

SAMBUNGAN MOMEN SEISMIK PLAT UJUNG PADA SRPMK DENGAN KOLOM DALAM

Junaedi Utomo¹

¹Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44 Yogyakarta

ABSTRAK

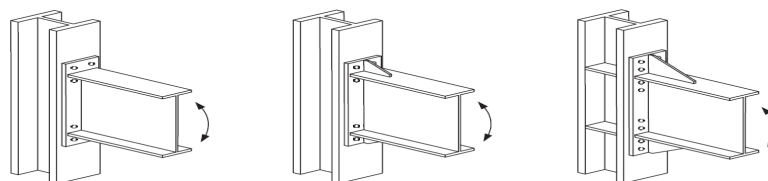
Tujuan makalah ini untuk menunjukkan prosedur perencanaan sambungan momen seismik plat ujung diperluas pada struktur baja tahan gempa. Penahan gaya lateral yang ditinjau adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan kolom dalam. Semakin ketatnya batasan simpangan antar lantai pada peraturan saat ini menuntut kekakuan lateral yang lebih besar pada struktur. Salah satu cara untuk mendapatkan struktur yang lebih kaku adalah dengan menggunakan kolom dalam. Namun sampai saat ini penelitian sambungan momen plat ujung pada kolom dalam masih sedikit dilakukan. Ketentuan 15.7.2 dalam SNI 03-1729-2002 untuk perencanaan sambungan balok-ke-kolom yang digunakan pada sistem pemikul beban gempa harus didasarkan pada hasil pengujian kualifikasi yang menunjukkan rotasi inelastis sekurang-kurangnya 0,03 radian. Ketentuan ini juga mengatur hasil pengujian kualifikasi dapat diwakili oleh laporan penelitian atau laporan pengujian yang dilakukan untuk sambungan yang serupa dengan yang sedang direncanakan.

AISC telah membentuk *Connection Prequalification Review Panel* (CPRP) badan independen yang melakukan *review* terhadap data hasil tes sesuai lampiran P dari ANSI/AISC 341-05. Cara yang termudah dan juga murah untuk memenuhi ketentuan perencanaan tahan gempa untuk SRPMK adalah dengan memakai dokumen hasil kerja CPRP. Sambungan momen seismik plat ujung merupakan salah satu sambungan yang direkomendasi oleh CPRP. Pendetilan sambungan ini sesuai format ANSI/AISC 358-05. Penelitian sambungan momen seismik plat ujung dengan pendekatan teori garis leleh telah dilakukan, termasuk untuk aplikasi seismik. Hasil penelitian ini, yang diadopsi oleh ANSI/AISC 358-05, dapat dipakai untuk merencanakan SRPMK dengan falsafah kolom kuat, sambungan kuat dan balok lemah. Struktur baja enam lantai tahan gempa, dengan penahan gaya lateral berupa sistem ganda pada satu arah dan SRPMK pada arah yang lain, dipakai untuk menunjukkan prosedur perencanaan sambungan ini.

Kata kunci: Sambungan momen seismik plat ujung, kolom dalam, pengujian kualifikasi, rotasi inelastis, ANSI/AISC 358-05.

A. PENDAHULUAN

Sambungan momen plat ujung terdiri dari plat yang dilas pada ujung balok dan kemudian dibaut di lapangan ke kolom. Sambungan momen plat ujung dapat dikelompokkan berdasar keadaan ujung luarnya yaitu rata (*flush*) atau diperluas (*extended*). Sambungan momen plat ujung rata bila ujung ujung luar plat rata dengan sayap balok dan semua baut ada diantara kedua sayap balok. Sambungan momen plat ujung diperluas bila ujung plat ditambah permukaannya melampaui sayap sayap balok sehingga memungkinkan adanya baut untuk ditempatkan di daerah perluasan ini. Baik sambungan momen plat ujung rata atau plat ujung diperluas dapat diberi perkuatan sehingga lebih kaku seperti ditunjukkan oleh **Gambar 1** di bawah ini.



Gambar 1. Sambungan momen plat ujung dengan atau tanpa perkuatan.

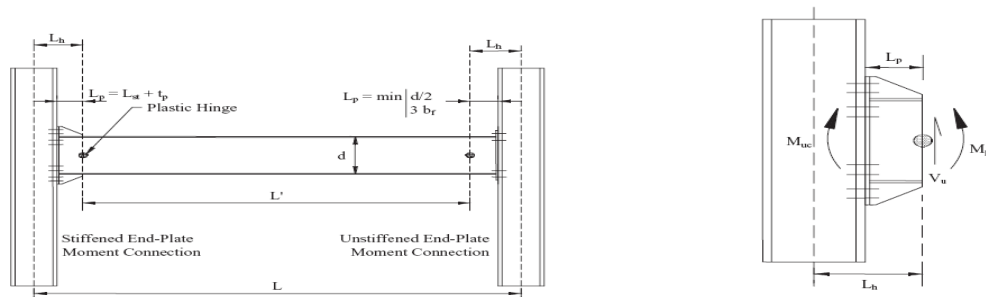
Pendekatan yang terbaru pada penelitian sambungan plat ujung memakai pola garis leleh untuk memprediksi tebal plat ujung, kuat lentur sayap kolom dan kuat tarik baut[8]. Metoda Kennedy yang disederhanakan dipakai untuk memprediksi gaya tarik baut[8]. Murray dan Shoemaker (2002) [7] menyajikan panduan untuk merancang dan menganalisis sambungan momen plat ujung rata dan plat ujung diperluas. Ketentuan yang ada pada pedoman ini berlaku untuk sambungan yang mengalami beban gravitasi, angin dan gempa dengan intensitas rendah. Murray dan Sumner (2003) [8] melanjutkan penelitian ini dengan melakukan pengujian pada sambungan momen plat ujung diperluas untuk menyelidiki kecocokkan penggunaan sambungan untuk rangka pemikul momen yang menahan beban siklis akibat gempa. Hasil penelitian ini kemudian diadopsi di Bab 6 ANSI/AISC 358-05.

B. LANDASAN TEORI SAMBUNGAN MOMEN PLAT UJUNG

Momen Lentur Perlu Untuk Sambungan

Pendekatan dalam perencanaan struktur tahan gempa saat ini memakai mekanisme keruntuhan pada perencanaan plastis dengan mengatur agar sendi plastis terjadi pada lokasi lokasi tertentu melalui deformasi inelastis. Bila sambungan momen plat ujung digunakan pada SRPMK, sendi plastis terjadi melalui deformasi lentur inelastis pada balok, dan deformasi inelastis di *panel zone* pada kolom mengikuti falsafah kolom kuat, sambungan kuat dan balok lemah.

Lokasi sendi plastis pada balok tergantung pada tipe sambungan yang dipakai. Untuk sambungan momen plat ujung yang tidak diperkuat, sendi plastis terbentuk pada jarak minimum antara setengah kedalaman balok atau 3 kali lebar sayap balok diukur dari permukaan kolom. Sedang untuk sambungan momen plat ujung yang diperkuat, sendi plastis terbentuk pada alas dari plat pengaku seperti ditunjukkan **Gambar 2** berikut ini [8].



Gambar 2. Lokasi sendi plastis dan momen rencana untuk sambungan

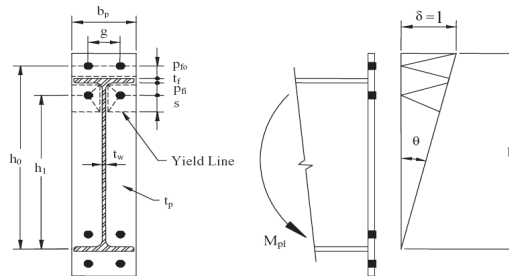
Ketentuan 15.5.2 SNI 03-1729-2002 menyatakan kuat perlu sambungan ditentukan berdasar tegangan leleh yang dapat terjadi $R_y f_y$. Ketentuan 2.4.3 dari ANSI/AISC 35-05 menetapkan momen lentur maksimum yang diharapkan terjadi pada sendi plastis adalah:

$$M_{pe} = C_{pr} R_y F_y Z_x$$

Tampang kritis untuk merancang sambungan adalah muka kolom. Momen lentur pada muka kolom, M_{uc} , adalah momen yang diharapkan terjadi pada sendi plastis, M_{pe} , ditambah momen yang terjadi akibat gaya geser V_u dikalikan dengan L_p .

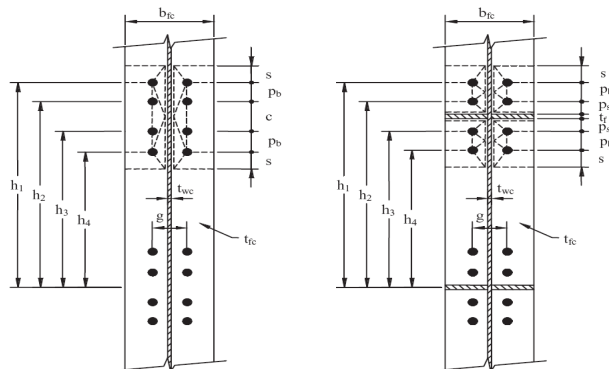
Teori Garis Leleh

Aplikasi teori garis leleh yang dipakai untuk menentukan kekuatan plat ujung dan sayap kolom memerlukan tiga langkah yaitu: asumsi pola garis leleh tertentu, pembentukan persamaan untuk usaha luar dan usaha dalam dan solusi yang diperoleh dengan menyamakan usaha luar dengan usaha dalam [7] [8]. **Gambar 3** di bawah ini menunjukkan pola garis leleh dan asumsi perpindahan virtual pada sambungan plat ujung diperluas tidak diperkuat dengan empat baut.



Gambar 3. Pola garis leleh dan perpindahan virtual

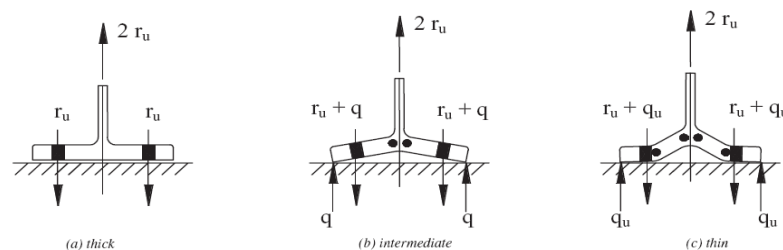
Pada sayap kolom harus tersedia cukup kekuatan untuk menahan gaya tarik dari baut. Sayap kolom ini bisa diperkuat dengan plat terusan atau tidak diperkuat. Teori garis leleh juga dipakai menentukan kekuatan sayap kolom seperti ditunjukkan **Gambar 4** di bawah ini[8].



Gambar 4. Pola garis leleh pada sayap kolom dengan atau tanpa plat penguat

Model Untuk Menentukan Kekuatan Baut

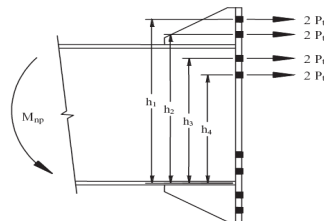
Model Kennedy dipakai untuk menentukan besar gaya pada baut. Model ini memakai analogi stub T terbalik dengan sayap mengalami tarik dan sambungan plat ujung[7][8]. Model Kennedy ini mengidentifikasi tiga tahap perilaku dari stub T terbalik seperti ditunjukkan **Gambar 5**.



Gambar 5. Tiga tahap perilaku plat pada model Kennedy

Tahap pertama terjadi saat beban masih kecil dan sayap dari stub T terbalik masih elastis, sayap dari stub T digolongkan sebagai “tebal” dan tidak ada gaya q (*prying force*) yang terjadi. Tahap kedua terjadi saat beban dinaikkan. Sendi plastis terbentuk pada pangkal badan dari stub T terbalik, pada kondisi ini klasifikasi sayap adalah “tebal-tidak, tipis-belum” dan timbul gaya q (*prying force*). Pada tahap ketiga sendi plastis terbentuk lagi disekitar garis baut dan sayap stub T terbalik diklasifikasi sebagai “tipis”, *prying force* yang timbul sudah maksimal seperti ditunjukkan oleh gaya q_u pada gambar di atas. Borgmiller[8] melalui penelitiannya berhasil menentukan ambang perubahan dari sayap “tebal” ke “tipis”. Bila beban yang bekerja menyebabkan aksi yang lebih kecil dari 90% kekuatan plat maka plat ujung digolongkan “tebal” dan *prying force* tidak perlu ditinjau, sebaliknya berarti plat diklasifikasikan “tipis” dan *prying force* dianggap maksimum

Aplikasi model Kennedy yang telah dimodifikasi dan disederhanakan untuk beban siklis akibat gempa menuntut plat ujung dan sayap kolom berperilaku sebagai plat “tebal” untuk menjamin agar plat ujung dan sayap kolom tetap elastis dan baut-baut tidak mengalami *prying force* yang signifikan[8]. Gaya tarik baut ditentukan dengan menghitung momen statis terhadap pusat sayap desak seperti ditunjukkan **Gambar 6** di bawah ini.



Gambar 6. Model rencana gaya pada baut dengan plat ujung tebal

Sehingga *non-prying moment* M_{np} dapat dinyatakan sebagai:

$$M_{np} = nP_t \sum_{i=1}^N h_i$$

dimana n adalah jumlah baut per baris, N adalah jumlah baris baut dan h_i adalah jarak dari pusat baris baut ke pusat dari sayap desak.

Kuat tarik baut P_t dinyatakan dengan:

$$P_t = F_t A_b$$

dimana F_t adalah kuat tarik baut yang sesuai spesifikasinya dan A_b adalah luas nominal tampang baut

Agar perilaku plat tebal benar terjadi, kekuatan baut yang dihitung dengan persamaan di atas harus lebih kecil atau sama dengan 90% kekuatan plat ujung and sayap kolom, atau dengan kata lain kekuatan plat ujung dan sayap kolom harus lebih besar atau sama dengan 110% kekuatan baut.

C. RANGKA TERBUKA DENGAN KOLOM DALAM

Dalam merancang suatu rangka terbuka dengan kolom dalam, perlu diperhatikan kekakuan rangka, kuat lentur kolom, zona panel dan tekuk lokal pada kolom. Kolom yang sering dipakai untuk rangka terbuka adalah W14 (dalam satuan *imperial*) atau W360 (dalam satuan SI) sedang untuk kolom dalam kedalaman tampangannya antara

W21 sd W33(*imperial*) atau W530 sd W840(SI). Studi komparatif untuk rangka terbuka dengan kolom W14(*imperial*) dan kolom W27(*imperial*) telah dilakukan, hasil studi menunjukkan perilaku keduanya tidak banyak berbeda[11].

Kekakuan Rangka Terbuka

Pada rangka terbuka, kekuatan pada umumnya tidak menentukan dalam perencanaan, batas simpangan antar tingkat yang sering menentukan karena sifat rangka terbuka yang fleksibel. Salah satu cara yang efisien untuk mengurangi simpangan antar tingkat adalah dengan meningkatkan kekakuan lentur dan kekakuan geser kolom dengan memakai kolom yang memiliki kedalaman tampang besar.

Kuat Lentur Kolom Arah Sumbu Kuat dan Sumbu Lemah

Kolom dalam mempunyai momen inersia kolom lebih besar untuk berat yang hampir sama, misalnya dengan kolom W14, sehingga kapasitas momen lenturnya juga lebih besar. Kekakuan lentur yang lebih besar ini yang meningkatkan kekakuan global dari rangka terbuka sehingga simpangan antar tingkat juga mengecil. Untuk rangka yang menahan beban gempa besar yang dirancang dengan falsafah kolom kuat dan balok lemah, kekakuan lentur kolom menjadi parameter penting. Kolom dalam memiliki kuat lentur yang besar pada arah sumbu kuat dan sebaliknya pada sumbu lemah sehingga perlu diperiksa kemungkinan tekuk puntir lateral pada kolom dalam, terutama untuk kolom dengan lantai yang tinggi.

Kuat Geser dan Kekakuan Geser dari Zona Panel

Kedalaman badan kolom dalam lebih besar dibanding misalnya kolom W14 sehingga kuat geser dan kekakuan geser dari zona panel pada kolom dalam juga lebih besar. Plat ganda sering tidak diperlukan karena kuat geser yang besar ini. Distorsi pada zona panel berkurang karena kuat geser yang besar ini sehingga kontribusi dari distorsi zona panel terhadap simpangan antar tingkat juga berkurang. Namun badan kolom pada kolom dalam lebih langsing dibanding dengan kolom W14 sehingga tekuk geser pada zona panel perlu diperiksa kemungkinannya.

Tekuk Setempat pada kolom dalam

Kemungkinan tekuk setempat pada kolom dalam lebih besar dibanding misalnya dengan kolom W14. Untuk rangka terbuka dengan beban gempa besar seperti SRPMK harus dipakai kolom dalam dengan sayap dan badan kompak artinya rasio lebar kolom terhadap tebal kolom(b_f/t_f) dan kedalaman kolom terhadap tebal kolom(h/t_w) perlu diperiksa terhadap batasan batasan yang ada di peraturan.

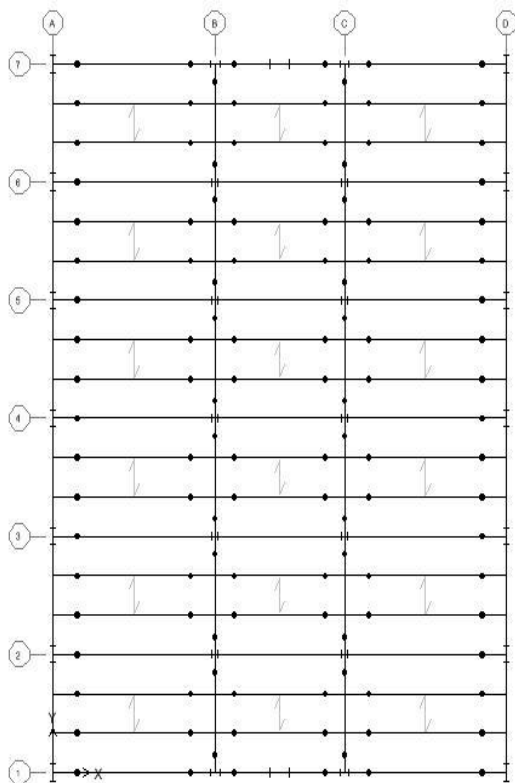
D. STRUKTUR BAJA ENAM LANTAI TIPIKAL DENGAN KOLOM DALAM

Struktur baja enam lantai dengan *basement*, beban hidup lantai $2,5 \text{ kN/m}^2$ dan beban hidup koridor $5,0 \text{ kN/m}^2$. Plat lantai berupa lantai komposit dengan tebal plat beton 125 mm. Profil baja diambil dari CISC (*Canadian Institute of Steel Construction*) yang ada ekuivalennya dengan profil baja dari AISC (*American Institute of Steel*

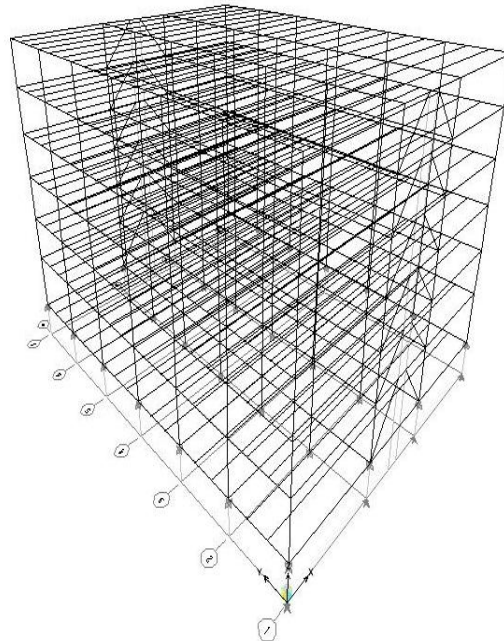
Construction) untuk balok komposit, balok, kolom dan kolom dalam. *Layout*, pandangan 3D, rangka arah X dan rangka arah Y ditunjukkan oleh **Gambar 7** sampai dengan **Gambar 12** berikut ini.

Struktur baja dirancang dengan SNI 03-1726-2002 (zona 6, tanah keras) dan SNI 03-1729-2002 ($f'_c = 25$ MPa dan $f_y = 350$ MPa). Proses perencanaan mengikuti masukan dari Shen Jay, Astaneh and McCallen(2002) [11], Ishler and Becker (1996)[5] dan Uang Bruneau, Whittaker and Tsai (2001)[12]. Analisis struktur dilakukan dengan ETABS. Penahan tanah pada *basement* dimanfaatkan sebagai pondasi. Sistem penahan gaya lateral adalah sebagai berikut:

- Gempa Arah X: Penahan gaya lateral berupa sistem ganda yaitu 2 SRBRE (rangka1 dan 7) bersama 5 SRMPK (rangka 2, 3, 4, 5 dan 6).
- Gempa Arah Y: Penahan gaya latera berupa 2 SRPMK (rangka A dan D). Rangka B dan C dirancang untuk menahan beban gravitasi.

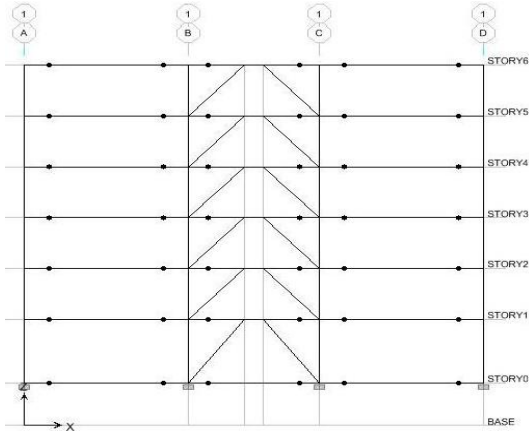


Gambar 7. Beam and Girder Layout

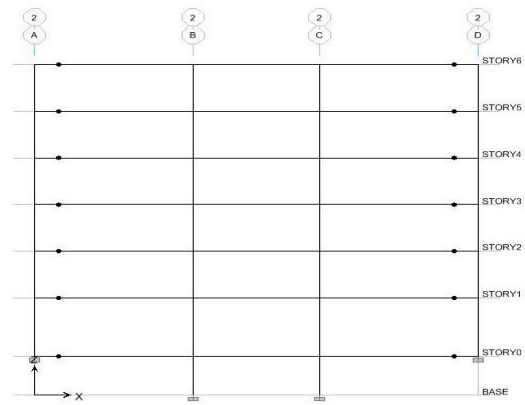


Gambar 8. Pandangan 3D

Arah X:

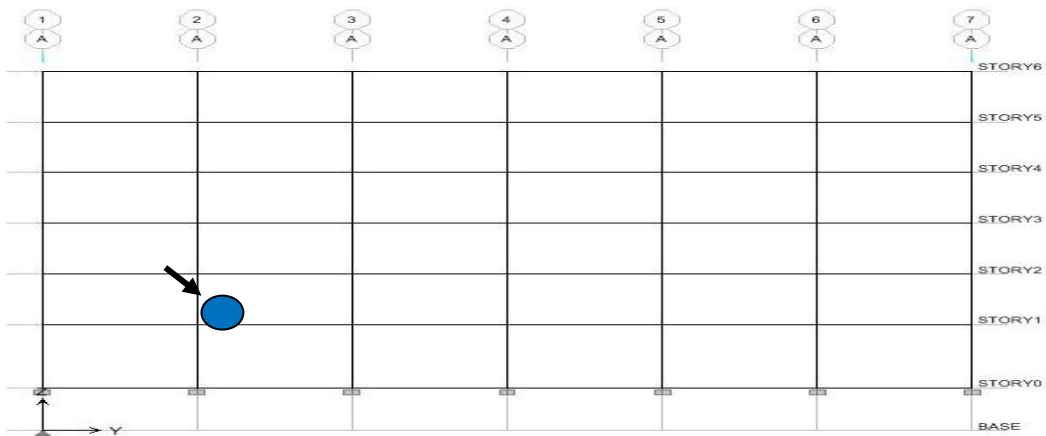


Gambar 9. SRBE Tepi (Rangka 1 dan 7)

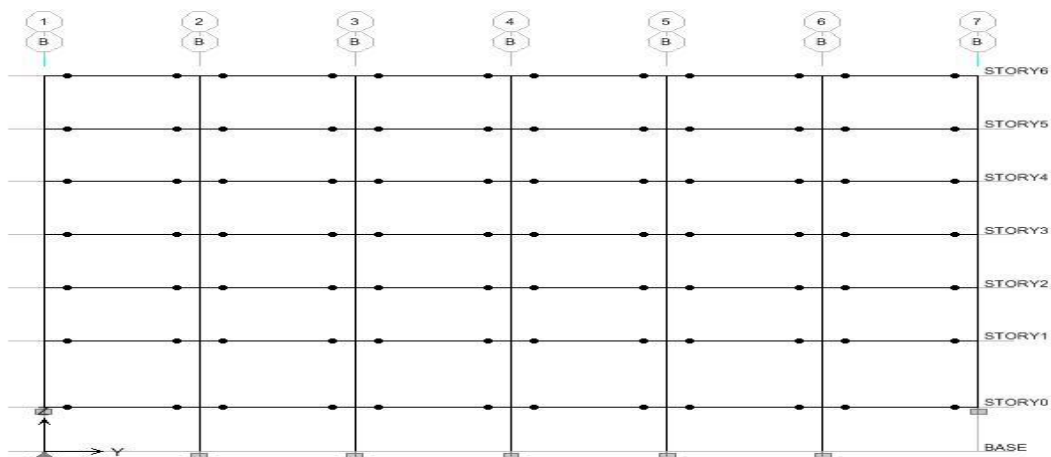


Gambar 10. SRPMK Tengah (Rangka 2 s/d 6)

Arah Y:



Gambar 11. SRPMK Tepi (Rangka A dan D dengan kolom dalam), lingkaran di atas menunjukkan sambungan yang akan direncanakan.



Gambar 12 Gravity Frames (Rangka B dan C)

E. PROSEDUR PERENCANAAN SAMBUNGAN MOMEN SEISMIS PLAT UJUNG PADA SRPMK DENGAN KOLOM DALAM

Ada lima parameter yang perlu diperhatikan pada perencanaan sambungan momen seismik plat ujung yaitu : momen perlu untuk merancang sambungan, kuat baut pada sambungan, kekuatan plat ujung, kuat lentur sayap kolom dan kekuatan zona panel.

Berikut adalah contoh perencanaan sambungan momen plat ujung pada SRPMK dengan kolom dalam (lokasi sambungan ditunjukkan Gambar 11). Sambungan direncanakan untuk menahan beban siklis akibat gempa arah Y pada SRPMK yang telah dibahas sebelumnya. Sambungan Momen Seismik Plat Ujung Diperluas dipakai untuk menyambung balok W690x125 ke kolom W840x210. Balok, kolom dan plat ujung memakai baja dengan $f_y = 350$ MPa, $f_u = 480$ MPa dan baut berupa baut kuat tarik tinggi ASTM A325. Perencanaan sambungan dilakukan mengikuti ketentuan pada Bab 6 ANSI/AISC 358-05.

Balok W690x125: $d_b = 678$ mm, $t_{bw} = 12$ mm, $b_{bf} = 253$ mm, $t_{bf} = 16$ mm, $k_b = 34$ mm, $g = 127$ mm, $Z_{bx} = 4010 \times 10^3$ mm³

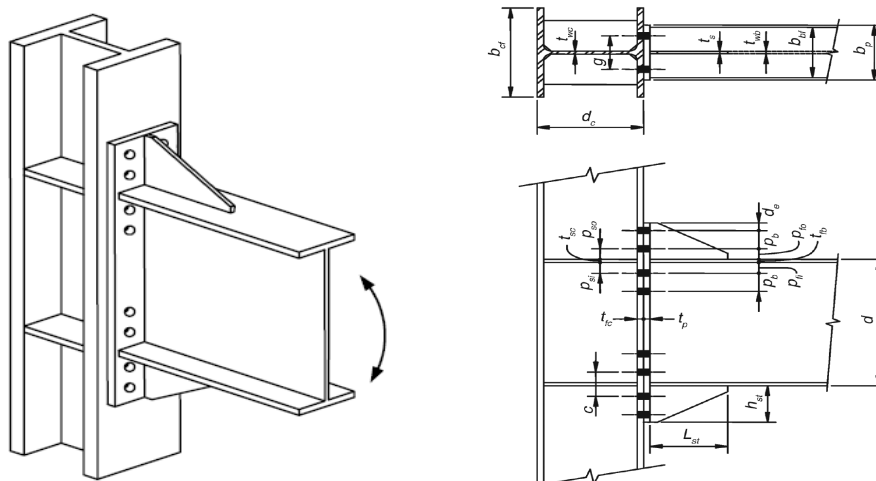
Kolom W840x210: $d_c = 846$ mm, $t_{cw} = 15,4$ mm, $b_{cf} = 293$ mm, $t_{cf} = 24,4$ mm, $k_c = 45$ mm, $g = 127$ mm, $Z_{cx} = 8430 \times 10^3$ mm³

Tabel 6.1 ANSI/AISC 358-05[2] di bawah ini berisi parameter-parameter yang telah diuji dan harus dipatuhi pada perencanaan sambungan momen plat ujung.

TABLE 6.1.
Parametric Limitations on Prequalification

Parameter	Four-Bolt Unstiffened (4E)		Four-Bolt Stiffened (4ES)		Eight-Bolt Stiffened (8ES)	
	Maximum in. (mm)	Minimum in. (mm)	Maximum in. (mm)	Minimum in. (mm)	Maximum in. (mm)	Minimum in. (mm)
t_p	2 1/4 (57)	1/2 (13)	1 1/2 (38)	1/2 (13)	2 1/2 (64)	3/4 (19)
b_p	10 3/4 (273)	7 (178)	10 3/4 (273)	10 3/4 (273)	15 (381)	9 (229)
g	6 (152)	4 (102)	6 (152)	3 1/4 (83)	6 (152)	5 (127)
P_{fi}, P_{fo}	4 1/2 (114)	1 1/2 (38)	5 1/2 (140)	1 3/4 (44)	2 (51)	1 3/4 (44)
P_b	—	—	—	—	3 3/4 (95)	3 1/2 (89)
d	55 (1400)	25 (635)	24 (610)	13 3/4 (349)	36 (914)	18 1/2 (470)
t_{bf}	3/4 (19)	3/8 (10)	3/4 (19)	3/8 (10)	1 (25)	19/32 (16)
b_{bf}	9 1/4 (235)	6 (152)	9 (229)	6 (152)	12 1/4 (311)	7 3/4 (197)

Detil sambungan sesuai tabel 6.1 ANSI/AISC 358-05 untuk sambungan momen seismik plat ujung diperluas ditunjukkan gambar di bawah ini.



Selanjutnya sambungan direncanakan mengikuti ketentuan 6.10 dari ANSI/AISC 358-05. Dokumen ANSI/AISC 358-05 dapat di *download* di Internet. Notasi yang dipakai dalam perencanaan mengikuti panduan di dokumen itu. Panduan visual dari Jason dan Gregory (2007) [6] sangat membantu untuk identifikasi ketentuan ketentuan relevan dari ANSI/AISC 341-05 dan ANSI/AISC 358-05.

Perencanaan Plat Ujung dan Baut

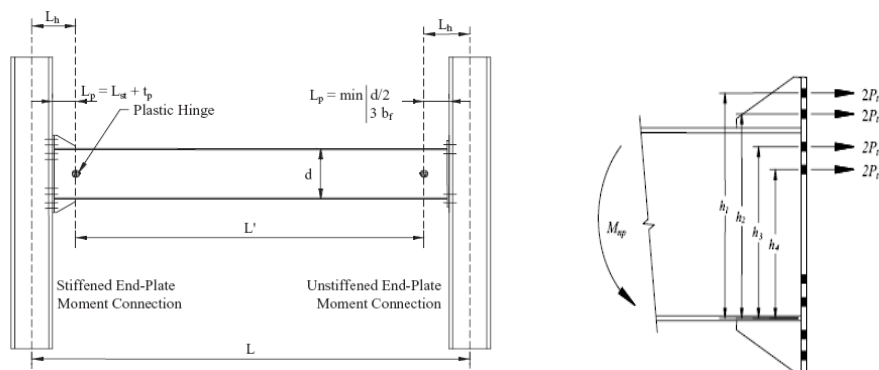
(1) Hitung momen pada muka kolom, M_f .

$$M_{pe} = C_{pr} R_y F_y Z_x \quad C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2F_y} \leq 1.2$$

$$R_y = 1,1 \quad \text{dan} \quad C_{pr} = (350 + 480)/(2 \times 350) = 1,19 < 1,2$$

$$M_{pe} = 1,19 \times 1,1 \times 350 \times 4010 \times 10^3 \times 10^{-6} = 1837,18 \text{ kN.m}$$

Prakirakan lokasi sendi plastis:



$$L_p = L_{st} + t_p = 320 \text{ mm (prakiraan)}; \quad L = 6 \text{ m}$$

$$L' = L - d_c - 2L_p = 6000 - 678 - 2 \times 320 = 4682 \text{ mm}$$

$$V_{gravity} = 1,2V_d + 0,5V_1 \quad (\text{dari analisis struktur}) \\ = 99,54 \text{ kN}$$

$$V_u = 2M_{pe}/L' + V_{gravity} \\ = 2 \times 1837,18 / 4,682 + 99,54 = 884,32 \text{ kN}$$

$$M_f = M_{pe} + V_u L_p \\ = 2120,16 \text{ kN.m}$$

(2) Pilih konfigurasi sambungan (dalam contoh ini dipilih sambungan seismik momen plat ujung diperluas dengan 8 baut) dan isi data geometriknnya

$$b_p = b_{bf} + 25 \text{ mm} = 278 \text{ mm}; \quad g = 127 \text{ mm}; \quad p_{fi} = p_{fo} = 50 \text{ mm}; \quad p_b = 95 \text{ mm}; \quad d_e = 40 \text{ mm}$$

$$h_1 = d_b + p_{fo} + p_b - t_{bf}/2 = 815 \text{ mm}; \quad h_2 = d_b + p_{fo} - t_{bf}/2 = 720 \text{ mm}$$

$$h_3 = d_b - p_{fi} - t_{bf} - t_{bf}/2 = 604 \text{ mm}; \quad h_4 = d_b - t_{bf} - p_{fi} - p_b - t_{bf}/2 = 509 \text{ mm}$$

(3) Hitung diameter baut yang dibutuhkan

$$\text{Baut ASTM A325 } F_{nt} = 90 \text{ ksi} = 620 \text{ MPa}; \quad \phi_n = 0,75$$

$$d_{b \text{ req'd}} = \sqrt{\frac{2 M_f}{\pi \phi_n F_{nt} (h_1 + h_2 + h_3 + h_4)}} \\ = 33,12 \text{ mm}$$

- (4) Coba baut dengan diameter = 36 mm

$$P_t = \text{kuat tarik baut} = F_{nt} \cdot A_b = 620 \times \pi \times 36^2 / 4 \times 10^{-3} = 630,76 \text{ kN.}$$

$M_{np} = \text{no prying bending moment}$

$$= 2 \cdot P_t \cdot (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) = 2 \times 630,76 \times (815 + 720 + 640 + 509) \times 10^{-3}$$

$$= 3340,5 \text{ kN.m}$$

$$\phi M_{np} = 0,75 \times 3340,5 = 2505,38 \text{ kN.m} > M_f = 2120,16 \text{ kN.m} \quad \text{OK}$$

- (5) Hitung tebal plat ujung yang diperlukan

Parameter mekanisme garis leleh plat ujung diambil dari Tabel 6.4 ANSI/AISC 358-05[2].

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g}$$

untuk $d_e < s$

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{2d_e} \right) + h_2 \left(\frac{1}{p_{fo}} \right) + h_3 \left(\frac{1}{p_{fi}} \right) + h_4 \left(\frac{1}{s} \right) \right]$$

$$+ \frac{2}{g} \left[h_1 \left(d_e + \frac{pb}{4} \right) + h_2 \left(p_{fo} + \frac{3pb}{4} \right) + h_3 \left(p_{fi} + \frac{pb}{4} \right) + h_4 \left(s + \frac{3pb}{4} \right) + p_b^2 \right] + g$$

$$s = 94 \text{ mm} > p_{fi} = 50 \text{ mm}; \quad d_e = 40 \text{ mm} < s = 94 \text{ mm}$$

Tebal plat ujung yang diperlukan :

$$t_{p \text{ req } d} = \sqrt{\frac{1.11 M_f}{\phi_d F_{yp} Y_p}}$$

$$Y_p = 10337,34 \text{ mm}; \quad \phi_d = 0,9; \quad F_{yp} = 350 \text{ MPa}$$

$$t_{p \text{ req } d} = 26,88 \text{ mm}$$

- (6) Ambil tebal plat ujung $t_p = 28 \text{ mm} > 26,88 \text{ mm}$

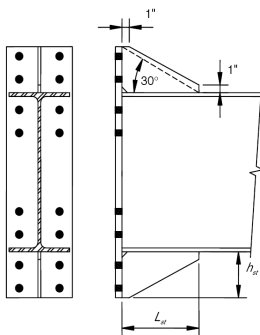
- (7) Hitung gaya terfaktor pada sayap balok

$$F_{fu} = \frac{M_f}{d - t_{bf}}$$

$$= 2120,16 / ((678 - 16) \times 10^{-3}) = 3202,66 \text{ kN}$$

- (8) dan (9) untuk sambungan plat ujung dengan 4 baut

- (10) Hitung tebal dan panjang dari plat pengaku pada plat ujung



$$t_{s, \text{min}} = t_{bw} \left(\frac{F_{yb}}{F_{ys}} \right)$$

$$t_{s, \min} = 12 \times (350/350) = 12 \text{ mm}; \quad h_{st} = p_{fo} + p_b + d_e = 50 + 95 + 40 = 185 \text{ mm}$$

$$L_{st} = h_{st} / \tan 30 = 320,6 \text{ mm} \sim 320 \text{ mm} \text{ (taksiran awal)} \quad \text{OK}$$

Periksa terhadap kemungkinan terjadi tekuk setempat

$$\frac{h_{st}}{t_s} \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}}$$

$$E = 200.000 \text{ MPa} \text{ dan } F_{ys} = 350 \text{ MPa:}$$

$h_{st} / t_s \leq 13, 28$, diperlukan $t_s = 185/13,38 = 13,82 \text{ mm}$ untuk mencegah terjadi tekuk setempat, ambil $t_s = 16 \text{ mm}$. Dipakai pengaku $16 \times 185 \times 320 \text{ mm}$

(11) Periksa kuat patah geser dari baut pada sayap desak.

$$V_u < \phi_n R_n = \phi_n (n_b) F_v A_b$$

$$\phi_n = 0,75; \quad A_b = \pi \times 36^2/4 \text{ mm}^2$$

$n_b = \text{jml baut pd sayap desak} = 8$; $F_v = \text{teg. geser nominal baut} = 330 \text{ MPa}$

$$V_u = 884,32 \text{ kN} < \phi_n R_n = 2014, 37 \text{ kN} \quad \text{Ok}$$

(12) Periksa kegagalan tumpu/sobek pada plat ujung and sayap kolom

$$V_u < \phi_n R_n = \phi_n (n_i) r_{ni} + \phi_n (n_o) r_{no}$$

$n_i = \text{jumlah baut sebelah dalam} = 4$; $n_o = \text{jumlah baut sebelah luar} = 4$

$$r_{ni} = 1.2 L_c t F_u < 2.4 d_b t F_u$$

$$r_{no} = 1.2 L_c t F_u < 2.4 d_b t F_u$$

$t_{cf} = 24,4 \text{ mm}$ dan $t_p = 28 \text{ mm}$ sehingga $t = 24,4 \text{ mm}$

untuk baut dengan jarak antar baut = $p_b = 95 \text{ mm}$: $L_c = 95 - (36+2) = 57 \text{ mm}$

$$r_{ni} = r_{no} = 1,2 \times 57 \times 24,4 \times 480 \times 10^{-3} = 801,1 \text{ kN/baut} < 2,4 d_b t F_u = 995 \text{ kN/baut}$$

$$V_u = 884,32 \text{ kN} < (0,75 \times 4 \times 801,1 + 0,75 \times 4 \times 801,1) = 4806,6 \text{ kN} \quad \text{Ok}$$

(13) Rencanakan las pada sayap dan badan balok ke plat ujung

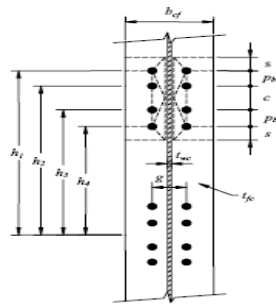
Perencanaan Pada Bagian Kolom

(14) Periksa sayap kolom yang tidak diperkuat terhadap leleh lentur.

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_{fc} g} \quad c = p_{fo} + t_{fb} + p_{fi}$$

$$s = 96,45 \text{ mm} \text{ dan } c = 116 \text{ mm}$$

Parameter mekanisme garis leleh sayap kolom diambil dari Tabel 6.6 ANSI/AISC 358-05.



$$t_{cf \text{ req'd}} = \sqrt{\frac{1.11 M_f}{\phi_d F_{yc} Y_c}} \leq t_{cf}$$

$$Y_c = \frac{b_{cf}}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} \right) + h_4 \left(\frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[h_1 \left(p_b + \frac{c}{2} + s \right) + h_2 \left(\frac{p_b}{2} + \frac{c}{4} \right) + h_3 \left(\frac{p_b}{2} + \frac{c}{2} \right) + h_4 (s) \right] + \frac{g}{2}$$

$Y_c = 7920,17 \text{ mm}$ (tanpa plat pengaku)

$t_{cf \text{ req'd}} = 30,71 \text{ mm} > t_{cf} = 24,4 \text{ mm}$. Ada 2 pilihan antara menaikkan ukuran kolom atau memakai plat menerus sebagai pengaku. Pilihan terakhir yang dipakai.

Dicoba dengan plat pengaku $t_s = 40 \text{ mm}$.

$$p_{so} = p_{si} = (c - t_s)/2 = (116 - 40)/2 = 38 \text{ mm}$$

$$Y_c = \frac{b_{cf}}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} \right) + h_2 \left(\frac{1}{p_{so}} \right) + h_3 \left(\frac{1}{p_{si}} \right) + h_4 \left(\frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[h_1 \left(s + \frac{p_b}{4} \right) + h_2 \left(p_{so} + \frac{3p_b}{4} \right) + h_3 \left(p_{si} + \frac{p_b}{4} \right) + h_4 \left(s + \frac{3p_b}{4} \right) + p_b^2 \right] + g$$

$Y_c = 12097,6 \text{ mm}$ (dengan plat pengaku)

$$t_{cf \text{ req'd}} = 24,85 \text{ mm} \sim t_{cf} = 24,4 \text{ mm}. \quad \text{OK}$$

(15) Hitung kekuatan sayap kolom tanpa pengaku

$Y_c = 7920,17 \text{ mm}$ (tanpa plat pengaku)

$$\phi_d M_{cf} = \phi_d F_{yc} Y_c t_{cf}^2$$

$$\begin{aligned} \phi_d M_{cf} &= 0,9 \times 350 \times 7920,17 \times 24,4^2 \times 10^{-6} \\ &= 1485,33 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Sehingga gaya rencana ekuivalen pada sayap kolom adalah

$$\phi_d R_n = \frac{\phi_d M_{cf}}{(d - t_{bf})}$$

$$\phi_d R_n = 1485,33 / ((678 - 16) \times 10^{-3}) = 2243,7 \text{ kN} < F_{ju} = 3202,66 \text{ kN}$$

$\phi_d R_n$ dipakai untuk menentukan gaya desak yang diperlukan untuk merencanakan plat pengaku pada langkah ke (19).

(16) Hitung kuat leleh lokal badan kolom yang tidak diperkuat pada posisi sayap balok

$$C_t = 1; \phi_d = 1$$

$$R_n = C_t (6k_c + t_{bf} + 2t_p) F_{yc} t_{cw}$$

$$\begin{aligned} \phi_d R_n &= 1,0 \times 1,0 (6 \times 45 + 16 + 2 \times 28) \times 350 \times 15,4 \times 10^{-3} \\ &= 1843,38 \text{ kN} < F_{ju} = 3202,66 \text{ kN} \end{aligned}$$

Perlu plat pengaku pada sayap kolom

- (17) Hitung kuat tekuk badan kolom yang tidak diperkuat pada posisi sayap desak balok

$$h = \text{jarak bersih antar sayap} = d_c - 2 k_c = 846 - 2 \times 45 = 756 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{24 t_{cw}^3 \sqrt{E F_{yc}}}{h}$$

$$\phi R_n = 0,75; \phi R_n = 727,55 \text{ kN} < F_{ju} = 3202,66 \text{ kN}$$

Perlu plat pengaku pada sayap kolom

- (18) Hitung *web crippling strength* dari badan kolom yang tidak diperkuat pada posisi sayap desak balok

$$R_n = 0.80 t_{cw}^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d_c} \right) \left(\frac{t_{cw}}{t_{cf}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yc} t_{cf}}{t_{cw}}}$$

$$\phi = 0,75; N \text{ diambil sama dengan } t_{bf}$$

$$\phi R_n = 1541,24 \text{ kN} < F_{ju} = 3202,66 \text{ kN}$$

Perlu plat pengaku pada sayap kolom

- (19) Bila plat pengaku diperlukan, gaya untuk merancang plat penerus sebagai pengaku adalah

$$F_{su} = F_{fu} - \min \phi R_n$$

$$\begin{aligned} F_{su} &= 3202,66 - \min. \text{ dari } (2243,7 \text{ kN}, 1843,38 \text{ kN}, 727,55 \text{ kN}, 1541,24 \text{ kN}) \\ &= 3202,66 - 727,55 = 2475,11 \text{ kN} \end{aligned}$$

- (20) Periksa kekuatan zona panel mengikuti ketentuan 9.3a dan 9.3b ANSI/AISC 341-05[1]

F. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari tulisan ini adalah:

1. Sambungan Plat Ujung Diperluas Diperkuat (*Stiffened Extended End Plate Connections*) yang direkomendasi oleh ANSI/AISC 358-05[2] dapat dipakai untuk SRPMK dengan kolom dalam.
2. Pemilihan balok untuk *capacity design* harus dilakukan dengan cermat agar tidak kesulitan dalam merancang sambungan, khususnya dalam perencanaan plat penerus sebagai pengaku sayap kolom dalam. Kolom dalam mempunyai tebal sayap yang lebih tipis potensial menjadi unsur penyulit dalam perencanaan sambungan.
3. *Preliminary Design Tables* dari Murray dan Sumner (2003)[8] sangat membantu dalam memandu profil balok apa yang bisa dipasangkan dengan profil kolom yang sambungan momen seismik dengan plat ujung ada solusinya yang operasional.

G. DAFTAR PUSTAKA

- 1) ANSI/AISC 341 (2005), *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, Including Supplement No 1*, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.
- 2) ANSI/AISC 358 (2005), *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.
- 3) Carter, C.J. (1999), *AISC/Steel Design Guide 13 Wide-Flange Column Stiffening at Moment Connections – Wind and Seismic Applications*, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.
- 4) CISC (1993), *Handbook of Steel Construction*, Canadian Institute of Steel Construction
- 5) Ishler, M. and Becker, R. (1996), *Seismic Design Practice For Eccentrically Braced Frames – Based On the 1994 UBC*, Steel TIPS. Moraga, CA:Structural Steel Educational Council.
- 6) Jason, E. and Gregory, K. (2007) *Prequalified Seismic Moment Connections – Visual Summary of the Seismic Requirements for Two Prequalified Moment Connections*, SteelWise, January 2007.
- 7) Murray, T. M. and Shoemaker W. L. (2002), *AISC/MBMA Steel Design Guide 16 Flush and Extended Multiple Row – Moment End-Plate Connections*, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.
- 8) Murray, T. M. and Sumner, E. A. (2003), *AISC Design Guide 4 Extended End-Plate Moment Connections – Seismic and Wind Applications*, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.
- 9) Panitia Teknik Konstruksi Bangunan (2002), *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)*, Badan Standarisasi Nasional.
- 10) Panitia Teknik Konstruksi Bangunan (2002), *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002)*, Badan Standarisasi Nasional.
- 11) Shen Jay, Astaneh-Asl, A., and McCallen D.B. (2002), *Use of Deep Columns in Special Steel Moment Frames*, Steel TIPS. Moraga, CA:Structural Steel Educational Council.
- 12) Uang, C.M., Bruneau, M., Whittaker A. and Tsai, K.C. (2001), *Seismic Design of Steel Structures*, Springer Publisher, USA.