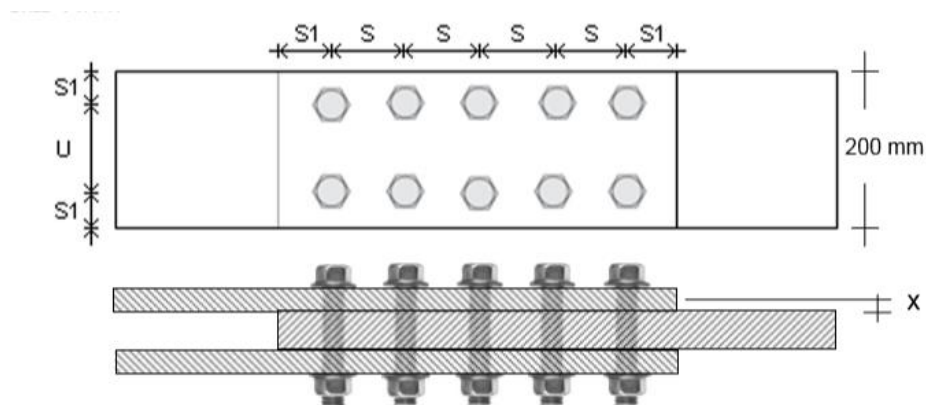
c3). Jumlah baut.

Yang menentukan adalah akibat geser, maka jumlah baut,

$$n_b = \frac{R_u}{\phi R_n} = \frac{232,0 \text{ kN}}{25,09 \text{ kN}} = 9,2 \text{ buah baut}$$

Rencanakan jumlah baut, $n_b = 10$ buah.

c4). Susunan baut.



Keterangan : $S1 = 2 d = 30 \text{ mm}$; $U = 140 \text{ mm}$; $S = 3 d = 40 \text{ mm}$

Gambar 5.21 : Sambungan pelat dengan pengikat baut.

EVALUASI

a). Baut.

Jumlah daya dukung 10 buah baut,

$$\bar{R}_u = 10 \cdot \phi R_n = 10 \cdot (25,09 \text{ kN}) = 250,9 \text{ kN} = 25,09 \text{ ton} > 23,2 \text{ ton.}$$

(memenuhi)

b). Pelat.

b1). Pemeriksaan terhadap syarat luas penampang minimum dan *shear leg*.

Luas penampang bruto,

$$A_b = (8 \text{ mm}) \cdot (200 \text{ mm}) = 1600 \text{ mm}^2.$$

Syarat luas penampang minimum,

$$\bar{A}_{nett} = 85\% \cdot A_b = 0,85 \cdot (1600 \text{ mm}^2) = 1360 \text{ mm}^2.$$

Luas penampang netto,

$$A_{net} = A_b - 2 \cdot d_1 \cdot t_p = 1600 \text{ mm}^2 - 2 \cdot (14 \text{ mm}) \cdot (8 \text{ mm})$$

$$= 1376 \text{ mm}^2 > \bar{A}_{nett} = 1360 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi).}$$

Shear leg,

$$x = 5 \text{ mm} / 2 = 2,5 \text{ mm.}$$

$$L = 4 S = 4 \cdot (40 \text{ mm}) = 160 \text{ mm.}$$

Koefisien reduksi,

$$U = 1 - x / L = 1 - (2,5 \text{ mm}) / 160 \text{ mm} = 0,98 > 0,9$$

$$U = 1,0 \text{ (lihat SNI 03-1729-2002, pasal 10.2.5)}$$

Maka,

$$A_e = A_{net} = 1376 \text{ mm}^2.$$

b2). Pemeriksaan terhadap daya dukung pelat pada daerah sambungan.

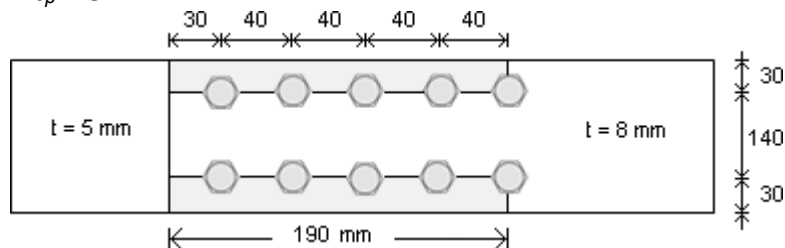
(Lihat Modul 3 Sesi 1).

$$\begin{aligned} R u &= \emptyset \cdot A_{net} \cdot f_u = (0,75) \cdot (1376 \text{ mm}^2) \cdot (370 \text{ MPa}) \\ &= 381840,0 \text{ N} = 381,84 \text{ kN} = 38,2 \text{ ton} > 23,2 \text{ ton} \\ &\text{(memenuhi)} \end{aligned}$$

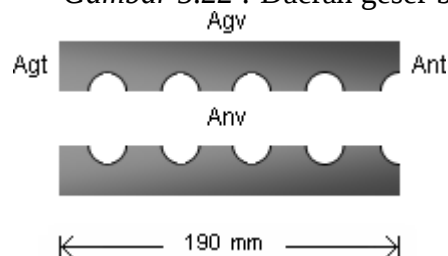
b3). Pemeriksaan terhadap geser blok.

Kondisi geser blok diperiksa untuk pelat sambungan dengan jumlah tebal terkecil,

$$t_p = 8 \text{ mm.}$$



Gambar 5.22 : Daerah geser blok pada sambungan.



Luas,

$$A_{gv} = 2 \cdot (190 \text{ mm}) \cdot (8 \text{ mm}) = 3040 \text{ mm}^2.$$

$$A_{nv} = 3040 \text{ mm}^2 - 2 \cdot (4\frac{1}{2}) \cdot (14 \text{ mm}) \cdot (8 \text{ mm}) = 2032 \text{ mm}^2.$$

$$A_{gt} = 2 \cdot (30 \text{ mm}) \cdot (8 \text{ mm}) = 480 \text{ mm}^2.$$

$$A_{nt} = 480 \text{ mm}^2 - 2 \cdot (\frac{1}{2}) \cdot (14 \text{ mm}) \cdot (8 \text{ mm}) = 368 \text{ mm}^2.$$

$$f_u \cdot A_{nt} = (370 \text{ MPa}) \cdot (368 \text{ mm}^2) = 136160 \text{ N}.$$

$$0,6 f_u \cdot A_{nv} = 0,6 \cdot (370 \text{ MPa}) \cdot (2032 \text{ mm}^2) = 451104 \text{ N}.$$

$$f_u \cdot A_{nt} < 0,6 f_u \cdot A_{nv},$$

Maka kondisi geser blok adalah geser fraktur dengan tarik leleh,

$$N_n = 0,6 f_u \cdot A_{nv} + f_y \cdot A_{gt}$$

$$= 0,6 \cdot (370 \text{ MPa}) \cdot (2032 \text{ mm}^2) + (240 \text{ MPa}) \cdot (480 \text{ mm}^2)$$

$$N_n = 566304 \text{ N} = 566,3 \text{ kN} = 56,63 \text{ ton} > 23,2 \text{ ton (memenuhi)}.$$

- b. Pada soal yang sama, apabila digunakan baut mutu tinggi ASTM A325, dengan diameter baut nominal 1/2" (12,7 mm), diameter lobang 9/16" (14,3 mm), berapakah jumlah baut yang diperlukan. Lakukan pemeriksaan apabila sambungan tipe tumpu dan tipe friksi.

Perencanaan:

- a). Kekuatan Baja.

- Pelat BJ-37, $f_y = 240 \text{ MPa}$. $f_u = 370 \text{ MPa}$.

- Baut ASTM A325, $f_u^b = 825 \text{ MPa}$

- b). Beban tarik terfaktor,

$$R_u = 1,2 D + 1,6 L = 1,2 \cdot (10 \text{ ton}) + 1,6 \cdot (7 \text{ ton}) = 23,2 \text{ ton} = 232,0 \text{ kN}.$$

- c). Sambungan tipe tumpu.

Rencana baut.

Diameter baut (1/2"), $d = 12,7 \text{ mm}$, diameter lobang

(9/16"), $d_l = 14,3 \text{ mm}$. c1). Tinjau terhadap kekuatan

geser,

$$R_n = m \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b$$

Dimana,

$$m = 2 \text{ bidang geser}$$

$r_1 = 0,4$ untuk bidang geser baut berulir.

$$Ab = \frac{1}{4} \pi d^2 = 0,25 \cdot (3,14) \cdot (12,7 \text{ mm})^2 = 166,94 \text{ mm}^2.$$

$$f_b^u = 825 \text{ MPa}$$

Maka,

$$Rn = (2) \cdot (0,4) \cdot (825 \text{ MPa}) \cdot (166,94 \text{ mm}^2) = 110180,4 \text{ N} = 110,18 \text{ kN}.$$

$$\phi Rn = 0,75 \cdot (110,18 \text{ kN}) = 82,64 \text{ kN} = 8,26 \text{ ton}.$$

c1). Tinjau terhadap kekuatan tumpu.

Tebal pelat terkecil $t_p = 8 \text{ mm}$.

$$Rn = n \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u$$

Dimana,

$n = 2,4$ berlaku untuk semua jenis lobang baut.

$$d_b = 12,7 \text{ mm}.$$

$$t_p = 8 \text{ mm}.$$

$$f_b^u = 825 \text{ MPa}.$$

Maka,

$$Rn = (2,4) \cdot (12,7 \text{ mm}) \cdot (8 \text{ mm}) \cdot (825 \text{ MPa}) = 201168,0 \text{ N} = 201,17 \text{ kN}$$

$$\phi Rn = 0,75 \cdot (201,17 \text{ kN}) = 150,88 \text{ kN} = 15,09 \text{ ton}.$$

c2). Jumlah baut.

Yang menentukan adalah akibat geser, maka jumlah baut,

$$n_b = \frac{R_u}{\phi R_n} = \frac{232,0 \text{ kN}}{82,64 \text{ kN}} = 2,8 \text{ buah}$$

Rencanakan jumlah baut, $n_b = 4$ buah (2 baris).

d). Sambungan tipe friksi.

$$Rn = 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b$$

Dimana,

$\mu = 0,35$ = koefisien gesek untuk bidang kontak dalam keadaan bersih.

$m = 2$ = adalah jumlah bidang geser

$T_b = 12 \text{ kips} = 53,4 \text{ kN}$ (gaya tarik baut minimum baut 1/2", lihat tabel 6 pada lampiran).

$\phi = 1,0$ = faktor reduksi kekuatan untuk lobang standar.

Maka,

$$R_n = 1,13 \cdot (0,35) \cdot (2) \cdot (53,4 \text{ kN}) = 42,24 \text{ kN}.$$

$$\phi R_n = (1,0) \cdot (42,4 \text{ kN}) = 42,24 \text{ kN} = 4,22 \text{ ton}.$$

Jumlah baut yang diperlukan pada sambungan tipe friksi,

$$n_b = \frac{R_u}{\phi R_n} = \frac{232,0 \text{ kN}}{42,24 \text{ kN}} = 5,5 \approx 6 \text{ buah}$$

e). Kesimpulan.

- Pada sambungan tipe tumpu, jumlah baut cukup hanya 4 buah baut.
- Pada sambungan tipe friksi, jumlah baut yang diperlukan sebanyak 6 buah, dengan catatan sambungan tidak boleh mengalami slip.
- Apabila ditinjau terhadap ekonomisasi, maka sambungan tipe tumpu lebih ekonomis.
- Apabila ditinjau terhadap kekuatan sambungan, maka sambungan tipe friksi tentu lebih kuat, sebab apabila terjadi slip maka sambungan tipe friksi berubah menjadi sambungan tipe tumpu dengan kekuatan yang lebih besar karena jumlah bautnya lebih banyak.

LAMPIRAN

Tabel 5.5 : Kekuatan nominal baut persatuan luas baut.

Applied Load Condition		Nominal Strength per Unit Area F_n , ksi	
		ASTM A325 or F1852 Bolt	ASTM A490 Bolt
Tension ^a	Static	90	113
	Fatigue	See Section 5.5	
Shear ^{a,b}	Threads included in shear plane	48	60
	Threads excluded from shear plane	60	75

^a Except as required in Section 5.2.

^b In shear *connections* that transmit axial force and have length between extreme bolts measured parallel to the line of force exceeds 50 in., tabulated values shall be reduced by 20 percent.

Sumber : "Specification for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts", RSCC c/o AISC, 2004.

Tabel 5.6 : Gaya tarik baut minimum untuk sambungan tipe friksi.

Nominal Bolt Diameter d_b , in.	Specified Minimum Bolt Pretension T_m , kips ^a	
	ASTM A325 and F1852 Bolts	ASTM A490 Bolts
$\frac{1}{2}$	12	15
$\frac{5}{8}$	19	24
$\frac{3}{4}$	28	35
$\frac{7}{8}$	39	49
1	51	64
$1\frac{1}{8}$	56	80
$1\frac{1}{4}$	71	102
$1\frac{3}{8}$	85	121
$1\frac{1}{2}$	103	148

^a Equal to 70 percent of the specified minimum tensile strength of bolts as specified in ASTM Specifications for tests of full-size ASTM A325 and A490 bolts with UNC threads loaded in axial tension, rounded to the nearest kip.

Sumber : "Specification for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts", RCSC c/o AISC, 2004.

Tabel 5.7 : Dimensi nominal lobang baut.

Nominal Bolt Diameter, d_b , in.	Nominal Bolt Hole Dimensions ^{a,b} , in.			
	Standard (diameter)	Oversized (diameter)	Short-slotted (width $\times$ length)	Long-slotted (width $\times$ length)
$\frac{1}{2}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{9}{16} \times \frac{11}{16}$	$\frac{9}{16} \times 1\frac{1}{4}$
$\frac{5}{8}$	$\frac{11}{16}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{11}{16} \times \frac{7}{8}$	$\frac{11}{16} \times 1\frac{9}{16}$
$\frac{3}{4}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{13}{16} \times 1$	$\frac{13}{16} \times 1\frac{7}{8}$
$\frac{7}{8}$	$\frac{15}{16}$	$1\frac{1}{16}$	$\frac{15}{16} \times 1\frac{1}{8}$	$\frac{15}{16} \times 2\frac{3}{16}$
1	$1\frac{1}{16}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{16} \times 1\frac{5}{16}$	$1\frac{1}{16} \times 2\frac{1}{2}$
$\geq 1\frac{1}{8}$	$d_b + \frac{1}{16}$	$d_b + \frac{5}{16}$	$(d_b + \frac{1}{16}) \times (d_b + \frac{3}{8})$	$(d_b + \frac{1}{16}) \times (2.5d_b)$

^a The upper tolerance on the tabulated nominal dimensions shall not exceed $\frac{1}{32}$ -in. Exception: In the width of slotted holes, gouges not more than $\frac{1}{16}$ -in. deep are permitted.

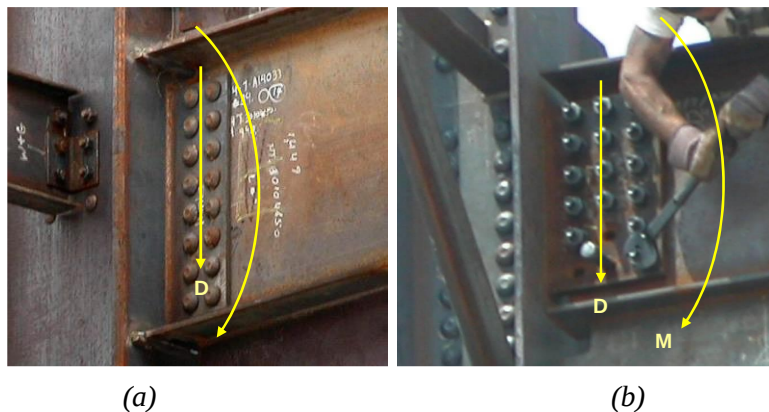
^b The slightly conical hole that naturally results from punching operations with properly matched punches and dies is acceptable.

Sumber : "Specification for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts", RCSC c/o AISC, 2004.

5.7 Kumpulan Baut/Paku Keling memikul Momen dan Gaya Lintang

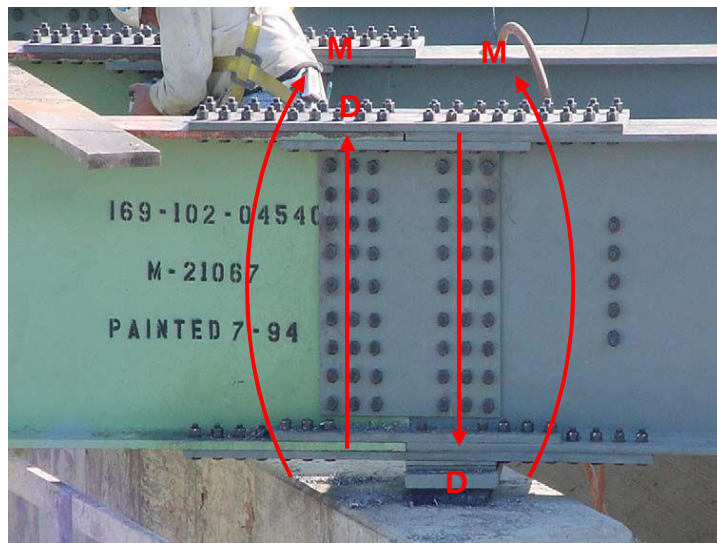
5.7.1 Jenis Sambungan Yang Memikul Momen dan Gaya Lintang.

Sambungan yang sering terdapat gaya dalam momen dan gaya lintang ditemukan pada struktur sambungan antara balok dan kolom, sambungan konsol pada kolom, juga terdapat pada sambungan balok gelagar, seperti terlihat gambar berikut ini.



Gambar 5.23 : Sambungan antara balok dengan kolom, (a) memakai paku keling, (b) memakai baut.

Sumber : AISC Presentation dalam Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA 1", thamrinnst.wordpress.com, 2011



Gambar 5.24 : Sambungan balok gelagar.

Sumber : Bridge Inspector's Reference Manual, U.S. Department of Transportation, Publication No. FHWA NHI 03-001 October, 2002, Revised December, 2006 dalam Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA 1", thamrinnst.wordpress.com, 2011

5.7.2 Analisis Elastis Kumpulan Baut/Paku Keling Memikul Momen.

Apabila suatu kumpulan baut/paku keling menahan momen terfaktor, maka setiap paku akan mendapat gaya yang besarnya sebanding dengan jarak dari titik pusat kumpulan paku ke paku yang bersangkutan, yang dihitung sebagai berikut, Momen,

$$M = K_1.r_1 + K_2.r_2 + \dots + K_n.r_n \dots\dots (8)$$

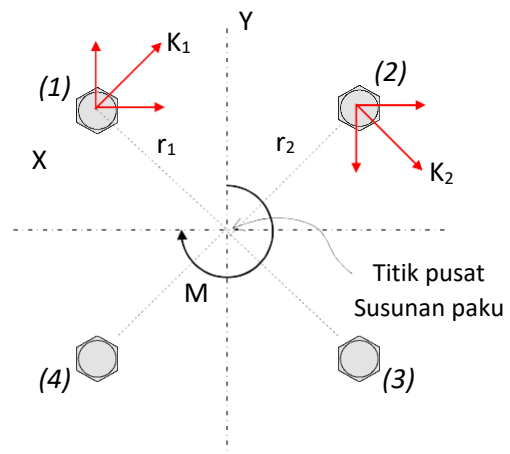
Dimana,

M = momen yang bekerja pada kumpulan baut.

K = gaya pada baut.

r = jarak antara baut dengan pusat berat kumpulan baut (menjadi lengan gaya K).

Perbandingan antara gaya K dengan jarak r ,



Gambar 5.25: Kumpulan baut/paku memikul momen.

$$\frac{K_1}{r_1} = \frac{K_2}{r_2} = \dots = \frac{K_n}{r_n} \quad \dots\dots\dots(9)$$

Untuk,

$$\frac{K_1}{r_1} = \frac{K_n}{r_n} \quad \text{maka,} \quad K_1 = \frac{r_1 \cdot K_n}{r_n} \quad \dots\dots\dots (10)$$

Analog,

$$K_2 = \frac{r_2 \cdot K_n}{r_n}$$

Dari (8), (9) dan (10) diperoleh,

$$M = \frac{r_1 \cdot K_n}{r_n} \cdot r_1 + \frac{r_2 \cdot K_n}{r_n} \cdot r_2 + \dots\dots\dots + \frac{r_n \cdot K_n}{r_n} \cdot r_n \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$M = \frac{K_n}{r_n} \cdot (r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + \dots + r_n^2)$$

maka,

$$M = \frac{K_n}{r_n} \sum_{i=1}^n r_i^2$$

dimana,

$$r_i^2 = x_i^2 + y_i^2$$

maka,

$$M = \frac{K_n}{r_n} \sum_{i=1}^n (x_i^2 + y_i^2) \quad \dots\dots\dots (12)$$

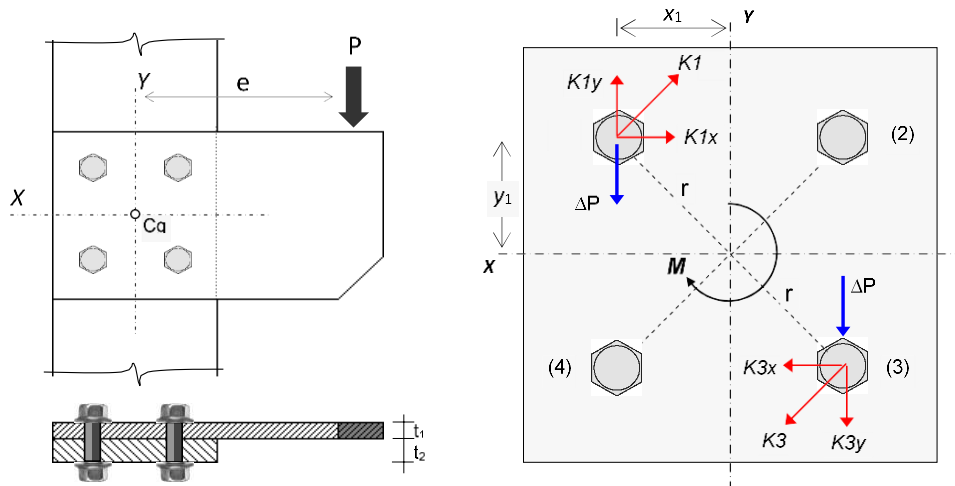
Resultan gaya pada paku ke n,

$$K_n = \frac{M \cdot r_n}{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i^2 + y_i^2)} \quad \dots\dots\dots (13)$$

Komponen gaya pada sumbu X dan Y pada paku ke n,

$$K_{nx} = \frac{M \cdot y_n}{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i^2 + y_i^2)} \quad ; \quad K_{ny} = \frac{M \cdot x_n}{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i^2 + y_i^2)} \quad \dots\dots\dots (14)$$

5.7.3 Analisis Elastis Kumpulan Baut/Paku Keling Memikul Momen Dan Gaya Lintang.



Gambar 5.26 : Struktur konsol memikul beban terfaktor P.

Komponen-komponen gaya terfaktor yang bekerja pada tiap paku,

- Akibat gaya lintang P,

$$\Delta P = \frac{P}{n}$$

dimana,

P = gaya yang bekerja.

n = jumlah paku

- Akibat momen lentur ($M = P \cdot e$), Pada paku no.1

Pada paku no.3,

$$K_{3x} = \frac{M \cdot y_3}{\sum_{i=1}^n (x_i^2 + y_i^2)} ; K_{3y} = \frac{M \cdot x_3}{\sum_{i=1}^n (x_i^2 + y_i^2)}$$

Catatan :

Arah komponen gaya keatas dan kekanan dianggap positif, arah komponen gaya kebawah dan kekiri dianggap negatif.

Besar resultan gaya pada tiap paku diberikan oleh persamaan berikut,

$$R = \sqrt{(K_x)^2 + (K_y + \Delta P_y)^2}$$

$$R_1 = \sqrt{(K_{1x})^2 + (K_{1y} - \Delta P_y)^2}$$

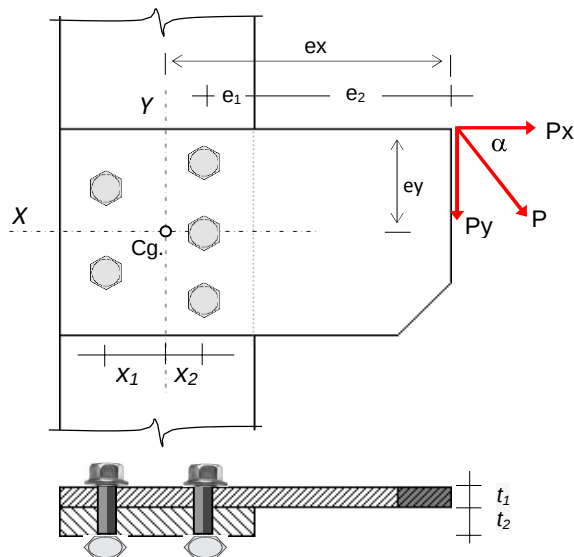
$$R_3 = \sqrt{(-K_{3x})^2 + (-K_{3y} - \Delta P_y)^2} \quad \dots\dots\dots (16)$$

Selanjutnya perhitungan gaya-gaya resultan seluruh baut/paku dapat dilakukan dengan menggunakan tabel sebagai berikut.

Tabel 5.8 : Perhitungan gaya resultan baut/paku.

No.	x(cm)	y(cm)	x ²	y ²	M.x	M.y	Kx	Ky	ΔPx	ΔPy	Rpk
1	X ₁	Y ₁	X ₁ ²	Y ₁ ²	M.X ₁	M.Y ₁					
2	X ₂	Y ₂	X ₂ ²	Y ₂ ²	M.X ₂	M.Y ₂					
3	X ₃	Y ₃	X ₃ ²	Y ₃ ²	M.X ₃	M.Y ₃					
4	X ₄	Y ₄	X ₄ ²	Y ₄ ²	M.X ₄	M.Y ₄					
			ΣX _i ²	ΣY _i ²							
$\Sigma X_i^2 + \Sigma Y_i^2$											

5.7.4 Jumlah dan susunan baut/paku tidak simetris satu arah.



Gambar 5.27 : Struktur konsol dengan susunan baut/paku tidak simetris satu arah.

Letak sumbu Y dapat dicari dengan cara statis momen, yaitu :

- statis momen terhadap sisi kiri,

$$(5pk).(x_1) = (3pk).(x_1+x_2)$$

$$x_1 = \frac{(3pk).(x_1+x_2)}{(5pk)} \quad \dots\dots\dots (17)$$

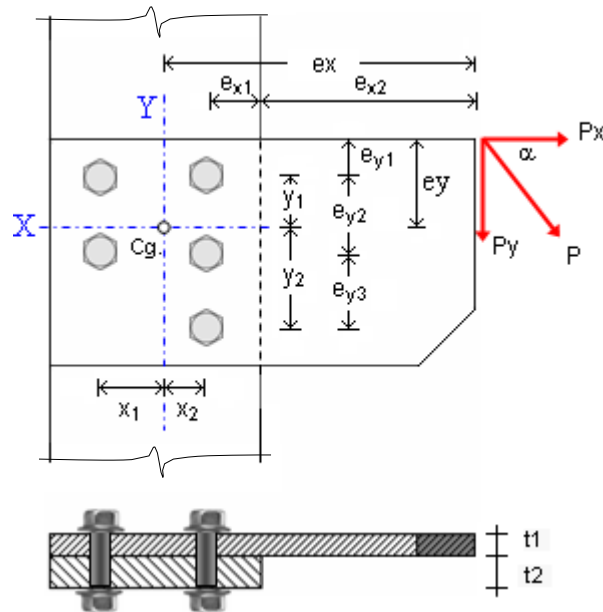
- statis momen terhadap sisi kanan,

$$(5pk).(x_2) = (2pk).(x_1+x_2)$$

$$x_2 = \frac{(2pk).(x_1+x_2)}{(5pk)} \quad \dots\dots\dots (18)$$

Maka eksentritas,
 $e_x = e_1 + e_2 + x_2 \quad \dots\dots (19)$

5.7.5 Jumlah dan susunan baut/paku tidak simetris dua arah.



Gambar 5.28 : Struktur konsol dengan susunan baut/paku tidak simetris dua arah.

Letak sumbu X dapat dicari dengan cara statis momen, yaitu :

- Statis momen terhadap sisi atas,

$$(5pk).(y_1) = (1pk).(e_{y2} + e_{y3}) + (2pk).(e_{y2})$$

$$y_1 = \frac{(1pk).(e_{y2} + e_{y3}) + (2pk).(e_{y2})}{(5pk)}$$
- statis momen terhadap sisi bawah,

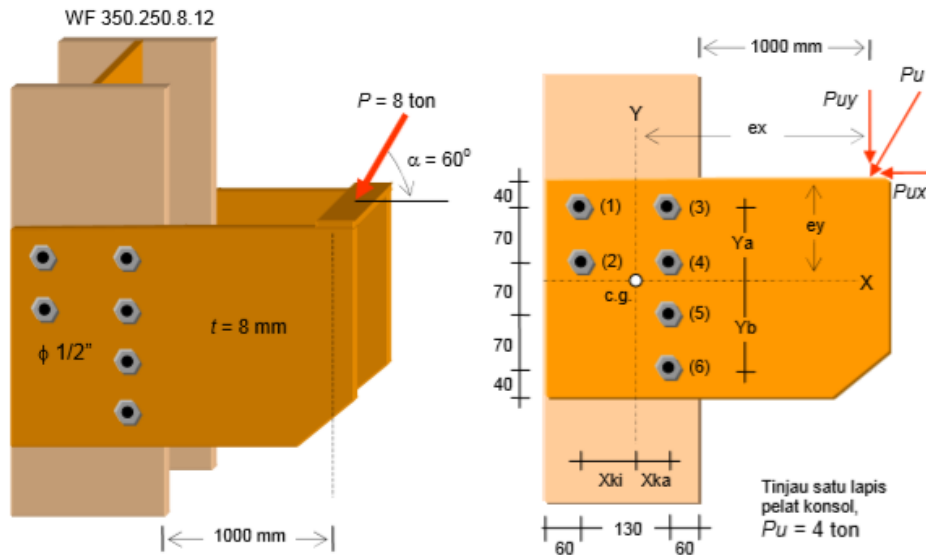
$$(5pk).(y_2) = (2pk).(e_{y2} + e_{y3}) + (2pk).(e_{y3})$$

$$y_2 = \frac{(2pk).(e_{y2} + e_{y3}) + (2pk).(e_{y3})}{(5pk)}$$

Maka eksentritas,

$$e_y = e_{y1} + y_1$$

Contoh Soal.



Gambar 5.29 : Struktur konsol dengan susunan baut dua arah.

Sebuah konstruksi pelat konsol memikul gaya terfaktor $P = 8$ ton dengan arah 60° dengan garis horisontal, disambung pada kolom WF 350.250.8.12 dengan memakai baut biasa dengan diameter $d_n = 1/2'' = 12,7$ mm. Sambungan tipe tumpu. Lakukanlah evaluasi sambungan ini apabila mutu BJ-37.

EVALUASI :

- a). Data-data, Bidang geser = 1

Tebal pelat terkecil $t = 8$ mm.

Diameter paku $d = 1/2'' = 12,7$ mm, diameter lobang $d_l = 14,7$ mm.

Mutu baja 37, $f_y = 240$ MPa., $f_u = 370$ MPa.

- b). Kekuatan nominal terfaktor baut pengikat (untuk satu baut).

Kekuatan nominal baut.

- Terhadap geser,

$$R_n = m \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b$$

dimana,

$$m = 1.$$

$$r_1 = 0,4 \text{ untuk bidang geser baut berulir.}$$

$$f_u^b = 370 \text{ MPa.}$$

$$A_b = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (12,7 \text{ mm})^2 = 126,613 \text{ mm}^2.$$

Maka,

$$R_n = (1) \cdot (0,4) \cdot (370 \text{ MPa}) \cdot (126,613 \text{ mm}^2) = 18738,7 \text{ N} = 187,39 \text{ kN.}$$

- Terhadap tumpu,

$$R_n = n \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u$$

Dimana,

$$n = 2,4$$

$$d_b = 12,7 \text{ mm.}$$

$$t_p = 8 \text{ mm.}$$

$$f_u = 370 \text{ MPa.}$$

Maka,

$$R_n = (2,4) \cdot (12,7 \text{ mm}) \cdot (8 \text{ mm}) \cdot (370 \text{ MPa}) = 90220,8 \text{ N} = 90,22 \text{ kN.}$$

(menentukan)

Kekuatan nominal terfaktor baut,

$$\phi R_n = (0,75) \cdot (90,22 \text{ kN}) = 67,67 \text{ kN} = 6,77 \text{ ton.}$$

c). Letak pusat berat susunan paku,

- Letak sumbu Y.

Statis momen terhadap sisi kiri,

$$(6 \text{ baut}) \cdot (X_{ki}) = (4 \text{ baut}) \cdot (130 \text{ mm})$$

$$X_{ki} = (4/6) \cdot (130 \text{ mm}) = 86,7 \text{ mm.}$$

Statis momen terhadap sisi kanan,

$$(6 \text{ baut}) \cdot (X_{ka}) = (2 \text{ baut}) \cdot (130 \text{ mm})$$

$$X_{ka} = (2/6) \cdot (130 \text{ mm}) = 43,3 \text{ mm.}$$

Kontrol :

$$X_{ki} + X_{ka} = 130 \text{ mm}$$

$$86,7 \text{ mm} + 43,3 \text{ mm} = 130 \text{ mm (memenuhi)}.$$

- Letak sumbu X.

Statis momen terhadap sisi atas,

$$(6 \text{ bt}).(Y_a) = (2 \text{ bt}).(70 \text{ mm}) + (1 \text{ bt}).(140 \text{ mm}) + (1 \text{ bt}).(210 \text{ mm})$$

$$Y_a = (140 \text{ mm} + 140 \text{ mm} + 210 \text{ mm})/(6) = 81,7 \text{ mm}$$

Statis momen terhadap sisi bawah,

$$(6 \text{ bt}).(Y_b) = (2 \text{ bt}).(210 \text{ mm}) + (2 \text{ bt}).(140 \text{ mm}) + (1 \text{ bt}).(70 \text{ mm})$$

$$Y_b = (420 \text{ mm} + 280 \text{ mm} + 70 \text{ mm})/(6) = 128,3 \text{ mm}$$

Kontrol :

$$Y_a + Y_b = 210 \text{ mm}$$

$$81,7 \text{ mm} + 128,3 \text{ mm} = 210 \text{ mm (memenuhi)}.$$

d). Eksentrisitas gaya terhadap titik berat susunan baut,

$$e_x = 1000 \text{ mm} + 60 \text{ mm} + X_{ka} = 1000 \text{ mm} + 60 \text{ mm} + 43,3 \text{ mm} = 1103,3 \text{ mm}.$$

$$e_y = 40 \text{ mm} + Y_a = 40 \text{ mm} + 81,7 \text{ mm} = 121,7 \text{ mm}.$$

e). Besar gaya dan momen,

$$P_u = P/2 = 8 \text{ ton}/2 = 4 \text{ ton} = 40 \text{ kN}.$$

$$P_{ux} = P_u \cos 60^\circ = (4) \cdot \cos 60^\circ = 2,0000 \text{ ton} = 2000,0 \text{ kg (kekiri)}.$$

$$P_{uy} = P_u \sin 60^\circ = (4) \cdot \sin 60^\circ = 3,4641 \text{ ton} = 3464,1 \text{ kg (kebawah)}.$$

$$M = P_{uy} \cdot e_x - P_{ux} \cdot e_y = (3464,1 \text{ kg}).(110,33 \text{ cm}) - (2000,0 \text{ kg}).(12,17 \text{ cm})$$

$$M = 357854,3 \text{ kg.cm (putar kanan)}.$$

$$\Delta P_x = P_x/n = 2000,0/6 = 333,3 \text{ kg (kekiri)}.$$

$$\Delta P_y = P_y/n = 3464,1/6 = 577,4 \text{ kg (kebawah)}.$$

f). Resultan gaya.

Perhitungan resultan gaya yang bekerja pada baut dilakukan dengan menggunakan tabel seperti berikut,

Tabel 5.9 : Perhitungan resultan gaya pada baut.

No.	x (cm)	y (cm)	x ²	y ²	Momen (kg.cm)	M.x	M.y
1	8.67	8.17	75.17	66.75	357854	3102597.1	2923669.9
2	8.67	1.17	75.17	1.37	357854	3102597.1	418689.6
3	4.33	8.17	18.75	66.75	357854	1549509.3	2923669.9
4	4.33	1.17	18.75	1.37	357854	1549509.3	418689.6
5	4.33	5.83	18.75	33.99	357854	1549509.3	2086290.8
6	4.33	12.83	18.75	164.61	357854	1549509.3	4591271.1
			225.33	334.83			
			$\Sigma x^2 + y^2$	560.17			

No.	Kx (kg)	Ky (kg)	ΔPx (kg)	ΔPy (kg)	R _{baut} (kg)
1	5219.3	5538.7	-333.3	-577.4	6963.3
2	747.4	5538.7	-333.3	-577.4	4978.6
3	5219.3	-2766.2	-333.3	-577.4	5920.4
4	747.4	-2766.2	-333.3	-577.4	3369.1
5	-3724.4	-2766.2	-333.3	-577.4	5257.8
6	-8196.3	-2766.2	-333.3	-577.4	9161.5

g). Simpulan dan Saran.

Simpulan

Resultan gaya pada baut no.1 dan no.6 telah melampaui kekuatan nominal terfaktor baut, yaitu R_{baut} no.1 dan no.2 $> \phi R_n = 6077$ kg, oleh karena itu pada lokasi kedua baut ini akan mengalami kegagalan tumpu (*bearing failure*).

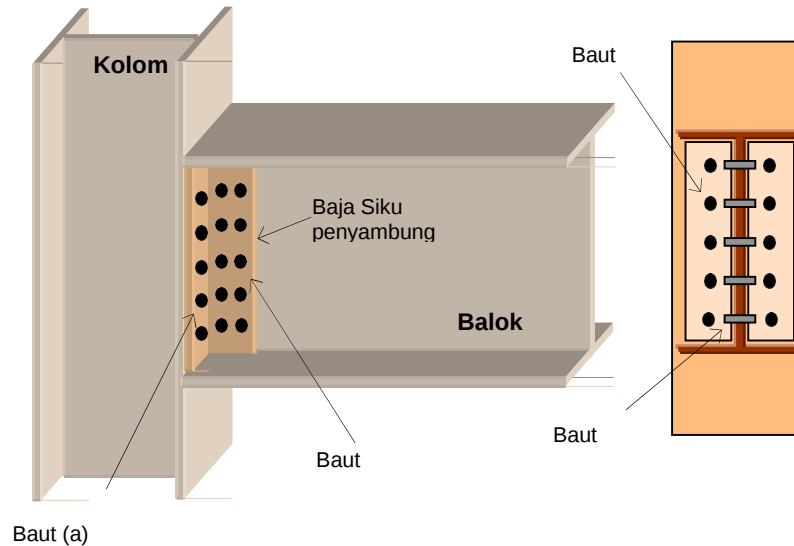
Saran

Langkah-langkah yang dapat dilakukan untuk mengatasinya adalah,

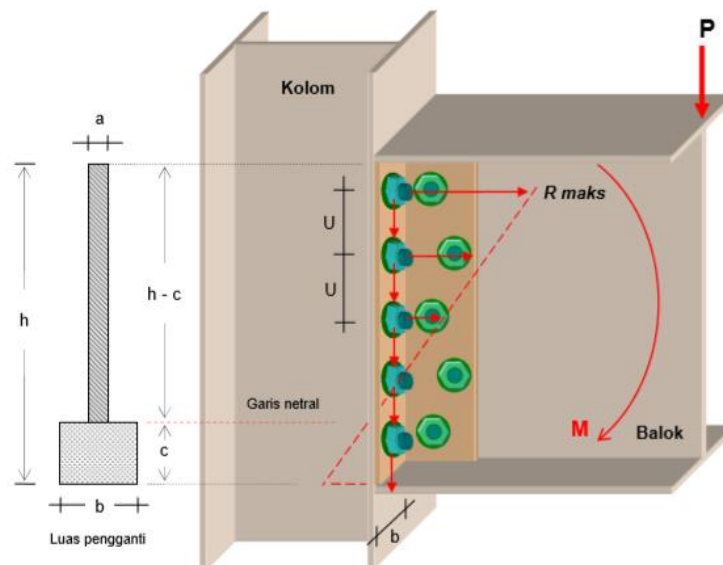
- Memperbesar diameter baut.
- Menambah jumlah baut.
- Memperbesar tebal pelat konsol.

5.7.6 Analisis Elastis Sambungan Baut/Paku Keling Menahan Gaya Tarik Aksial dan Geser Akibat Momen dan Gaya Lintang.

Sambungan dimana baut pengikat mengalami tarik dan geser dijumpai pada hubungan balok dan kolom seperti gambar berikut,



Gambar 5.30 : Sambungan balok dengan kolom.



Gambar 5.31: Baut (a) paling atas , mengalami tarikan maksimum akibat adanya momen yang dihasilkan gaya terpusat P, baut ini juga mengalami gaya geser.

Sumber: Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA 1", thamrinnst.wordpress.com, 2011

Pada kasus kumpulan baut (a) seperti gambar diatas, baut/paku keling mengalami tarikan pada sebelah atas garis netral dan tekanan pada baut/paku sebelah bawah garis netral. Dengan adanya baja siku penyambung, maka bagian tekan dapat dipikul baja siku tersebut. Untuk menghitung tegangan-tegangan yang bekerja pada kumpulan paku ini digambarkan luas pengganti, dimana bagian tarik terdiri dari luas baut/paku rata-rata dan bagian tekan terdiri dari luas sayap baja siku, untuk satu baris baut/paku,

$$a = \frac{\text{luas baut}}{\text{jarak baut}} = \frac{\frac{1}{4} \pi d^2}{U} \dots\dots\dots (23)$$

Letak garis netral,

$$\frac{1}{2} \cdot a \cdot (h - c)^2 = \frac{1}{2} \cdot b \cdot c^2$$

Atau,

$$\frac{c}{h-c} = \left(\frac{a}{b}\right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (24)$$

Atau,

$$(\frac{1}{2} \cdot b - \frac{1}{2} \cdot a) \cdot c^2 + a \cdot h \cdot c - \frac{1}{2} \cdot a \cdot h^2 = 0 \dots\dots\dots (26)$$

Biasanya dalam masalah-masalah praktis $c/(h-c)$ bervariasi antara $1/4$ sampai $1/8$ dan umumnya diambil $1/6$. Berarti letak garis netral berada $h/7$ dari ujung bagian yang tertekan. (TY. Lin, Design Of Steel Structure, page 161)

Momen inertia luas pengganti,

$$I = \frac{b \cdot c^3}{3} + \frac{a \cdot (h-c)^3}{3} \dots\dots\dots (27)$$

Tegangan tarik maksimum yang terjadi pada baut/paku paling atas (1 baris),

$$f_t = \frac{(M/2) \cdot (h-c)}{I} \dots\dots\dots (28)$$

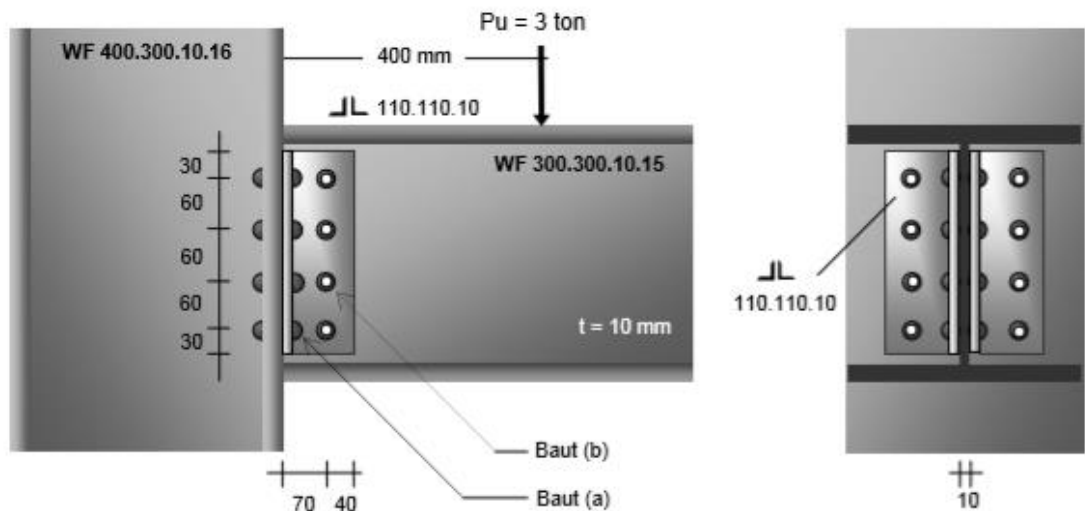
Gaya tarik terfaktor,

$$Ru = Ab \cdot f_t \dots\dots\dots (29)$$

Dimana,

Ab = luas penampang baut paling atas (1 baris).

Contoh Soal :



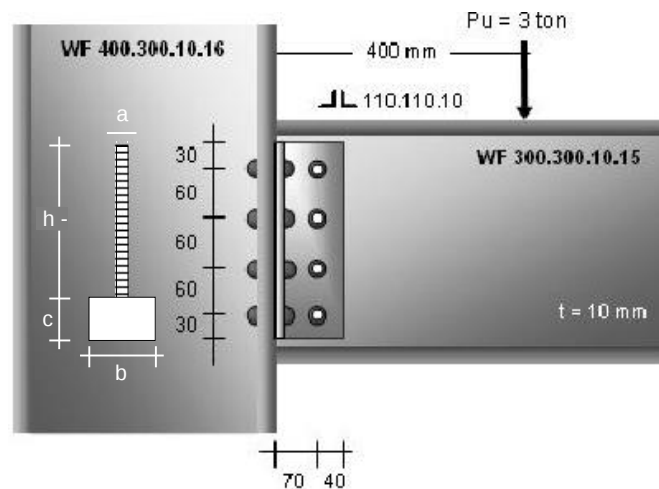
Gambar 5.32 : Sambungan balok-kolom

Sumber: Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA 1", thamrinnst.wordpress.com, 2011

Diketahui sambungan balok (WF 300.300.10.15) dengan kolom (WF 400.300.10.16) menggunakan pelat siku sama kaki ganda $\angle 110.110.10$, memikul beban terfaktor sebesar $P_u = 3 \text{ ton}$.

Digunakan baut biasa dengan diameter $d = 1/2''$, dan mutu baja BJ-34.

Lakukanlah evaluasi terhadap baut (a) dan baut (b). Ambil $c = h/7$.



Gambar 5.33 : Sambungan balok-kolom

Sumber: Ir. Thamrin Nasution, Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM, "MODUL KULIAH STRUKTUR BAJA 1", thamrinnst.wordpress.com, 2011

EVALUASI :

a). Data-data.

$$P = 3 \text{ ton.}$$

Diameter baut $d = \frac{1}{2}'' = 12,7 \text{ mm}$, diameter lobang $d_l = 14,7 \text{ mm}$.

Tebal pelat terkecil, $t = 10 \text{ mm}$.

Mutu Baja BJ-34, $f_y = 210 \text{ MPa}$, $f_u = 340 \text{ Mpa}$

$h = 240 \text{ mm}$; $b = 110 \text{ mm}$;

$$c = h/7$$

b). Kumpulan baut (a).

b1). Kekuatan tarik nominal terfaktor baut.

Kekuatan tarik nominal,

$$R_n = f_u^b . A_b$$

Dimana,

$$f_u^b = 340 \text{ MPa.}$$

$$A_b = \frac{1}{4} . \pi . d^2 = (\frac{1}{4}) . (3,14) . (12,7 \text{ mm})^2 = 126,61 \text{ mm}^2.$$

Maka,

$$R_n = (340 \text{ MPa}) . (126,6 \text{ mm}^2) = 43047,4 \text{ N} = 43,047 \text{ kN.}$$

Kekuatan nominal terfaktor,

$$\phi R_n = (0,75) \cdot (43047,4 \text{ N}) = 32285,6 \text{ N} = 32,286 \text{ kN} = 3,229 \text{ ton}.$$

b2). Luas pengganti.

Lebar bagian tertarik,

$$a = \frac{\text{luas paku}}{\text{jarak paku}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2}{U} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (12,7 \text{ mm})^2}{(60 \text{ mm})} = 2,1 \text{ mm}$$

Letak garis netral,

$$c = h/7 = 240/7 = 34,3 \text{ mm}.$$

Momen inertiya luas pengganti,

$$\begin{aligned} I &= \frac{b \cdot c^3}{3} + \frac{a \cdot (h - c)^3}{3} \\ I &= \frac{(110 \text{ mm})(34,3 \text{ mm})^3}{3} + \frac{(2,1 \text{ mm})(240 \text{ mm} - 34,3 \text{ mm})^3}{3} \\ &= 1479632,3 \text{ mm}^4 + 6092575,4 \text{ mm}^4 \\ &= 7572207,7 \text{ mm}^4 = 757,2 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

b3). Gaya tarik maksimum yang terjadi pada satu paku paling atas (1 baris),

Tegangan tarik maksimum,

$$f_t = \frac{(M/2) \cdot (h - c)}{I} \text{ MPa}$$

dimana,

$$M/2 = (30000 \text{ N}) \times (400 \text{ mm})/2 = 6000000 \text{ N.mm}.$$

$$h = 240 \text{ mm}.$$

$$c = 34,3 \text{ mm}.$$

$$I = 7572207,7 \text{ mm}^4.$$

Maka,

$$f_t = \frac{(6.000.000 \text{ Nmm}) \cdot (240 \text{ mm} - 34,3 \text{ mm})}{7572207,7 \text{ mm}^4} = 163 \text{ MPa}$$

Gaya tarik maksimum,

$$R_{maks} = f_t \cdot A_b = (163 \text{ MPa}) \cdot (126,61 \text{ mm}^2) = 20636,7 \text{ N} = 20,637 \text{ kN}.$$

$$R_{maks} < \phi R_n \text{ (memenuhi)}$$

c). Kumpulan baut (b).

Sambungan tipe tumpu, baut diameter $d = 1/2'' = 12,7 \text{ mm}$.

c1). Tinjau terhadap kekuatan geser,

$$R_n = m \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b$$

Dimana,

$m = 2$ bidang geser

$r_1 = 0,4$ untuk bidang geser baut berulir.

$$A_b = \frac{1}{4} \pi d^2 = 0,25 \cdot (3,14) \cdot (12,7 \text{ mm})^2 = 126,61 \text{ mm}^2.$$

Maka,

$$R_n = (2) \cdot (0,4) \cdot (340 \text{ MPa}) \cdot (126,61 \text{ mm}^2) = 34437,9 \text{ N} = 34,438 \text{ kN}.$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot (34437,9 \text{ kN}) = 25828,4 \text{ N} = 25,838 \text{ kN}.$$

c2). Tinjau terhadap kekuatan tumpu. Tebal pelat terkecil $t_p = 10 \text{ mm}$.

$$R_n = n \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u$$

Dimana,

$n = 2,4$ berlaku untuk semua jenis lobang baut.

$d_b = 12,7 \text{ mm}$.

$t_p = 10 \text{ mm}$.

Maka,

$$R_n = (2,4) \cdot (12,7 \text{ mm}) \cdot (10 \text{ mm}) \cdot (340 \text{ MPa}) = 103632,0 \text{ N} = 103,632 \text{ kN}.$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot (103632,0 \text{ N}) = 77724,0 \text{ N} = 77,724 \text{ kN}.$$

c3). Perhitungan resultan gaya pada baut. $e_x = 400 \text{ mm} - 70 \text{ mm} = 330 \text{ mm}$.

$$P = 3000 \text{ kg}.$$

$$\Delta P_y = P/n = (3000 \text{ kg})/4 = 750 \text{ kg (kebawah)}.$$

$$M = P \cdot e_x = (3000 \text{ kg}) \cdot (33 \text{ cm}) = 99000 \text{ kg.cm}.$$

Tabel 5.10 : Perhitungan resultan gaya baut.

No. Baut	x (cm)	y (cm)	x ² (cm ²)	y ² (cm ²)	M (kg.cm)	M.x (kg.cm ²)	M.y (kg.cm ²)	Kx (kg)
1	0	9	0	81	99000.0	0	891000.0	4950.0
2	0	3	0	9	99000.0	0	297000.0	1650.0
3	0	3	0	9	99000.0	0	297000.0	-1650.0
4	0	9	0	81	99000.0	0	891000.0	-4950.0
Σ			0	180				
			Σ (x ² + y ²)		180			

Ky (kg)	Δ Py (kg)	Rbaut (kg)
0	-750.0	5006.5
0	-750.0	1812.5
0	-750.0	1812.5
0	-750.0	5006.5

d). Simpulan dan Saran.

Simpulan

- Baut (a) aman terhadap tarik.
- Baut (b), untuk no.1 dan no.4 tidak aman terhadap geser.

Saran

Langkah-langkah yang dapat dilakukan untuk mengatasi baut (b) adalah,

- Memperbesar diameter baut.
- Menambah jumlah baut.
- Menaikkan mutu baut yang dipakai.