

APLIKASI SAMBUNGAN RBS PADA SRPMK DENGAN KOLOM DALAM

Junaedi Utomo¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44 Yogyakarta
Email: utomo@uajy.ac.id

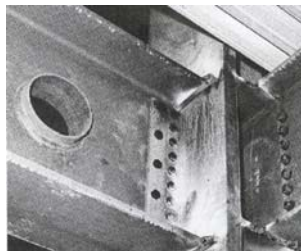
ABSTRAK

Salah satu cara efektif untuk mendapat kemampuan pemencaran energi tinggi pada rangka baja terbuka adalah dengan membuat coakan pada sayap atas dan bawah balok di dekat muka kolom. Hasilnya adalah sambungan momen yang dikenal sebagai sambungan *Reduced Beam Section (RBS)*. AISC telah membentuk *Connection Prequalification Review Panel (CPRP)* suatu 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 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) adalah dengan memakai dokumen hasil kerja *CPRP*. Sambungan momen *RBS* merupakan salah satu sambungan yang direkomendasi oleh *CPRP*. Pendetilan sambungan ini sesuai format *ANSI/AISC 358-05*. *FEMA-350-00* merekomendasi sambungan *RBS* untuk kolom W12 dan W14 namun *ANSI/AISC 358-05* telah memperluas rekomendasi ini untuk kolom dalam, sehingga sambungan *RBS* dapat dipakai sampai kolom W36. Sambungan *RBS*, meskipun perilaku histeretisnya bagus, punya kelemahan yaitu interaksi instabilitas lokal dan lateral yang dampaknya mengurangi kemampuan balok mendukung beban. Semakin ketatnya batasan simpangan antar lantai pada peraturan yang berlaku saat ini menuntut kekakuan lateral yang lebih besar pada struktur, salah satu cara untuk mendapatkan struktur yang lebih kaku adalah dengan menggunakan kolom dalam. Struktur baja enam lantai tahan gempa, dengan penahan gaya lateral berupa sistem ganda pada satu arah dan *SRPMK* dengan kolom dalam pada arah yang lain akan direncanakan dengan sambungan *RBS*. Batasan-batasan dari *ANSI/AISC 358-05* dan *ANSI/AISC 341-05* dipakai dalam perencanaan ini.

Kata kunci: sambungan momen *RBS*, kolom dalam, pengujian kualifikasi, rotasi inelastis, *ANSI/AISC 341-05*, *ANSI/AISC 358-05*

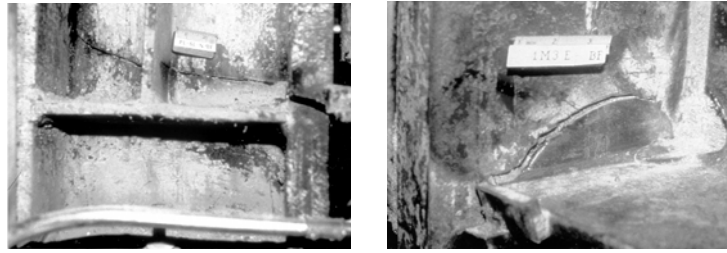
1. PENDAHULUAN

Gempa Northridge tanggal 17 Januari 1994 di California telah memunculkan kelemahan sambungan las pada rangka baja yang banyak dipakai sejak 1970. Sambungan tipikal yang dipakai adalah sambungan momen dengan sayap balok di las dan badan balok dibaut ke kolom seperti ditunjukkan oleh **Gambar 1** di bawah ini. Sambungan ini dipercaya punya cukup kekuatan untuk memungkinkan terjadinya kelelahan pada balok akibat lentur dan kelelahan pada panel akibat geser. Namun pemeriksaan pada 200 rangka baja setelah gempa Northridge menunjukkan bahwa kinerja sambungan ini tidak bagus. Hasil tes menunjukkan kapasitas rotasi sambungan ini hanya 0,004 radian, jauh dari target 0,03 radian (*ANSI/AISC 341-05*)



Gambar 1. Sambungan momen tipikal pra Gempa Northridge

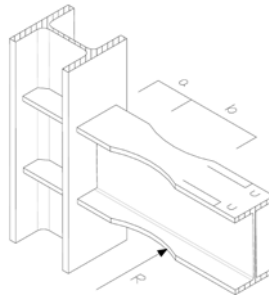
Adanya banyak kerusakan pada sambungan (**Gambar 2**) telah memicu program nasional di US yang didanai oleh *Federal Emergency Management Agency (FEMA)* untuk menyelidiki sebab-sebab kerusakan dan mencari sambungan-sambungan alternatif untuk perbaikan, rehabilitasi dan konstruksi baru. Hasil penelitian dari program nasional ini telah dibakukan dalam *AISC Seismic Provisions (ANSI/AISC 341-05)*.



Gambar 2. Kerusakan pada sambungan yang berpengaruh ke kolom

Ada tiga opsi untuk merencanakan sambungan pada rangka baja: (1) melakukan uji kualifikasi sesuai ketentuan di lampiran S dari *ANSI/AISC 341-05*, (2) memakai sambungan yang lolos kualifikasi oleh *Connection Prequalification Review Panel (CPRP)*, mengikuti ketentuan di lampiran P dari *ANSI/AISC 341-05*, dan (3) memakai sambungan yang telah dipatenkan yang telah sesuai ketentuan di lampiran P dan S dari *ANSI/AISC 341-05*.

AISC Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications (ANSI/AISC 358-05) memuat desain dan detail dari tiga tipe sambungan yang telah lolos kualifikasi untuk rangka baja, sambungan *Reduced Beam Section (RBS)* merupakan salah satunya. Sambungan *RBS* (**Gambar 3**) menarik karena perencana tidak perlu melakukan uji kualifikasi dan tidak perlu membayar royalti paten.



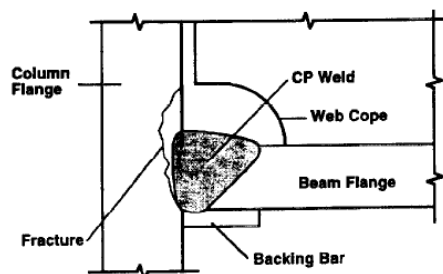
Gambar 3. Sambungan Reduced Beam Section (RBS)

Ketentuan 15.7.2 dalam Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002) untuk perencanaan sambungan balok-ke-kolom pada sistem pemikul beban gempa sesuai dengan ketentuan yang ada dalam standar *ANSI/AISC 341-05*.

2. SAMBUNGAN *RBS*

Kerusakan pada sambungan tipikal pra gempa Northridge

Banyaknya kerusakan, terutama fraktur getas pada las tumpul di sayap bawah balok (bahkan pada balok yang belum mengalami deformasi inelastis) membuat sambungan ini dipertanyakan kemampuannya untuk memencarkan energi gempa melalui deformasi inelastis. Fraktur, setelah mulai terjadi, sering merambat pada daerah kolom yang terkena pengaruh panas (*heat affected zone*). Gambar 2 menunjukkan: (1) fraktur berpropagasi sepanjang sayap, atau menembus sayap dan berlanjut ke badan kolom, (2) fraktur kadang juga muncul pada permukaan kolom, membuat sebagian sayap kolom lepas. Fraktur pada sayap bawah kolom ditunjukkan oleh **Gambar 4** berikut ini. Daerah sambungan las pada pertemuan sayap balok dan sayap kolom merupakan daerah yang tidak daktail, yang harus dilindungi terhadap regangan inelastis.

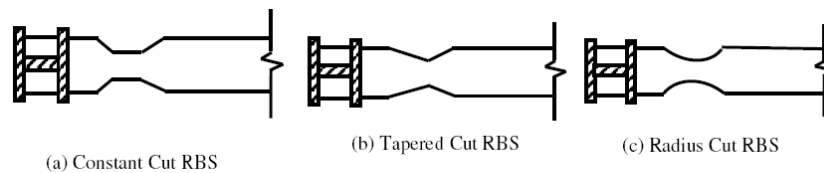


Gambar 4. Fraktur pada sayap bawah kolom

Usaha untuk mencari sambungan alternatif semuanya diarahkan untuk merelokasi sendi plastis pada balok dari permukaan kolom. Ada dua strategi yaitu: (1) memperlemah tampang balok di daerah dekat permukaan kolom, (2) memperkuat tampang balok di daerah permukaan kolom.

Ide dasar sambungan RBS

Ide dasar sambungan RBS adalah dengan membuat coakan pada sayap atas dan bawah balok di daerah dekat dengan sambungan. Dengan mengurangi tampang balok maka terbentuk daerah yang diperlemah yang merupakan lokasi untuk menampung deformasi inelastis. Daerah coakan ini jaraknya cukup jauh terhadap daerah sambungan sedemikian sehingga material las pada sambungan tetap elastik. Dengan strategi ini maka daerah sambungan akan terlindungi dari regangan inelastik saat rangka baja menahan beban gempa. Sendi plastis dirancang terjadi pada daerah balok yang dicoak, yang mempunyai potensi daktilitas tinggi. Bentuk coakan bisa bermacam-macam seperti ditunjukkan pada **Gambar 5** di bawah ini.

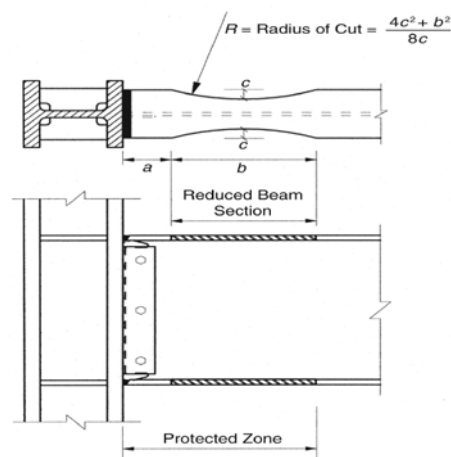


Gambar 5. Bentuk coakan pada sayap atas dan bawah balok

Penelitian menunjukkan keunggulan dari sambungan dengan *radius-cut*, sudut tajam pada coakan dihindari karena retak cenderung terjadi pada sudut itu saat balok mengalami gaya yang besar. Sambungan RBS kinerjanya lebih baik dari *pre-Northridge connection*, yaitu sambungan tipikal sayap balok dilas dan badan balok dibaut ke kolom (FEMA-350).

Mengurangi tampang balok pada segmen yang pendek (*protected zone*) merupakan usaha untuk membatasi gaya-gaya pada balok saat rangka baja mengalami beban gempa, sehingga kelelahan dan sendi plastis terjadi dalam balok. Sayap balok dilas ke sayap kolom dengan las tumpul penuh seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 6**. Bila memakai *backing bar* pada sayap atas dapat dibiarkan terpasang, sedangkan *backing bar* pada sayap bawah harus diambil. Sambungan pada badan balok dilakukan dengan plat geser yang dibaut atau dilas di lapangan.

Ketentuan 15.7.2 dan 15.8.2 SNI 03-1729-2002 menunjukkan sambungan RBS dapat dipakai pada sistem rangka pemikul momen terbatas atau khusus (SRPMT atau SRPMK). Sebagai pendekatan terhadap analisis detail (yang memasukkan pengaruh pengurangan kekakuan pada balok akibat coakan pada sayap atas dan bawah), analisis rangka boleh dilakukan dengan balok dianggap tidak ada pengurangan kekakuan dan simpangan elastik hasil analisis ditambah 7% sampai dengan 10% untuk mengakomodasi pengurangan kekakuan pada balok.



Gambar 6. Detil sambungan RBS

3. RANGKA BAJA DENGAN KOLOM DALAM

Rangka terbuka dengan sambungan RBS dan kolom dalam

Untuk rangka terbuka di daerah gempa besar, kolom dalam sangat efektif untuk mengurangi simpangan antar tingkat. Namun pemakaian kolom dalam ini perlu memperhatikan adanya torsi yang cukup besar yang bisa menyebabkan puntiran pada kolom. Ada dua faktor yang mempunyai pengaruh pada puntiran pada kolom (Tsai *et al.*, 2001): (1) Pada balok dengan sambungan RBS, amplitudo tekuk-puntir-lateral pada balok cenderung lebih besar. (2) Tegangan pada kolom akibat torsi warping sangat tergantung pada $(d_c - t_{cf})/t_{cf}^3$. Oleh karena itu bresing pada daerah dekat sambungan RBS diperlukan untuk mengurangi puntiran pada kolom.

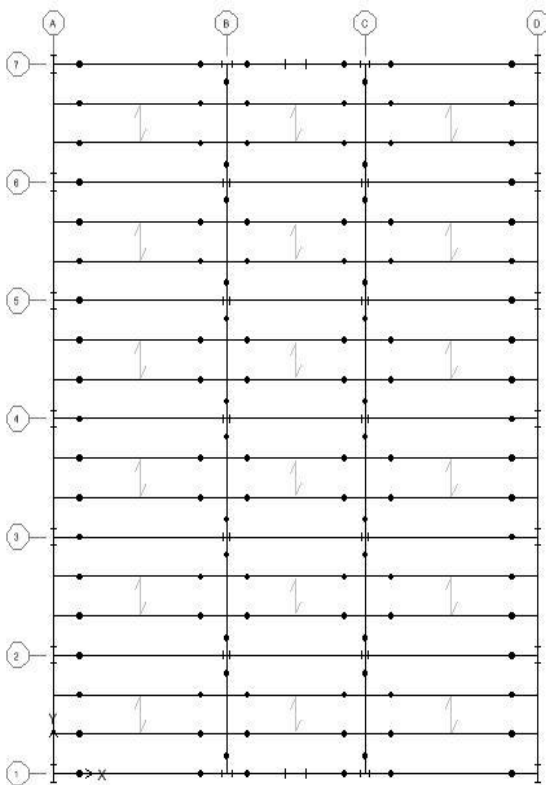
Untuk rangka terbuka dengan sambungan RBS, ANSI/AISC 358-05 mengizinkan pemakaian kolom dalam sampai W36 (*imperial*) atau W920 (SI) asalkan ada plat lantai komposit di atas balok atau ada bresing yang cukup bila tanpa lantai komposit. ANSI/AISC 358-05 membatasi sambungan RBS dilakukan sebagai *strong-axis connections* artinya sambungan RBS dilakukan dengan sayap balok dilas ke sayap kolom.

Struktur baja enam lantai dengan kolom dalam

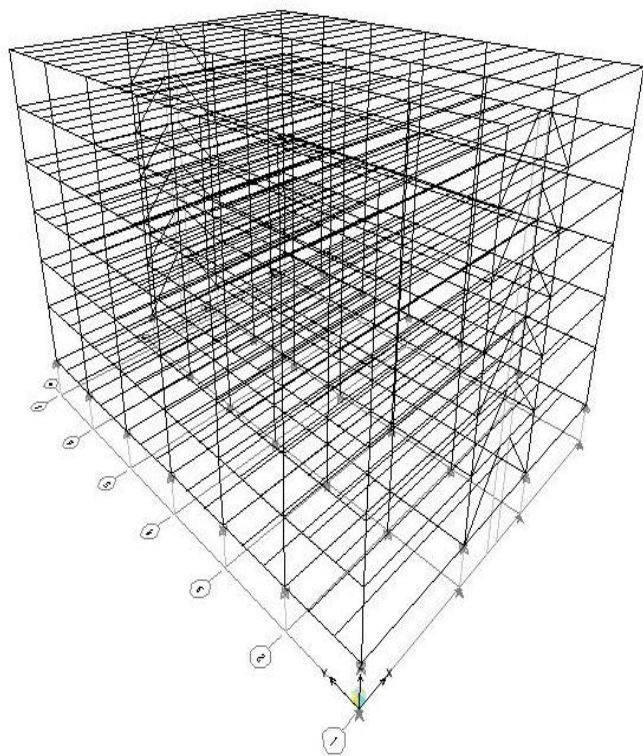
Pertimbangan-pertimbangan pada rangka terbuka dengan sambungan RBS di atas dimanifestasikan pada struktur baja enam lantai dengan *basement* berikut ini. *Release* pada balok diatur, sehingga terbentuk SRPMK (rangka A dan D) yang hanya menahan momen pada sumbu kuat saja. Plat lantai komposit di atas balok yang selain berfungsi sebagai plat lantai juga berfungsi untuk mengontrol puntir pada kolom dalam. *Layout*, pandangan 3D, rangka arah X dan rangka arah Y ditunjukkan oleh Gambar 7 sampai dengan Gambar 12.

Sistem penahan gaya lateral adalah sebagai berikut:

- Gempa Arah X: Penahan gaya lateral berupa sistem ganda, yaitu 2 SRBRE (rangka 1 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.
- Lokasi sambungan RBS yang direncanakan pada rangka A dan D ditunjukkan oleh Gambar 11.

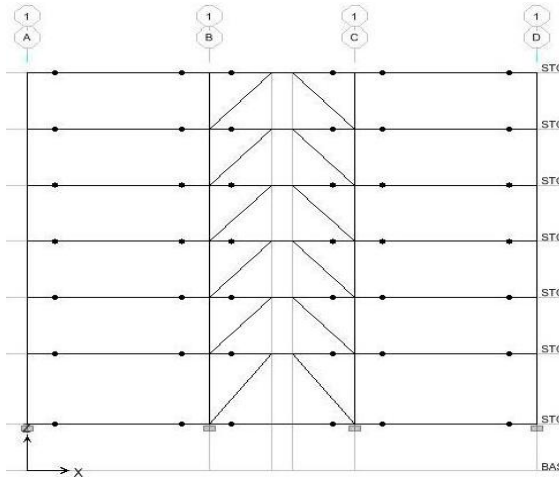


Gambar 7. Beam and Girder Layout

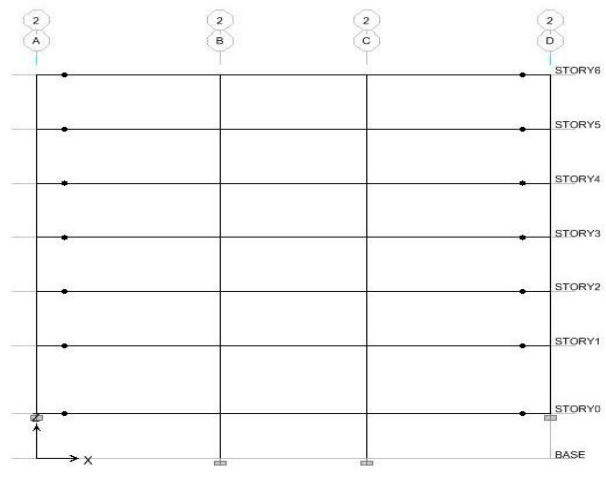


Gambar 8. Pandangan 3D

Arah X:

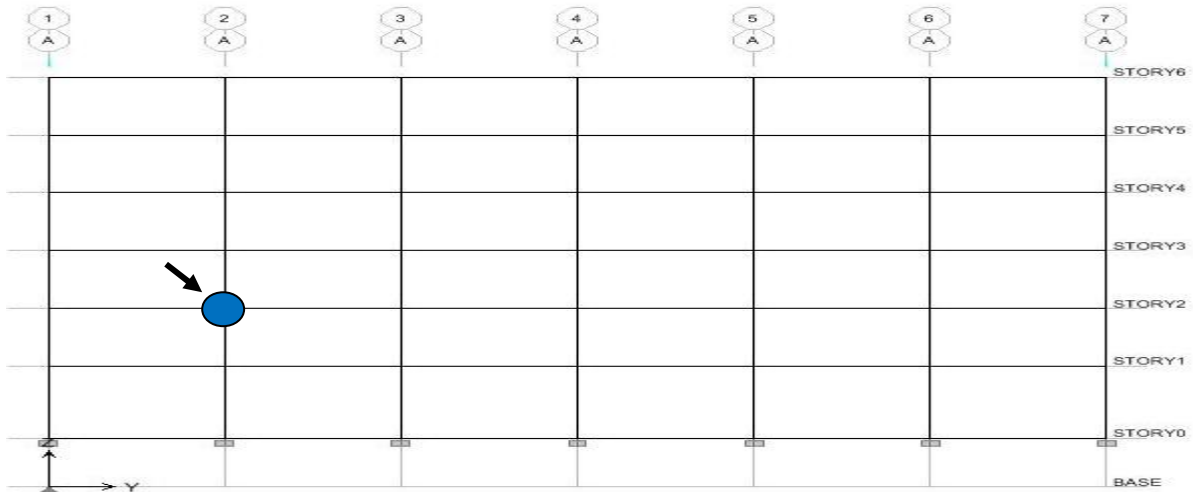


Gambar 9. SRBE Tepi (Rangka 1 dan 7)

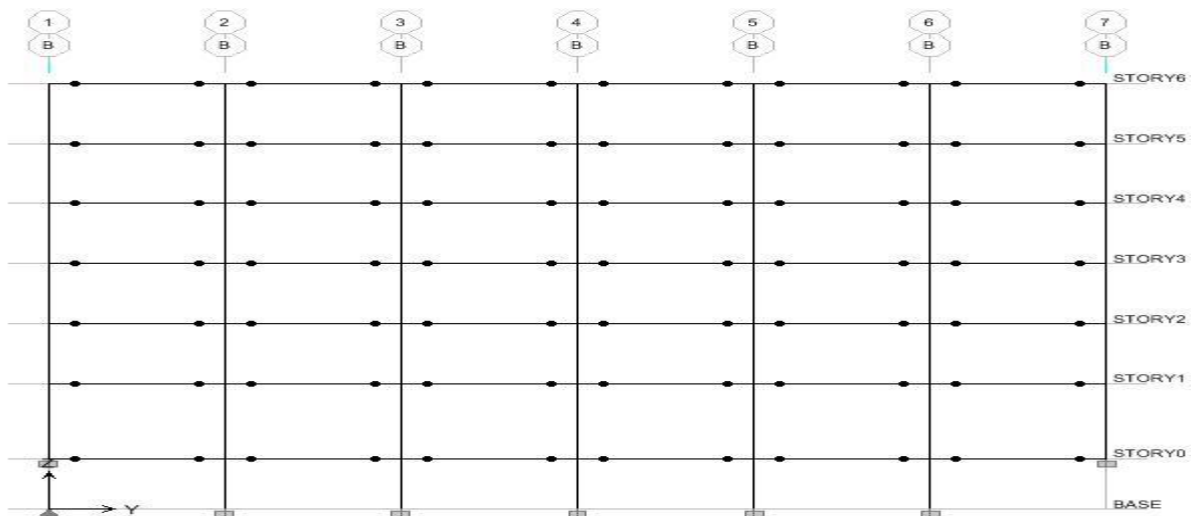


Gambar 10. SRPMK Tengah (Rangka 2 s.d. 6)

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)

4. PERENCANAAN SRPMK DENGAN SAMBUNGAN RBS

Dalam perancangan seismik rangka baja terbuka, sambungan balok dan kolom termasuk zona panel dan daerah pertemuan antara balok dan kolom harus memenuhi tiga kriteria: (1) cukup kuat untuk mengembangkan sendi plastis pada balok, (2) cukup kaku sebagai sambungan momen, dan (3) punya cukup kapasitas deformasi inelastis tanpa kehilangan kekuatannya.

Berikut adalah perencanaan sambungan RBS. Lokasi sambungan ditunjukkan pada **Gambar 11**. Sambungan ini untuk menahan beban siklis akibat gempa pada arah **Y**. Ketiga kriteria di atas dipenuhi dengan memperhitungkan kuat perlu, simpangan antar tingkat, kolom kuat-balok lemah, kapasitas zona panel dan bresing pada SRPMK.

Balok W690x140: $d_b = 684$ mm, $t_{bw} = 12,4$ mm, $b_{bf} = 254$ mm, $t_{bf} = 18,9$ mm, $Z_{bx} = 4550 \times 10^3$ mm³, $I_y = 51,7 \times 10^6$ mm⁴, $r_y = 53,9$ mm.

Kolom W840x226: $d_c = 851$ mm, $t_{cw} = 16,1$ mm, $b_{cf} = 294$ mm, $t_{cf} = 26,8$ mm, $Z_{cx} = 9160 \times 10^3$ mm³, $A_g = 28900$ mm², $k_1 = 27$ mm, $k = 48$ mm.

Perencanaan Sambungan RBS (Kevin dan Feng, 2007)

1. Tentukan lokasi dan konfigurasi sendi plastis

- Dari **Gambar 7** dan *ANSI/AISC 358-05, section 5.8*:

$$0,5 b_{bf} = 0,5 \times 254 = 127 \text{ mm} \leq a \leq 0,75 b_{bf} = 0,75 \times 254 = 190,5 \text{ mm} \rightarrow \text{ambil } a = 150 \text{ mm}$$

$$0,65 d_b = 0,65 \times 684 = 444,6 \text{ mm} \leq b \leq 0,85 d_b = 0,85 \times 684 = 581,4 \text{ mm} \rightarrow \text{ambil } b = 500 \text{ mm}$$

$$0,1 b_{bf} \leq c \leq 0,25 b_{bf}, \text{ dengan coakan } 45\% \text{ pada sayap balok: } c = 0,45 (b_{bf} / 2) = 57,15 \text{ mm}$$

$$\rightarrow \text{ambil } c = 57 \text{ mm, } c = 0,22 b_{bf} < 0,25 b_{bf}$$

- Tentukan jari jari dari coakan pada sayap balok:

$$R = \frac{4c^2 + b^2}{8c} = \frac{4 \times 57^2 + 500^2}{8 \times 57} = 576,75 \text{ mm}$$

- Tentukan jarak dari as kolom ke sambungan RBS

$$S_h = d_c/2 + a + b/2 = 851/2 + 150 + 500/2 = 825,5 \text{ mm}$$

- Tentukan jarak antar sendi plastis pada balok

$$L = \text{bentang balok} = 6000 \text{ mm}$$

$$L' = \text{jarak antar sendi plastis} = L - 2 S_h = 6000 - 2 \times 825,5 \text{ mm} = 4349 \text{ mm}$$

2. Tentukan modulus plastis di sambungan RBS (*ANSI/AISC 358, equation 5.8-4*)

$$Z_e = Z_{bx} - 2 c t_{bf} (d_b - t_{bf}) = 4550 \times 10^3 - 2 \times 57 \times 18,9 (684 - 18,9) = 3116975,54 \text{ mm}^3$$

3. Tentukan momen maksimum yang mungkin terjadi pada sambungan RBS

$$M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_e \quad C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2 F_y} \leq 1,2$$

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

$$M_{pr} = 1,19 \times 1,1 \times 350 \times 3116975,54 \times 10^{-6} = 1428,04 \text{ kN.m}$$

4. Hitung gaya geser pada masing-masing pusat sambungan RBS

$$V_{pr} = 2 M_{pr} / L' = 2 \times 1428,04 \times 10^3 / 4349 = 656,72 \text{ kN}$$

$$V_{gravity} = 1,2 V_d + 0,5 V_l = 96,52 \text{ kN} \rightarrow \text{dari analisis struktur}$$

$$V_{RBS} = V_{gravity} \pm V_{pr} = 96,52 \pm 656,72$$

$$= 96,52 + 656,72 = 753,24 \text{ kN} \rightarrow \text{menentukan}$$

$$= 96,52 - 656,72 = -560,2 \text{ kN}$$

5. Tentukan momen maksimum yang mungkin terjadi pada muka kolom

$$M_f = M_{pr} + V_{RBS} (a + b/2) \quad (\text{ANSI/AISC 358-05, equation 5.8-6})$$

$$M_f = 1428,04 + 753,24 (150 + 500/2) \times 10^3 = 1729,34 \text{ kN.m} \rightarrow \text{menentukan}$$

$$M_f = -1428,04 + (-560,2) (150 + 500/2) \times 10^3 = -1652,12 \text{ kN.m}$$

6. Hitung momen plastis pada balok (*ANSI/AISC 358-05, equation 5.8-7*)

$$M_{pe} = Z_{bx} \cdot R_y \cdot F_{yb} = 4550 \times 10^3 \times 1,1 \times 350 \times 10^{-6} = 1751,75 \text{ kN.m}$$

7. Periksa M_f tidak melebihi $\phi_d \cdot M_{pe}$ (*ANSI/AISC 358-05, equation 5.8-8*)

$$M_f / (\phi_d \cdot M_{pe}) = 1729,34 / (1,0 \times 1751,75) = 0,99 < 1 \rightarrow \text{ok}$$

8. Tentukan kuat geser dari balok

$$V_u = V_{RBS} = 753,24 \text{ kN} \quad (\text{ANSI/AISC 358-05, equation 5.8-9})$$

$$\text{Web in shears} \quad (\text{ANSI/AISC 341-05, Table I-8-1})$$

$$d_b/t_{bw} < 2,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow 684/12,4 = 55,16 < 2,45 \sqrt{\frac{200000}{350}} = 58,57 \rightarrow \text{ok}$$

ANSI/AISC 360 G2-1 and G2-2: $V_n = 0.6 F_y A_w C_v, C_v = 1.0$

$$V_n = 0,6 \times 350 \times 684 \times 12,4 \times 1 \times 10^{-3} = 1781,14 \text{ kN} > V_u = 753,24 \text{ kN}$$

Jadi balok mampu menahan geser akibat beban-beban yang bekerja.

9. Periksa kebutuhan pelat menerus (ANSI/AISC 358-05, section 2.4.4)

$$t_{cf} \geq 0.4 \sqrt{1.8 b_{bf} t_{bf} \frac{F_{yb} R_{yb}}{F_{yc} R_{yc}}} \geq 0.4 \sqrt{1.8 \times 254 \times 18,9 \frac{350 \times 1,1}{350 \times 1,1}} = 38,18 \text{ mm}$$

$$t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{6} \geq \frac{254}{6} = 42,33 \text{ mm}$$

$t_{cf} = 26,8 \text{ mm} \rightarrow$ jadi perlu pelat menerus.

Luas bidang kontak dari pelat menerus ke sayap kolom dihitung sebagai berikut:

$$A_{pb} = W_{pb-flange} t_{cont-pl}$$

$$W_{pb-flange} = b_{cont-pl} - ("k1_{cot}"+0.25in.)$$

$$b_{cont-pl} = (b_{cf} - t_{cw}) / 2 = (294 - 16,1) / 2 = 138,95 \text{ mm}$$

$$W_{pb-flange} = 138,95 - (27 + 6) = 105,95 \text{ mm}$$

Dari ANSI/AISC 360 - J7: $0.9(1.8)F_y A_{pb} \geq \left(\frac{M_f}{d_b - t_{bf}} \right)$

$$A_{pb} \geq (1729,34 \times 10^3) / (684 - 18,9) / (0,9 \times 1,8 \times 350) = 4585,75 \text{ mm}^2$$

$$t_{cont-pl} \geq A_{pb} / W_{pb-flange} = 4585,75 / 105,95 = 43,28 \text{ mm}$$

pakai dua pasang pelat menerus 44 x 140 mm sejajar dengan sayap balok.

10. Periksa zona panel pada kolom

$$d_z = d_p = \text{tebal zona panel antar plat menerus} = d_b - t_{cont-pl} = 684 - 44 = 640 \text{ mm}$$

$$w_z = \text{lebar zona panel antar sayap kolom} = d_{cf} - 2t_{cf} = 851 - 2 \times 26,8 = 797,4 \text{ mm}$$

$$M_f = 1729,34 \text{ kN.m} \text{ atau } M_f = -1652,12 \text{ kN.m}$$

$$R_u = \sum M_f / d_p = (1729,34 + 1652,12) \times 10^3 / 640 = 5283,53 \text{ kN}$$

Kuat geser zona panel (ANSI/AISC 360, J10-11): $\phi R_v = \phi(0.6)F_y d_c t_w \left[1 + \frac{3b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_w} \right]$

$$\phi R_v = 1,0 \times 0,6 \times 350 \times 851 \times 16,1 \times \left(1 + \frac{3 \times 294 \times 26,8^2}{684 \times 851 \times 16,1} \right) \times 10^{-3} = 3137,88 \text{ kN} > R_u = 5283,53 \text{ kN} \rightarrow \text{perlu pelat pengganda}$$

Tebal minimum zona panel (ANSI/AISC 341-05 section 9.3b):

$$t_z = 16,1 \text{ mm} > (d_z + w_z) / 90 = (640 + 797,4) / 90 = 15,97 \text{ mm} \rightarrow \text{ok}$$

Hitung tebal pelat pengganda: $t_{doubler-pl} = \frac{R_u - \phi 0.6 F_{yc} \frac{3b_{cf} t_{cf}^2}{d_b}}{\phi 0.6 F_{yc} d_c} - t_{cw} = 12,37 \text{ mm}$

\rightarrow pakai sepasang pelat pengganda tebal 8 mm

Dengan $t_w = t_{cw} + t_{doubler-pl} = 16,1 + 2 \times 8 = 32 \text{ mm}$, hitung ϕR_v dengan $t_w = 32 \text{ mm}$:

$$\phi R_v = 5931,08 \text{ kN} > R_u = 5283,53 \text{ kN} \rightarrow \text{ok}$$

11. Periksa rasio momen kolom dan momen balok (ANSI/AISC 341-05, 9-3)

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} \geq 1.0 \quad M_{pc}^* = Z_c \left(F_{yc} - \frac{P_{uc}}{A_g} \right) \quad M_{pb}^* = M_{pr} + M_v$$

$$P_{uc} = 1213,42 \text{ kN (dari analisis struktur)}$$

$$\sum M_{pc}^* = 2 \times 9160 \times 10^3 (350 - 1213,42 \times 10^3 / 28900) \times 10^{-6} = 5642,8 \text{ kN.m}$$

$$M_v = (V_{RBS} + V_{RBS}) \times S_h = (753,24 + 560,2) \times 825,5 \times 10^{-6} = 1,08 \text{ kN.m}$$

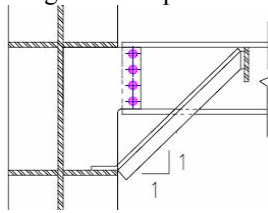
$$\sum M_{pb}^* = 2 \times 1428,04 + 1,08 = 2857,16 \text{ kN.m}$$

$$\sum M_{pc}^* / \sum M_{pb}^* = 5642,8 / 2857,16 = 1,97 > 1 \rightarrow \text{ok}$$

12. Periksa terhadap kebutuhan bresing lateral pada kolom

$$\sum M_{pc}^* / \sum M_{pb}^* = 5642,8 / 2857,16 = 1,97 < 2 \rightarrow \text{perlu bresing lateral}$$

Sayap kolom perlu diberi bresing pada posisi sayap bawah balok saja. Bresing dengan bantuan balok tegak lurus dengan siku seperti **Gambar 12** berikut ini.



Gambar 12. Lateral bresing pada kolom

13. Periksa terhadap kebutuhan lateral bresing pada balok

$$L_{br} = \text{panjang maksimum tanpa bresing} \rightarrow \text{ANSI/AISC 341-05, 9.8: } L_{br} = \frac{0.086 r_{by} E}{F_{yb}}$$

$$L_{br} = 0,086 \times 53,9 \times 200000 \times 10^{-3} / 350 = 2,65 \text{ m}$$

Bresing pada jarak 1/3 bentang: $L_b = 6 / 3 = 2 \text{ m}$, balok komposit W690 x 125 pada arah tegak lurus balok setiap jarak 2 m juga bekerja baik sebagai *nodal bracing/torsional bracing*.

Untuk lokasi dekat sendi plastis diberi *nodal bracing* dengan menambahkan balok pada jarak jarak 10/3 m sejajar balok W690x140. Gaya aksial yang harus ditahan oleh bresing adalah:

$$P_{br} = 0.02 \frac{M_r C_d}{d_b - 2(t_{bf} / 2)} = 0,02 \times (1428,04 \times 10^3 \times 2) / (684 - 18,9) = 85,88 \text{ kN}$$

$$L_{br} = \sqrt{3,33^2 + 0,684^2} = 3,4 \text{ m} \rightarrow \text{dipakai siku tunggal L125x125x13 mm dengan kapasitas } \phi R_n = 250 \text{ kN} > P_{br}$$

5. KESIMPULAN

1. Sambungan *Reduced Beam Section (RBS)* yang direkomendasi oleh *ANSI/AISC 358-05* dapat dipakai untuk SRPMK dengan kolom dalam.
2. Kedalaman coakan pada balok (parameter c) sangat sensitif terhadap momen lentur pada muka kolom (M_f). Bila M_f melebihi kapasitas momen plastis balok maka usaha untuk membatasi momen pada muka kolom saat rangka mengalami beban gempa tidak tercapai, sehingga kedalaman coakan perlu ditambah. Coakan dengan reduksi 45% dapat dipakai sebagai langkah awal merancang sambungan *RBS*.
3. Tebal badan dari kolom dalam sebaiknya diperiksa/ditaksir dulu kecukupannya untuk menghindari pemakaian kolom dalam dengan tebal badan yang tidak mencukupi, sehingga proses perancangan perlu diulang dengan kolom dalam yang lebih berat.

DAFTAR PUSTAKA

- ANSI/AISC 341. (2005). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. American Institute of Steel Construction. Chicago, IL.
- ANSI/AISC 358. (2005). *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*. American Institute of Steel Construction. Chicago, IL.
- ANSI/AISC 360. (2005). *Specification for Structural Steel Buildings*. American Institute of Steel Construction. Chicago, IL.
- CISC. (1993). *Handbook of Steel Construction*. Canadian Institute of Steel Construction
- Jason, E. dan Gregory, K. (Januari 2007). *Prequalified Seismic Moment Connections – Visual Summary of the Seismic Requirements for Two Prequalified Moment Connections*. SteelWise.
- Kevin, S.M., and Feng, J.Y. (2007), *Design of RBS Connections for Special Moment Frames*. Steel TIPS. Moraga, CA: Structural Steel Educational Council.
- Panitia Teknik Konstruksi Bangunan. (2002). *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002)*. Badan Standarisasi Nasional.
- Shen Jay, Astanah-Asl, A., dan McCallen D.B. (2002). *Use of Deep Columns in Special Steel Moment Frames*. Steel TIPS. Moraga, CA: Structural Steel Educational Council.
- Uang, C.M., Bruneau, M., Whittaker A. dan Tsai, K.C. (2001). *Seismic Design of Steel Structures*. Springer Publisher. USA.