

STUDI STABILITAS PADA SISTEM PORTAL BAJA BERPENGAKU EKSENTRIK (ECCENTRICALLY BRACED FRAME)

Oleh

Yan Parta Wijaya

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Padang
Kampus Limau Manis Padang

ABSTRAK

Perilaku Portal dengan pengaku eksentris (Eccentrically Braced Frame) bertujuan untuk mengetahui sejauh mana besarnya peyerapan energi dan menentukan model serta penempatan link yang paling efektif terhadap portal yang mengalami pembebanan secara siklik Pada portal dianalisis penempatan penyerapan energi apakah berada pada link untuk memastikan bahwa elemen selain link tetap berperilaku elastis saat elemen link telah mencapai kelelahan, juga dilakukan pengecekan terhadap kemungkinan terjadinya tekuk pada bresing yang memberikan hasil bahwa sistim portal berpengaku eksentrik memberikan nilai lebih bila dibanding dengan sistim lainnya

Kata Kunci : Stabilitas System Portal, Pengaku Eksentrik

PENDAHULUAN

Perilaku struktur pada sistem *Momen Resisting frame* (MRF) dan Sistem *Concentrically Braced Frame* (CBF) frame yang tanpa berpengaku dan berpengaku Kosentris dijadikan dasar untuk mengetahui Perilaku dan stabilitas pada sistem portal baja dengan berpengaku eksentrik (*Eccentrially Braced Frame*)

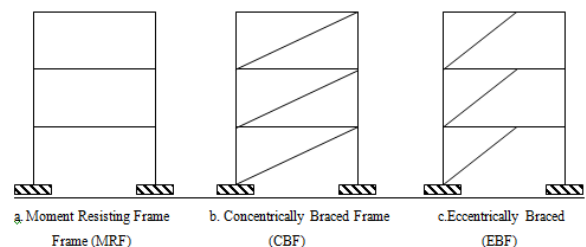
Analisis dibatasi pada sistem berpengaku eksentrik dengan dengan berbagai jenis konfigurasi pengaku eksentrik yang diberikan pada portal bertujuan untuk melihat perilaku struktur dan berapa besar energi yang diserap oleh sistem dan bentuk konfigurasi mana yang paling baik dalam penyerapan energi untuk stabilitas struktur.

TINJAUAN PUSTAKA

Jenis portal :

- a. Portal penahan momen atau *Moment Resisting Frame* (MRF)
- b. Portal dengan elemen pengaku atau *braced frame* (BF), dibagi 2:

- berpengaku eksentrik atau EBF
- berpengaku konsentrik atau CBF



Gambar 1 Konfigurasi sistem portal

Moment Resisting Frame (MRF)

Keuntungan : portal yang cukup sederhana yang tidak akan mengganggu penempatan arsitektural bangunan seperti dinding, jendela, ventilasi, dan bagian-bagian bangunan lainnya.

Kelemahan :

- Daktilitasnya rendah karena kemampuan untuk menyerap energi akibat beban gempa sangat kurang.
- Selain itu kekakuan jenis sistem portal ini sangat tidak kaku

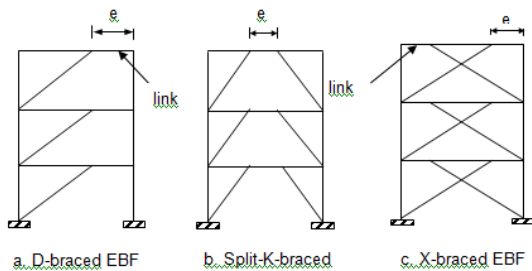
Centrically Braced Frame (CBF)

Keuntungan:

Sistem ini mempunyai kekakuan yang sangat bagus (dibandingkan dengan EBF dan MRF)

Kelemahan:

Daktilitasnya lebih rendah dibandingkan dengan EBF.



Gambar 2 Konfigurasi sistim portal berpengaku konsentrik

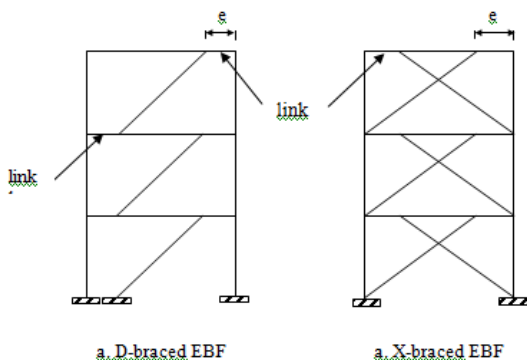
Eccentrically Braced Frame (EBF)

Keuntungan:

Daktilitasnya lebih baik dibandingkan dengan CBF.

Kelemahan:

- Sistem ini mempunyai kekakuan yang lebih rendah dari CBF
- arsitekturalnya, yaitu akan menyulitkan dalam penempatan dinding, jendela dan bagian bangunan lainnya.



Gambar 3 Konfigurasi sistim portal berpengaku Isentrik

Perilaku link

Perilaku link (ditentukan oleh panjang pendeknya elemen link):

- moment link (Englekirk Flexural EBF)
- shear link (Popov Shear EBF)

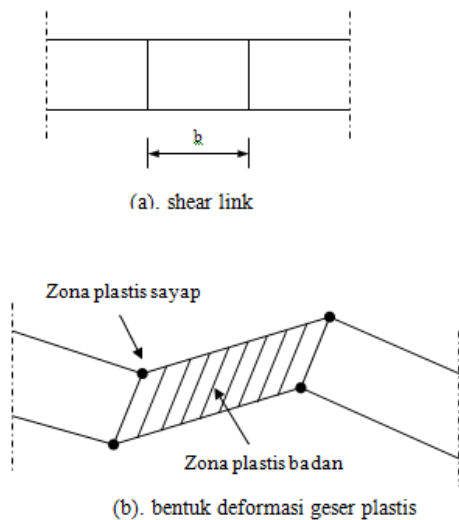
Berdasarkan kajian yang telah dilakukan perilaku link sebagai shear link terbukti memberikan tingkat disipasi energi yang lebih besar jika dibandingkan dengan moment link, hal ini disebabkan oleh leleh geser yang dimiliki oleh shear link mempunyai nilai daktilitas dan kapasitas inelastik yang tinggi.

Kekakuan lateral suatu portal EBF adalah fungsi utama dari perbandingan panjang link dengan panjang balok yang dimilikinya (e/L). Semakin pendek link, perilaku akan semakin kaku mendekati perilaku portal sistem CBF. Sebaliknya semakin panjang elemen link, kekakuan portal akan semakin berkurang mendekati portal sistem MRF.

Kekakuan lateral suatu struktur dengan sistem EBF bergantung dari dimensi penampang dan parameter topologi, yaitu e/L dan h/L . Koefisien eksentrisitas e/L pada sistem EBF memberikan suatu spektrum yang menerus mulai dari perilaku CBF ($e/L = 0$) sampai perilaku MRF ($e/L = 1$).

Seperti telah dijelaskan di atas bahwa elemen link berguna untuk mendisipasi energi gempa, maka elemen tersebut harus direncanakan secara khusus agar fungsi tersebut dapat tercapai. Untuk mencapai fungsi ini perencanaan elemen link harus memperhatikan bahwa elemen-elemen lain diluar link harus tetap berperilaku elastis saat elemen link telah mencapai kelelahan.

Terjadinya plastifikasi yang berpusat di elemen link akan memberikan nilai daktilitas yang relatif tinggi pada sistem portal EBF. Hal ini karena elemen link mempunyai kapasitas inelastik yang relatif tinggi bila dibandingkan dengan elemen-elemen lainnya. Plastifikasi yang terjadi pada link disebabkan oleh kombinasi geser dan momen yang bekerja pada kedua ujungnya. Berdasarkan kedua gaya yang bekerja ini sifat keruntuhan link secara garis besar dapat dibagi menjadi yaitu keruntuhan akibat geser dan keruntuhan akibat momen.

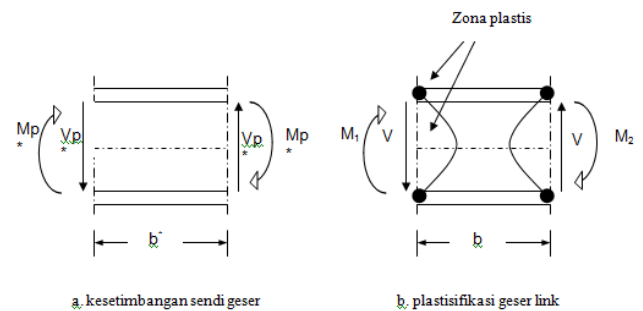


Gambar 4 Pembentukan sendi

Plastifikasi geser

Plastifikasi geser yang terjadi pada link ditandai dengan terbentuknya sendi plastis geser pada kondisi beban batas, yaitu V_p^* pada badan dan M_p^* pada sayap, seperti terlihat pada Gambar 5. Mekanisme terbentuknya sendi plastis geser pada elemen link dimulai ketika pada kedua ujungnya bekerja suatu gaya kopel sebesar V . Kedua gaya geser tersebut secara otomatis menimbulkan momen pada kedua ujung link, yaitu sebesar M_1 dan M_2 seperti terlihat pada Gambar 5. Apabila

diasumsikan M_1 lebih besar dari M_2 , dan gaya-gaya tersebut bertambah besar sehingga melewati kondisi batas maka kelelahan pertama akan terjadi pada ujung link sebelah kiri. Ketika gaya terus bertambah maka kelelahan selanjutnya akan berpindah dari ujung sebelah kiri ke ujung sebelah kanan, hal ini terjadi karena ujung sebelah kiri telah tercapai kapasitas gesernya. Seiring dengan bertambahnya gaya, maka plastifikasi ini akan merambat sepanjang zona plastis dari flange (sayap) dan web (badan). Perambatan plastifikasi terjadi karena adanya retribusi momen pada kedua ujung link. Ketika seluruh penampang link (sayap dan badan) telah mengalami plastifikasi, maka tercapailah kondisi $M_1 = M_2 = M_p$ dan $V = V_p$.



Gambar 5 Keseimbangan dan plastisifikasi

Dengan analisis penampang berdasarkan M_p^* dan V_p^* ini, panjang maksimum link dapat diketahui, dimana M_p^* dan V_p^* diperoleh dari hubungan:

$$V_p^* = \tau_y \cdot (h - t_f) \cdot t_w$$

$$M_p^* = \sigma_y \cdot (b_f - t_w) \cdot t_f \cdot (h - t_f)$$

dimana:

- V_p^* = kuat geser plastis link
- τ_y = tegangan geser izin penampang
- M_p^* = kuat momen plastis link
- σ_y = tegangan normal izin penampang

selanjutnya dengan meninjau keseimbangan sistem, panjang link dapat ditentukan dari persamaan:

$$b^* = \frac{2Mp^*}{Vp^*}$$

dimana b^* adalah panjang link pada kondisi berimbang.

Elemen bresing

Elemen bresing berperilaku sebagai truss element yang hanya menerima gaya aksial baik tekan (batang tekan) maupun tarik (batang tarik). Perbedaan antara batang tekan dan batang tarik adalah kemungkinan batang tekan menekuk pada tingkat beban P yang rendah (bahkan sebelum batang mengalami leleh). Setelah mencapai beban P tersebut, bresing akan menjadi tidak stabil. Besar beban P yang menyebabkan bresing tidak stabil disebut beban kritis (P_{kritis}). Fenomena menekuknya batang tekan pada beban di bawah beban leleh dikenal dengan tekuk elastis.

Dikenal tiga jenis tekuk yang mungkin terjadi pada batang/bresing yang dibebani gaya aksial tekan, yaitu:

1. Tekuk lentur

Batang/bresing mengalami lentur ketika terjadi ketidakstabilan.

2. Tekuk lokal

Elemen pelat pada penampang (sayap atau badan) menekuk karena terlalu tipis, ini dapat terjadi sebelum bresing menekuk lentur secara keseluruhan.

3. Tekuk torsi

Elemen pelat pada penampang berputar/memuntir terhadap sumbu batang.

Parameter yang mempengaruhi stabilitas suatu batang adalah kekuatan bahan (tegangan leleh dan modulus elastisitas) dan geometri batang (penampang, panjang, kondisi perletakan dan penopang lateral). Berdasarkan parameter tersebut jenis tekuk secara umum dapat dibedakan menjadi Tekuk Elastik Euler dan Tekuk Inelastik.

Tekuk Elastik Euler

Ketika sebuah batang lurus memikul gaya aksial tekan pada kedua ujungnya yang berupa sendi dan gayanya terus bertambah besar maka pada harga P tertentu, batang akan melentur dalam arah sumbu lemahnya. Hal ini terjadi karena batang mengalami instabilitas akibat tekuk. Besarnya gaya P yang terjadi tepat pada saat kolom mencapai ketidakstabilan dikenal dengan P_{kritis} atau P_{cr} , yang besarnya dapat dihitung dengan menganalisis free body batang elastis yang mengalami ketidakstabilan tersebut. Pada ujung batang hanya bekerja gaya tekan P karena ujung perletakan berupa sendi, sedangkan pada irisan batang bekerja gaya tekan P dan momen lentur elastis.

Tekuk Inelastik

Pada tekuk elastis, harga beban yang menyebabkan terjadinya tekuk elastis tersebut tidak dipengaruhi oleh kekuatan bahan baja, tetapi dipengaruhi oleh parameter modulus elastisitas (E), momen inersia (I), dan panjang bresing (L). Pada kenyataannya, penampang bresing akan leleh apabila kuat lelehnya terlampaui.

Pada tekuk inelastik, bresing menekuk pada saat sebagian penampang telah mengalami leleh, dimana harga modulus elastisitas (E) menurun dan harga f_{cr} menjadi

lebih kecil dari harga f_{cr} (Euler). Pada tekuk elastis dimana seluruh penampang belum leleh sehingga $f_{cr} = f_{cr}$ (Euler). Pada kasus leleh murni dimana bresing tidak menekuk, dan dengan asumsi bahan adalah elastik-plastik sempurna, maka besarnya tegangan pada kondisi batas ini adalah $f_{cr} = f_y$. Kondisi batas yang menentukan pada sebuah batang tekan akan ditentukan oleh parameter kelangsingan bresing tersebut.

Pengaruh Tegangan Sisa

Umumnya profil baja yang tersedia di pasaran memiliki tegangan awal yang merupakan tegangan sisa dari proses pembentukan profil tersebut, baik untuk penampang gilas panas (hot-rolled) maupun penampang yang dibentuk dengan cara menyusun dan mengelas pelat-pelat pembentuknya. Tegangan yang ada di pelat-pelat penampang berupa tegangan tarik dan tegangan tekan akibat perbedaan suhu diantara bagian-bagian penampang yang terjadi pada proses pendinginan maupun pengelasan.

Adanya tegangan sisa pada penampang yang belum dibebani menyebabkan berkurangnya kapasitas penampang elastis dalam memikul beban (baik berupa tegangan tarik maupun tegangan tekan) sebelum penampang leleh. Dalam hal bresing memikul gaya tekan, maka pada batas daerah tekuk inelastik dan tekuk elastik, besarnya tegangan batas adalah sedikit di bawah tegangan leleh maupun tegangan kritis (Euler).

Kapasitas Tekan Penampang Bresing

Faktor reduksi untuk bresing yang dibebani oleh gaya tekan disyaratkan menurut LRFD adalah sebesar 0.85. Besarnya kapasitas tekan

bresing ditentukan oleh cek terhadap kelangsingan elemen bresing, tekuk lentur dan tekuk lentur-torsi. Kriteria pertama yang harus dipenuhi oleh bresing adalah batas kelangsingan. Batas ini diformulasikan sebagai:

$$\lambda = \frac{L_k}{i_{min}} \leq 200$$

Penampang bresing tidak boleh terjadi tekuk lokal karena akan menyebabkan terjadinya pengurangan kapasitas tekan. Pengecekan terhadap kelangsingan elemen bresing atau pengecekan terhadap tekuk lokal dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\lambda_{sayap} = \frac{b}{2 * t_f} \leq \lambda_r$$

$$\lambda_r = \frac{250}{\sqrt{fy}}$$

$$\lambda_{badan} = \frac{h'}{t_w} \leq \lambda_r$$

$$h' = h - 2 * (t_f + r)$$

$$\lambda_r = \frac{665}{\sqrt{fy}}$$

dimana:

L_k = panjang tekuk bresing

i_{min} = jari-jari girasi bresing terhadap sumbu lemah

Pengecekan terhadap tekuk lentur dilakukan dengan persamaan-persamaan sebagai berikut:

$$\lambda_c = \frac{L_k}{\pi * i_{min}} \sqrt{\frac{fy}{E}}$$

Apabila:

$$\lambda_c \leq 0,25 \rightarrow \omega = 1$$

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

$$\lambda_c > 1,2 \rightarrow \omega = 1,25\lambda_c^2$$

kapasitas tekan penampangnya menjadi:

$$P_{cr} = A_g \frac{f_y}{\omega}$$

dimana:

P_{cr} = Gaya kritis pada penampang bresing yang tertekan

A_g = luas kotor penampang bresing

λ_c = parameter kelangsingan batang tekan

ω = koefisien tekuk

Pengecekan terhadap tekuk torsi pada penampang (simetri ganda) dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$P_{cr} = \left(G * J + \frac{E * I_w}{(k_z * L)^2} \right) * \frac{1}{r_o^2}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

$$J = \sum \frac{1}{3} * b_i * t_i^3,$$

untuk profil I, harga J dapat dihitung sebagai berikut:

$$J = 2 \left(\frac{1}{3} * b * t_f^3 \right) + \frac{1}{3} * h' * t_w^3$$

$$I_w = I_y \frac{h^2}{4}$$

$$r_o^2 = \frac{I_x + I_y}{A} + X_o^2 + Y_o^2$$

dimana:

P_{cr} = Gaya kritis pada penampang bresing yang tertekan

I_w = konstanta puntir lengkung

L = panjang lengkung

r_o = jari-jari girasi polar terhadap pusat geser

ν = poissons ratio (untuk profil I harga poissons ratio adalah 0,3)

x_o, y_o = pusat geser terhadap titik berat penampang, (untuk I, x_o dan $y_o = 0$).

Harga kapasitas tekan bresing yang dipakai adalah harga terkecil dari ketiga harga di atas, yaitu pengecekan terhadap tekuk lokal, pengecekan terhadap tekuk lentur dan pengecekan terhadap tekuk torsi. Pengambilan nilai terkecil dimaksudkan agar pada bresing tidak terjadi tekuk sehingga penyerapan energi yang dipusatkan pada link terjadi optimal. Harga terkecil disini dinamakan harga beban kritis (P_{cr}), dan harus memenuhi persamaan berikut:

$$Nu \leq \phi Nn$$

dimana:

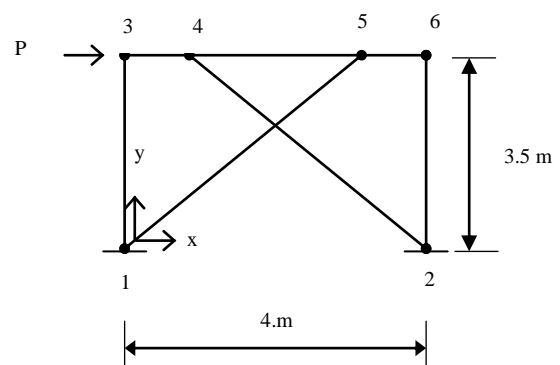
Nu = gaya tekan perlu

Nn = gaya tekan kritis (P_{cr})

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Model Ebf (Full Scale)

Bentuk Struktur



Gambar 6. Bentuk Struktur

Ketentuan Perencanaan Strukur

Sistem portal *EBF* ini dihitung berdasarkan ketentuan pada seismic Provision for struktural steel buildings.[AISC].

Desain struktur

Elemen selain *link* didesain pada kondisi elastik pada beban maksimum, dimana beban tersebut menjadikan elemen *link* terjamin pada kondisi leleh penuh atau terjadi *strain hardening*.

Tabel 1. Profil yang digunakan

Elemen	Balok	Kolom	Link
Profil	IWF 150x100x5.5 x8	IWF 350x350x12 x19	IWF 350x175x7x 11

Data profil IWF 350 x 175 x 7 x 11

H = 350 mm B = 175 mm
 tw = 7 mm A = 63.14 cm²
 r = 14 mm tf = 11 mm
 Ix = 13600 cm⁴ Wx = 775 cm³
 ix = 14.7 cm Iy = 984 cm⁴
 Wy = 112 cm³ iy = 3.95 cm

Data profil IWF 350 x 350 x 12 x 19

H = 350 mm B = 350 mm
 tw = 12 mm A = 173.90 cm²
 r = 20 mm tf = 19 mm
 Ix = 40300 cm⁴ Wx = 2300 cm³
 ix = 15.2 cm Iy = 13600 cm⁴
 4Wy = 776 cm³ iy = 8.84 cm

Tabel 2. Hasil uji tarik terhadap elemen lokal (sayap dan badan) profil

Profil	Tegangan leleh (Mpa)	Tegangan Ultimit (Mpa)	Modus Elas. (Mpa)
IWF 350x175x7x11	240	370	210000
IWF 350x350x12x19	240	370	210000

Link

a. Rasio lebar terhadap tebal

$$b_f / 2t_f \leq 135 / \sqrt{f_y}$$

- b. Tegangan leleh minimum yang disyaratkan ≤ 350 Mpa
- c. Tebal badan merupakan pelat tunggal (tanpa pengaku)
- d. Kuat geser link V_u tidak melebihi kuat geser rencana link ϕV_n , kecuali pada flens yang mempunyai syarat tersendiri.

V_n = kuat geser nominal link, nilai terkecil dari V_p atau $2M_p/e$

$$V_p = 0.60 f_y (d - 2 t_f) t_w$$

$$\Phi = 0.90$$

e = panjang *link*

Kapasitas penampang :

Kapasitas lentur:

$$M_p = 208.320 \text{ kNm}$$

Kapasitas geser:

$$V_p = 330.624 \text{ kN}$$

Agar link berperilaku geser murni, maka panjang *link*:

$$e < 1.6 M_p / V_p$$

$$e < (1.6 \times 208320000 / 330624)$$

$$e < 1008.130 \text{ mm}$$

Jadi panjang *link* diambil $e = 500$ mm (panjang bersih).

Cek terhadap kelangsingan penampang *link*

Untuk pelat sayap:

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{175}{2 \times 11} = 7.954$$

$$\lambda_p = 135 / \sqrt{f_y} = 135 / \sqrt{240} = 8.714$$

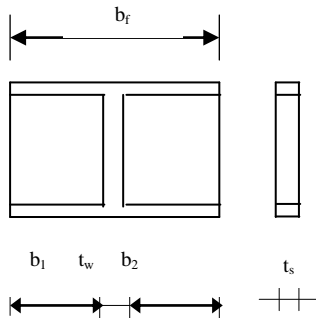
Untuk pelat badan:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{H - 2(t_f + r)}{t_w} = \frac{350 - 2(11 + 14)}{7} = 42.857$$

$$\lambda_p = 3.18 \sqrt{E / f_y} = 3.18 \sqrt{210000 / 240} = 94.066$$

Pengaku link

Lebar dan tebal pengaku:
 Pengaku tersebut harus mempunyai jumlah ukuran lebar tidak kurang dari $(b_f - 2t_w)$ dan ketebalan tidak kurang dari $0.75 t_w$ atau 10 mm.



Gambar 7 Lebar dan tebal pengaku

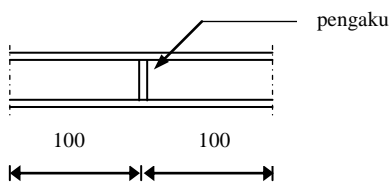
$$(b_1 + b_2) \geq (b_f - 2 t_w)$$

$$t_s \geq 0.75 t_w \text{ atau } 10 \text{ mm}$$

Jadi diambil lebar pengaku $b_1 + b_2 = 168 \text{ mm}$ dengan tebal $t_s = 10 \text{ mm}$.

Jarak pengaku

Untuk *link* dengan $e < 1.6 M_p/V_p$, maka jarak pengaku diambil:
 $s < (30 t_w - d/5)$
 $s < 140 \text{ mm}$, diambil $s = 100 \text{ mm}$



Gambar 8 Jarak pengaku

Pengaku *link* dilaskan secara penetrasi penuh ke elemen sayap dan badan *link*.

Pengaku Diagonal (Bresing)

Kekuatan kombinasi aksial dan lentur yang diperlukan bagi bresing diagonal direncanakan sebesar gaya aksial dan momen lentur yang ditimbulkan oleh kekuatan geser nominal *link* $R_y V_n$ dikalikan 1.25 untuk memperhitungkan adanya *strain hardening*. $R_y = \text{over strength}$ (perbandingan kekuatan leleh aktual terhadap persyaratan).

Karena digunakan data leleh aktual maka diambil $R_y = 1$.

syarat kekuatan pengaku diagonal (bresing) dapat diambil :

- Geser link $V_L = 1.25 R_y V_n$
- Momen ujung link pada kolom $M_{LC} = 0.8 \times 1.25 R_y M_n$
- momen ujung link pada bresing $M_{LB} = e (1.25 R_y V_n) - 0.8 M_n$

Dengan mengambil $R_y = 1$ maka harga di atas menjadi:

$$V_L = 413.280 \text{ kN}$$

$$MLC = 208.320 \text{ kNm}$$

$$MLB = 39.984 \text{ kNm}$$

Ukuran profil bresing

Persyaratan kekuatan bresing:

$$M_u = M_{LB} = 39.984 \text{ kNm}$$

$$V_u = V_L = 413.280 \text{ kN}$$

Dengan menganggap tegangan leleh bresing $f_y = 240 \text{ N/mm}^2$,

Maka besaran momen lawan dan luas geser yang diperlukan:

$$W_x = M_u/f_y = 166.600 \text{ cm}^3$$

$$A_v = V_u/f_y = 17.22 \text{ cm}^2$$

Data profil IWF 350 x 175 x 7 x 11

$$H = 350 \text{ mm} \quad B = 175 \text{ mm}$$

$$t_w = 7 \text{ mm} \quad A = 63.14 \text{ cm}^2$$

$$r = 14 \text{ mm} \quad t_f = 11 \text{ mm}$$

$$I_x = 13600 \text{ cm}^4 \quad W_x = 775 \text{ cm}^3$$

$$i_x = 14.7 \text{ cm} \quad i_y = 984 \text{ cm}^4$$

$$W_y = 112 \text{ cm}^3 \quad i_y = 3.95 \text{ cm}$$

Balok

Cek kelangsingan penampang

Untuk pelat sayap:

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{175}{2 \times 11} = 7.954$$

$$\lambda_p = 170 / \sqrt{f_y} = 170 / \sqrt{240} = 10.973$$

Untuk pelat badan:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{H - 2(t_f + r)}{t_w}$$

$$= \frac{350 - 2(11 + 14)}{7} = 42.857$$

$$\lambda_p = 1680 / \sqrt{f_y} = 1680 / \sqrt{240} = 108.443$$

Sehingga profil yang dipilih tidak akan mengalami tekuk lokal dan profil ini memenuhi syarat kekompakan.

Kapasitas lentur balok

$$M_{yb} = W_x f_y = 186 \text{ kNm}$$

Cek terhadap tekuk global (tekuk torsi lateral)

Panjang tekuk dari balok, $L_b = k \times L = 1 \times 5000$
 $= 5000 \text{ cm}$

Panjang bentang maksimum untuk balok yang mampu menerima momen plastis:

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2056.430 \text{ mm}$$

Panjang bentang minimum untuk balok yang kekuatannya mulai ditentukan oleh momen kritis akibat tekuk torsi lateral:

$$L_r = \frac{x_1 * r_y}{f_y - f_r} \sqrt{1 + \sqrt{1 + x_2 (f_y - f_r)^2}}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} = \frac{210000}{2(1 + 0.3)} = 80769.23 \text{ Mpa}$$

$$J = \sum \frac{1}{3} * b_i * t_i^3 = 2(\frac{1}{3} * b * t_f^3) + \frac{1}{3} * h * t_w^3$$

$$J = 2(\frac{1}{3} * 175 * 11^3) + (\frac{1}{3} * 328 * 7^3) = 192784.667 \text{ mm}^4$$

$$C_w = \frac{1}{24} t_f^3 b^3 (h - 2t_f)^2 = \frac{1}{24} * 11^3 * 175^3 * (350 - 2 * 11)^2 = 2.64267E+11 \text{ mm}^6$$

$$x_1 = \frac{\pi}{w_x} \sqrt{\frac{G * E * J * A}{2}}$$

$$x_1 = 13017.695 \text{ N/mm}^2$$

$$x_2 = \frac{4 * C_w}{I_y} \left(\frac{w_x}{G * J} \right)^2 = 2$$

$$x_2 = 2.71E-06 \text{ (N/mm}^2\text{)}^{-2}$$

jadi :

$$L_r = 4318.463 \text{ mm}$$

$L_b > L_r$ (sehingga katagori bentang adalah bentang panjang)

Untuk bentang panjang momen kritis terhadap tekuk torsi lateral sebesar:

$$M_{cr} = C_b$$

$$* \frac{\pi}{L_b} * \sqrt{E * I_y * G * J} * \sqrt{1 + \frac{\pi^2 * E * C_w}{G * J * L_b^2}}, C_b$$

$$M_{cr} = 174718203 \text{ Nmm}$$

$$M_{cr} = 174.718 \text{ kNm}$$

Kapasitas geser balok

$$V_p = 0.6 f_{yw} (d - 2t_f) t_w = 0.6 \times 240 \times (350 - 2 \times 11) \times 7 = 330624 \text{ N}$$

$$V_p = 330.624 \text{ kN}$$

untuk panjang balok 5000 mm diambil jarak pengaku transversal 500 mm sehingga:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{H - 2(t_f + r)}{t_w}$$

$$= \frac{350 - 2(11 + 14)}{7} = 42.857$$

$$K_n = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} = 5 + \frac{5}{(500/350)^2} = 7.45$$

$$\lambda_p = 1.1 * \sqrt{\frac{k_n * E}{f_y}}$$

$$= 1.1 * \sqrt{\frac{7.45 * 210000}{240}} = 88.813$$

Kolom

elemen tarik dan lentur:

$$P_{yt} = A_g f_y = 173.9 \times 10^2 \times 240 = 4173600 \text{ N} = 417.360 \text{ kN}$$

$$M_{yc} = W_x f_y = 2300 \times 10^3 \times 240 = 552000000$$

$$\text{Nmm} = 552 \text{ kNm}$$

elemen tekan

faktor panjang efektif (k):

$$G_B = \frac{(1/L)_c}{(1/L)_b} = \frac{L_b}{L_c} = \frac{6000}{4000} = 1.5$$

Untuk portal tak bergoyang:

$$k = \frac{3G_i G_j + 1.4(G_i + G_j) + 0.64}{3G_i G_j + 2.0(G_i + G_j) + 1.28}$$

jadi:

$$k_x = \frac{3 \times 1 \times 1.5 + 1.4(1 + 1.5) + 0.64}{3 \times 1 \times 1.5 + 2.0(1 + 1.5) + 1.28} = 0.8$$

$$k_y = 2.1$$

$$\lambda_c = \frac{kL}{r_x \pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$$\lambda_{cx} = \frac{0.8 \times 4000}{152 \times \pi} \sqrt{\frac{240}{210000}}$$

$$\lambda_{cx} = 0.227$$

$$\lambda_{cy} = \frac{2.1 \times 4000}{88.4 \times \pi} \sqrt{\frac{240}{210000}}$$

$$\lambda_{cy} = 1.023$$

jadi: $\lambda_{cr} = 1.023$

Untuk $0.25 < \lambda_{cr} < 1.2$, maka ω

$$= \frac{1.43}{1.6 - 0.67\lambda_c} = \frac{1.43}{1.6 - 0.67 * 1.023} = 1.563$$

$$f_{cr} = f_y / 1.63 = 240 / 1.563 = 153.551 \text{ Mpa}$$

$$P_{cr} = f_{cr} \cdot A_g = 153.551 \times 173.90 \times 10^2 = 2670252$$

$$N = 2670.25 \text{ kN}$$

Hasil Pengekang lateral pada kedua sayap atas dan bawah balok

Kuat perlu $\geq 2 \% f_y \cdot b_f \cdot t_f$

Kuat perlu $\geq 0.02 * 240 * 175 * 11$

Kuat perlu $\geq 9240 \text{ Mpa}$

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pada sistim portal berpengaku eksentrik (*Eccentrically Braced Frame*) pemusatan penyerapan energi dipusatkan di link sehingga elemen selain link harus tetap berperilaku elastis saat elemen link telah mencapai kelelahan. Hal ini berbeda dengan sistim portal berpengaku konsentrik (*Concentrically Braced Frame*) yang memperbolehkan terjadinya tekuk pada bresing karena bresing juga berfungsi untuk menyerap energi. Untuk itu harus dilakukan pengecekan terhadap kemungkinan terjadinya tekuk pada bresing sehingga pemilihan sistim portal berpengaku eksentrik bisa memberikan nilai lebih bila dibanding dengan sistim lainnya.

Saran

Untuk lebih memperdalam analisis terhadap perilaku portal yang diberikan pengaku disarankan analisis ini juga dibandingkan terhadap model portal dengan system berpengaku konsentrik atau CBF

DAFTAR PUSTAKA

Bazant, Z.P., Cedolin. 1991. *Stability of structures : Elastic, Inelastic, Fracture and Damage Theories*. Oxford university Press.

Beeker, Roy, 1995, *Seismic Design of Special Concentrically Braced Steel Frames*.

Bruneau. M, Uang, C.M, Whittaker, A., 1998, *Ductile Design of Steel Structures*, McGraw-Hill.

....., 2000, *Draft Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung*, Jurusan Teknik Sipil ITB, Bandung

Englekirk, R., 1994, *Steel Structures: Controlling Behavior Through Design*, Jhon Wiley & Son.

Galambos, T.V, 1968, *Structural Members and Frames*. Prentice Hall.

Hjelmstad, K.D.; popov, E.P., 1984, *Characteristics of Eccentrically Braced Frames*, Journal of structural Engineering, ASCE, Hjelmstad, K.D.; popov, E.P., 1983, *Seismic Behavior of Active Beam Links in Eccentrically Braced Frames*, EERC Report 83-15, University of California, Berkeley, CA.

Smith, C.J., 1996, *Structural Steel Desing-LRFD Approach*. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc.

Sutjipto, Suradjin, 2002, *Flexural Eccentrically Braced Frames*. Seminar HAKI, Jakarta.