

PERENCANAAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS PADA KOMPONEN BALOK-KOLOM DAN SAMBUNGAN STRUKTUR BAJA GEDUNG BPJN XI

Jusak Jan Sampakang

R. E. Pandaleke, J. D. Pangouw, L. K. Khosama

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: jusaksampakang@yahoo.com

ABSTRAK

Dalam perencanaan konstruksi bangunan saat ini perencana dituntut untuk merencanakan bangunan yang daktail, yaitu bangunan yang dapat menahan respon inelastik yang diakibatkan oleh beban gempa yaitu dikenal dengan sistem rangka pemikul momen. Sulawesi Utara yang termasuk dalam zona gempa 5 yaitu wilayah dengan tingkat kegempaan yang tinggi sehingga analisis strukturnya dapat direncanakan dengan metode sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK).

Penelitian ini mengikuti tatacara perencanaan menurut American Institute of Steel Construction AISC 341-10, AISC 358-10, AISC 360-10 dan Standar Nasional Indonesia SNI 03-1729-2002 yang menggunakan output program ETABS pada bangunan Gedung BPJN XI berupa model struktur, dimensi penampang struktur serta gaya dalam yang diperlukan untuk diperiksa terpenuhinya kriteria perencanaan sistem rangka pemikul momen khusus pada komponen balok-kolom, serta menentukan lokasi sendi plastis pada balok untuk perencanaan sambungan agar tercapainya strong column weak beam. Dalam perencanaan sambungan digunakan model sambungan bolted flange plate moment connection.

Berdasarkan hasil analisis dan desain pada bangunan Gedung BPJN XI ditemukan bahwa penampang balok 2 dengan profil WF 340 X 250 dan penampang kolom dengan profil WF 400 X 400 tidak memenuhi kriteria penampang untuk sistem rangka pemikul momen khusus, sehingga penulis melakukan redesain pada kedua penampang tersebut dan merekomendasikan profil WF 440 X 300 pada penampang balok dan profil WF 414 X 405 pada penampang kolom yang telah masuk dalam kriteria perencanaan sistem rangka pemikul momen khusus. Dalam perencanaan sambungan penulis mendesain dua macam jenis sambungan untuk masing-masing tipe profil balok yang telah memenuhi kriteria perencanaan strong column weak beam.

Kata kunci : Daktail, SRPMK, bolted flange plate moment connection, strong column weak beam.

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dalam bidang teknik sipil saat ini yang begitu pesat, hal tersebut sangat membantu manusia dalam melakukan analisis struktural yang rumit dan menggunakan waktu yang lama menjadi analisis yang mudah dan cepat. Dalam mendesain bangunan seorang perencana dituntut untuk mendesain suatu bangunan dengan kualitas yang baik dengan biaya yang seefisien mungkin serta memenuhi fungsi dan kebutuhan bangunan. Selain itu seorang perencana juga diharuskan untuk memilih

bahan bangunan yang tepat untuk perencanaannya.

Dalam perencanaan konstruksi saat ini dikenal dua bahan material yang cukup populer dalam perencanaan konstruksi gedung bertingkat yaitu beton dan baja. Struktur yang dihasilkan kedua material ini cukup baik, tapi pada kesempatan ini peneliti ingin membuat perencanaan dengan menggunakan struktur baja. Itu disebabkan karena struktur baja memiliki struktur yang stabil, cukup kuat, mampu layan, awet serta memberikan kemudahan dalam pelaksanaan.

Sekarang ini juga di kawasan Indonesia sudah sangat populer dengan konstruksi

bangunan bertingkat banyak. Dalam merencanakan suatu gedung bertingkat seorang perencana diharuskan memperhatikan letak geografis dari Negara Indonesia yang merupakan daerah rawan terjadinya gempa bumi.

Wilayah Indonesia memiliki 6 wilayah gempa, dimana wilayah gempa 1 adalah wilayah dengan kegempaan paling rendah dan wilayah gempa 6 dengan kegempaan paling tinggi. Pembagian wilayah gempa ini, didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh gempa rencana dengan periode ulang 500 tahun. (SNI-1726-2002)

Dengan kata lain sebagai seorang perencana juga dituntut untuk menciptakan suatu konstruksi bangunan yang daktail, yaitu bangunan yang dapat menahan respon inelastik yang diakibatkan oleh beban gempa. Di Indonesia ada 3 (tiga) macam sistem struktur yang digunakan yaitu :

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

Metode ini digunakan untuk perhitungan struktur gedung yang masuk pada zona 1 dan 2 yaitu wilayah dengan tingkat kegempaan rendah.

2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

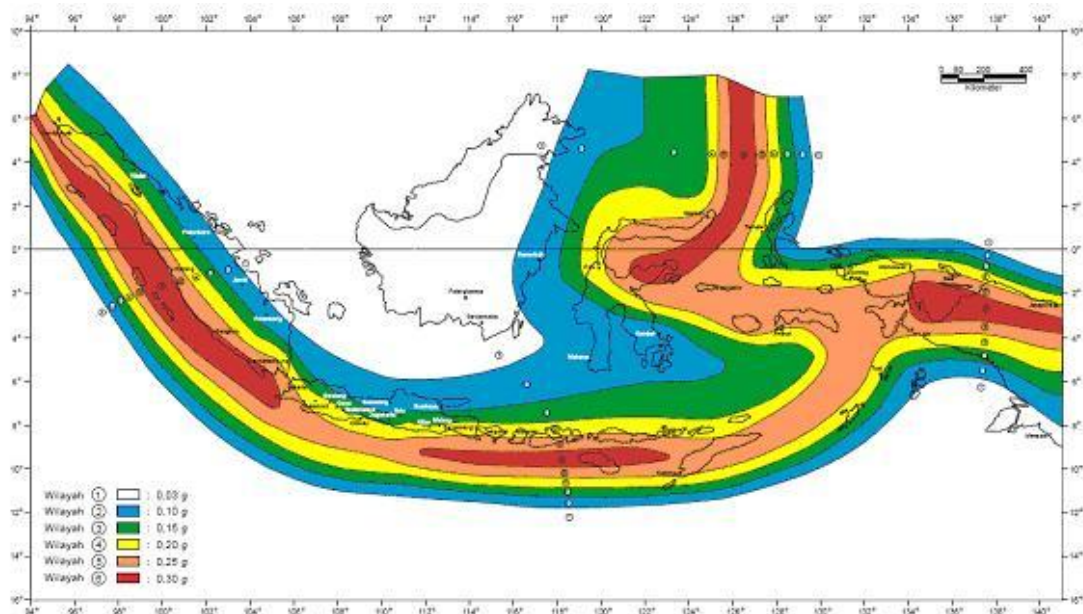
Metode ini digunakan untuk perhitungan struktur gedung yang masuk pada zona 3 dan 4 yaitu wilayah dengan tingkat kegempaan sedang.

3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Metode ini digunakan untuk perhitungan struktur gedung yang masuk pada zona 5 dan 6 yaitu wilayah dengan tingkat kegempaan tinggi.

Berdasarkan atas Gambar 1. Peta Wilayah Gempa Indonesia dengan Percepatan Puncak Batuan Dasar dengan Periode Ulang 500 tahun pada SNI 1726 – 2002, wilayah Sulawesi Utara yang termasuk pada zona gempa 5 sehingga analisis strukturnya dapat direncanakan dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Dengan didasarkan pada latar belakang tersebut peneliti tertarik untuk membahas mengenai sistem rangka pemikul momen khusus dan menjelaskan metode dalam merencanakan suatu konstruksi struktur baja yang memiliki tingkat daktilitas yang tinggi dengan menggunakan metode LRFD (*Load and Resistance Factor Design*) pada Gedung BPJN XI.



Gambar 1. Peta Wilayah Gempa Indonesia
Sumber: SNI 03-1726-2002

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini dilakukan studi literatur untuk penentuan rumus-rumus yang ada pada beberapa literatur yang digunakan oleh penulis. Dalam penelitian kali ini peneliti menggunakan tatacara perencanaan menurut *American Institute of Steel Construction* dan Standar Nasional Indonesia yaitu :

- AISC 358 – 10
- AISC 341 – 10
- AISC 360 – 10
- SNI 03 – 1729 – 2002

Pada penelitian ini peneliti menganalisis data perencanaan bangunan oleh konsultan perencana pada Gedung BPJN XI yang digunakan sebagai pradesain SRPMK lalu mendesain menurut perencanaan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), pada penelitian kali ini penulis mendesain sambungan balok-kolom dengan menggunakan peraturan AISC 358 – 10 yaitu jenis sambungan *Bolted Flange Plate Moment Connection*.

STRUKTUR BAJA TAHAN GEMPA

Menurut Moestopo (2012) prinsip dari perencanaan bangunan tahan gempa adalah untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur dan kehilangan korban jiwa, dengan tiga kriteria standar sebagai berikut :

1. Pada saat gempa kecil tidak diijinkan terjadi kerusakan sama sekali.
2. Pada saat gempa sedang diijinkan terjadi kerusakan ringan tanpa kerusakan struktural
3. Pada saat gempa besar diijinkan terjadi kerusakan struktural tanpa keruntuhan.

Ada beberapa hal-hal yang harus diperhatikan dalam merencanakan suatu struktur tahan gempa yaitu dalam menghadapi gempa besar, kinerja struktur tahan gempa diupayakan dapat menyerap energi gempa secara efektif melalui terbentuknya sendi plastis pada bagian tertentu, dengan kriteria sebagai berikut :

1. Kekuatan, kekakuan, daktilitas, disipasi energi yang dapat dipenuhi oleh struktur baja.
2. Disipasi energi melalui plastifikasi komponen struktur tertentu, tanpa menyebabkan keruntuhan struktural yang

terpenuhi dengan konsep perencanaan *Capacity Design* (desain kapasitas).

Menurut SNI 03-1729-2002 komponen struktur untuk bangunan tahan gempa harus direncanakan memenuhi:

$$\phi R_n \geq R_u \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

- ϕ = faktor reduksi beban
 R_n = kuat nominal penampang
 R_u = gaya terfaktor

Sistem rangka pemikul momen merupakan salah satu sistem struktur yang dirancang untuk menahan beban gempa rencana. Pada struktur baja sistem rangka pemikul momen terbagi atas 3 tipe, yaitu :

1. Sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB)
2. Sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM), dan
3. Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK)

Perbedaan dari ketiga sistem struktur diatas ada pada kemampuannya dalam mengalami deformasi inelastis dan tingkat daktilitas. Menurut SNI 03-1729-2002 pada SRPMK dan SRPMM dari hasil pengujian kualifikasi menunjukkan rotasi inelastis sekurang-kurangnya 0,3 dan 0,2 radian pada semua sambungan balok ke kolom yang di desain untuk memikul beban gempa, sedangkan pada SRPMB diharapkan mengalami rotasi inelastis sekurang-kurangnya 0,1 radian.

Selain faktor deformasi inelastis dari ketiga sistem rangka pemikul momen ini juga dapat dibedakan dari perilaku kinerja struktur gedung dalam mengalami daktilitas yang berbeda-beda. Pada SRPMK tingkat daktilitasnya adalah daktil penuh, sedangkan pada SRPMM dan SRPMB tingkat daktilitasnya adalah daktil parsial.

PERSYARATAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK)

Menurut SNI 03-1729-2002 SRPMK didesain mampu mengalami deformasi inelastik yang cukup besar akibat gempa rencana, melalui kelelahan balok pada rangka dan kelelahan pada ujung kolom dasar. Pada sistem ini kolom didesain lebih kuat dari pada balok yang kita kenal dengan "*strong colum weak beam*" yang mencapai *strain-hardening*.

Menurut Moestopo (2012) untuk mencapai kinerja struktur baja yang baik dalam menghadapi gempa besar, maka harus dipenuhi persyaratan dalam hal:

1. Spesifikasi bahan
Spesifikasi bahan harus menjamin:
 - a. Terjadinya deformasi leleh berupa regangan plastis bahan yang cukup besar tanpa mengalami fraktur
 - b. Adanya kuat lebih bahan yang signifikan melalui kemampuan *strain-hardening*.
2. Tidak terjadi kegagalan pada sambungan las. Stabilitas penampang, elemen, dan struktur
Dalam memikul beban siklik akibat gempa, sebuah penampang harus mampu berdeformasi secara plastis secara stabil untuk menghasilkan jumlah penyerapan energi yang besar. Hal ini harus dijamin oleh kekompakan pelat-pelat penampang terhadap bahaya tekuk akibat bekerjanya gaya tekan yang berulang-ulang (Moestopo, 2007).

3. Daktilitas
Moestopo (2012) juga mengatakan selain daktilitas bahan baja yang harus dijamin spesifikasinya, perlu juga dijamin tercapainya :
 - a. Daktilitas penampang: Momen-kurvatur ideal mencapai M_p tanpa terjadi tekuk pada penampang
 - b. Daktilitas elemen: momen defleksi/rotasi ideal mencapai M_p tanpa terjadi tekuk torsi lateral.
 - c. Daktilitas struktur : struktur mampu mencapai kekuatan batas tanpa terjadi ketidakstabilan struktur.

Untuk dijamin tercapainya ketiga persyaratan diatas maka komponen elemen lentur harus mencapai momen plastis sebelum terjadi keruntuhan. Rumusnya dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$M_n = M_p \dots \dots \dots (2)$$

$$M_{nx} = Z_x F_y \dots \dots \dots (3)$$

$$M_{ny} = Z_y F_y \dots \dots \dots (4)$$

dimana :

M_n = kuat lentur nominal

M_p = momen plastis

Z_x = modulus plastis penampang arah-x

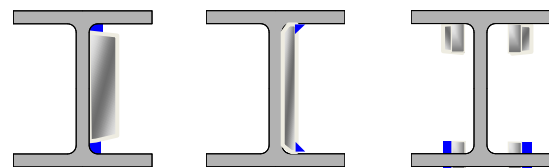
Z_y = modulus plastis penampang arah-y

F_y = tegangan leleh baja

4. Detailing

Detailing diperlukan untuk memastikan bahwa pada saat gempa besar, struktur akan berperilaku daktail seperti yang direncanakan. Pada umumnya detailing akan menambah biaya struktur cukup signifikan untuk struktur yang didesain memiliki daktilitas tinggi. Detailing yang akan di rencanakan berupa :

- a. Sambungan yaitu sambungan di desain kuat sehingga mencegah terjadinya leleh atau fraktur
- b. Pengaku penampang yaitu memberikan pengaku untuk mencegah terjadinya tekuk pada pelat sayap atau badan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2 Pengaku pada Penampang untuk Menghindari Tekuk Lokal

- c. Pengaku elemen yaitu memberikan pengaku berupa menambah balok pada daerah bentang panjang untuk mencegah tekuk torsi lateral.

SAMBUNGAN BALOK - KOLOM

Menurut Moestopo (2012) ada beberapa parameter dalam desain sambungan SRPMK:

- a. Lokasi Sendi Plastis
- b. Momen maksimum yang mungkin terjadi di lokasi sendi plastis, yang ditentukan oleh: kekuatan bahan, strain hardening, kekangan setempat, perkuatan, atau kondisi sambungan lainnya.
- c. Parameter mekanisme leleh pada pelat sayap kolom.
- d. Konfigurasi baut, yang akan ikut mekanisme kelelahan kekuatan batas sambungan terhadap sobek pelat, dan tekuk pada pelat.

Harus dilakukan pengecekan desain sambungan terhadap berbagai kondisi batas yang harus dihadapi oleh sambungan (pelat penyambung dan baut) antara lain:

- a. Leleh pada sayap kolom
- b. Tekuk pelat badan kolom
- c. Leleh pelat ujung balok
- d. Sobek pelat
- e. Tekuk dan leleh zone panel kolom

Kemampuan sambungan sebagai alat sambung elemen pemikul beban gempa harus dibuktikan melalui salah satu metoda berikut:

1. Uji kualifikasi terhadap benda uji yang mempresentasikan sambungan yang didesain:
 - Melakukan uji siklik sesuai dengan ketentuan Apendix S.
 - Menggunakan hasil uji dari laporan penelitian yang telah dilakukan.
2. Menggunakan ketentuan dalam:

ANSI/AISC 358 – 10: “*Prequalified Connection for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*”

HASIL PERHITUNGAN

Setelah menyelesaikan perencanaan komponen struktur berupa komponen balok–kolom dan perencanaan sambungan balok ke kolom pada bangunan Gedung BPJN XI, selanjutnya dibuat rekapitulasi perbandingan antara perencanaan SRPMK menurut konsultan perencana dan menurut penulis skripsi untuk komponen struktur balok dan kolom ditampilkan pada Tabel 2 sampai Tabel 6 dan rekapitulasi perencanaan sambungan yang direncanakan oleh penulis ditampilkan pada Tabel 7 dan 8 pada lampiran.

Dari Tabel 2 sampai Tabel 6 dapat dilihat pada perencanaan yang dibuat oleh konsultan perencana untuk merencanakan bangunan Gedung BPJN XI bukanlah memakai sistem rangka pemikul momen khusus dikarenakan banyak persyaratan untuk komponen struktur SRPMK yang tidak diperiksa, dan penulis sudah memeriksa komponen dari balok dan kolom dan didapat komponen tersebut tidak memenuhi kriteria perencanaan SRPMK khususnya pada komponen balok tipe 2 dan kolom yang tidak memenuhi persyaratan kekompakan komponen untuk daktilitas tinggi yang merupakan salah satu persyaratan untuk perencanaan dengan menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus.

Hasil dari perencanaan sambungan yang terlihat pada Tabel 7 dan 8 dibuat penggambaran detail sambungan dengan bantuan program komputer AutoCad yang berupa sambungan antara balok WF 294 X 200 ke kolom WF 414 X 405 dengan memakai tipe sambungan I pada Tabel dapat

dilihat pada Gambar 3 dan untuk sambungan 7 antara balok WF 440 X 300 ke kolom WF 414 X 405 dengan memakai sambungan tipe II pada tabel 8 dapat dilihat pada Gambar

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dalam merencanakan komponen balok – kolom dan sambungan struktur baja pada Gedung BPJN XI dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus maka penulis dapat mengambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Komponen balok dengan penampang WF 340 x 250 dan komponen kolom dengan penampang WF 400 x 400 tidak memenuhi persyaratan SRPMK yaitu penampang tidak kompak untuk konstruksi dengan daktilitas tinggi menurut AISC 341 – 10.
2. Dari hasil pemeriksaan komponen struktur di temukan bahwa perencanaan menurut konsultan perencana memenuhi kriteria kekuatan tapi tidak memenuhi kriteria penampang SRPMK.
3. Perbandingan perencanaan SRPMK menurut konsultan perencana dan peneliti dapat dilihat pada Tabel 1
4. Sambungan jenis *Bolted Flange Plate moment connection* dapat digunakan pada konstruksi bangunan Gedung BPJN XI yang telah memenuhi kriteria *strong column weak beam*.

SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, peneliti memberikan beberapa saran, yaitu:

1. Dalam perencanaan konstruksi dengan sistem rangka pemikul momen khusus, perencana perlu memeriksa kekompakan elemen balok dan ataupun elemen kolom dengan persyaratan untuk penampang kompak daktilitas tinggi oleh AISC 341–10.
2. Dalam merencanakan sambungan pada sistem rangka pemikul momen khusus pakailah jenis sambungan yang telah teruji pada dokumen AISC 358-10.
3. Untuk penelitian lanjutan perlu dicoba beberapa sambungan lain pada dokumen AISC 358-10 untuk perencanaan konstruksi yang memakai SRPMK

DAFTAR PUSTAKA

- AISC Committee and Specification. 2010. *Prequalified Connection for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Application* ANSI/AISC 358-10. Chicago.
- AISC Committee and Specification. 2010. *Specification for Structural Steel Building* ANSI/AISC 360-10. Chicago.
- AISC Committee and Specification. 2010. *Seismic Provisions for Structural Steel Building* ANSI/AISC 341-10. Chicago.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Perencanaan Gedung SNI 03-1729-2002*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI-1726-2002*. Jakarta.
- Moestopo, M. 2007. *Beberapa Ketentuan Baru Mengenai Desain Struktur Baja Tahan Gempa*. Seminar dan Pameran HAKI. Jakarta.
- Moestopo, M. 2012. *Struktur Bangunan Baja Tahan Gempa*. Seminar dan Pameran HAKI. Jakarta.

LAMPIRAN

Tabel 1. Perbandingan Dimensi Profil oleh Konsultan dan Penulis

| | Perencanaan oleh Konsultan | Perencanaan oleh Penulis |
|-----------------|----------------------------|--------------------------|
| Profil Balok I | IWF 294 X 200 | IWF 294 X 200 |
| Profil Balok II | IWF 340 X 250 | IWF 440 X 300 |
| Profil Kolom | IWF 400 X 400 | IWF 414 X 405 |

Tabel 2 Perencanaan Balok Tipe 1 pada Bangunan Gedung BPJN XI yang Dibuat oleh Penulis Skripsi dan Konsultan Perencana

| No. | Profil WF 294 X 200 | Konsultan Perencana | Penulis Skripsi |
|-----|--|---------------------|--------------------------|
| 1. | Penampang Kompak Biasa Balok | KOMPAK | KOMPAK (Anggry, 2010) |
| 2. | Penampang Kompak Daktilitas Tinggi Balok | KOMPAK | KOMPAK |
| 3. | Tekuk Lateral Balok | OK | OK |
| 4. | Kuat Lentur Balok | OK | OK |
| 5. | Kuat Geser Balok | TIDAK DIPERIKSA | OK |
| 6. | Interaksi Geser Lentur Balok | TIDAK DIPERIKSA | OK |

Tabel 3. Perencanaan Balok Tipe 2 pada Bangunan Gedung BPJN XI yang Dibuat oleh Penulis Skripsi dan Konsultan Perencana

| No. | Profil WF 340 X 250 | Konsultan Perencana | Penulis Skripsi |
|-----|--|---------------------|--------------------------|
| 1. | Penampang Kompak Biasa Balok | KOMPAK | KOMPAK (Anggry, 2010) |
| 2. | Penampang Kompak Daktilitas Tinggi Balok | TIDAK DIPERIKSA | TIDAK KOMPAK |
| 3. | Tekuk Lateral Balok | OK | TIDAK DIPERIKSA (*) |
| 4. | Kuat Lentur Balok | OK | |
| 5. | Kuat Geser Balok | TIDAK DIPERIKSA | |
| 6. | Interaksi Geser Lentur Balok | TIDAK DIPERIKSA | |

Tabel 4. Perencanaan Penampang WF 440 X 300 oleh Penulis untuk Profil Balok Tipe 2 pada Gedung BPJN XI

| No. | Profil WF 440 X 300 | Konsultan Perencana |
|-----|--|--------------------------|
| 1. | Penampang Kompak Biasa Balok | KOMPAK (Anggry, 2010) |
| 2. | Penampang Kompak Daktilitas Tinggi Balok | KOMPAK |
| 3. | Tekuk Lateral Balok | OK |
| 4. | Kuat Lentur Balok | OK |
| 5. | Kuat Geser Balok | OK |
| 6. | Interaksi Geser Lentur Balok | OK |

Tabel 5. Perencanaan Kolom pada Gedung BPJN XI yang Dibuat oleh Penulis Skripsi dan Konsultan Perencana

| No. | Profil WF 400 X 400 | Konsultan Perencana | Penulis Skripsi |
|-----|--|---------------------|--------------------------|
| 1. | Penampang Kompak Biasa Kolom | KOMPAK | KOMPAK (Anggry, 2010) |
| 2. | Penampang Kompak Daktilitas Tinggi Kolom | TIDAK DIPERIKSA | TIDAK KOMPAK |
| 3. | Kapasitas Lentur Kolom | TIDAK DIPERIKSA | TIDAK DIPERIKSA (*) |
| 4. | Kapasitas Aksial Kolom | OK | |
| 5. | Interaksi Aksial Lentur | TIDAK DIPERIKSA | |

Tabel 6 Perencanaan Penampang WF 414 X 405 oleh Penulis untuk Profil Kolom pada Gedung BPJN XI

| No. | Profil WF 414 X 405 | Penulis Skripsi |
|-----|--|--------------------------|
| 1. | Penampang Kompak Biasa Kolom | KOMPAK (Anggry, 2010) |
| 2. | Penampang Kompak Daktilitas Tinggi Kolom | KOMPAK |
| 3. | Kapasitas Lentur Kolom | OK |
| 4. | Kapasitas Aksial Kolom | OK |
| 5. | Interaksi Aksial Lentur | OK |

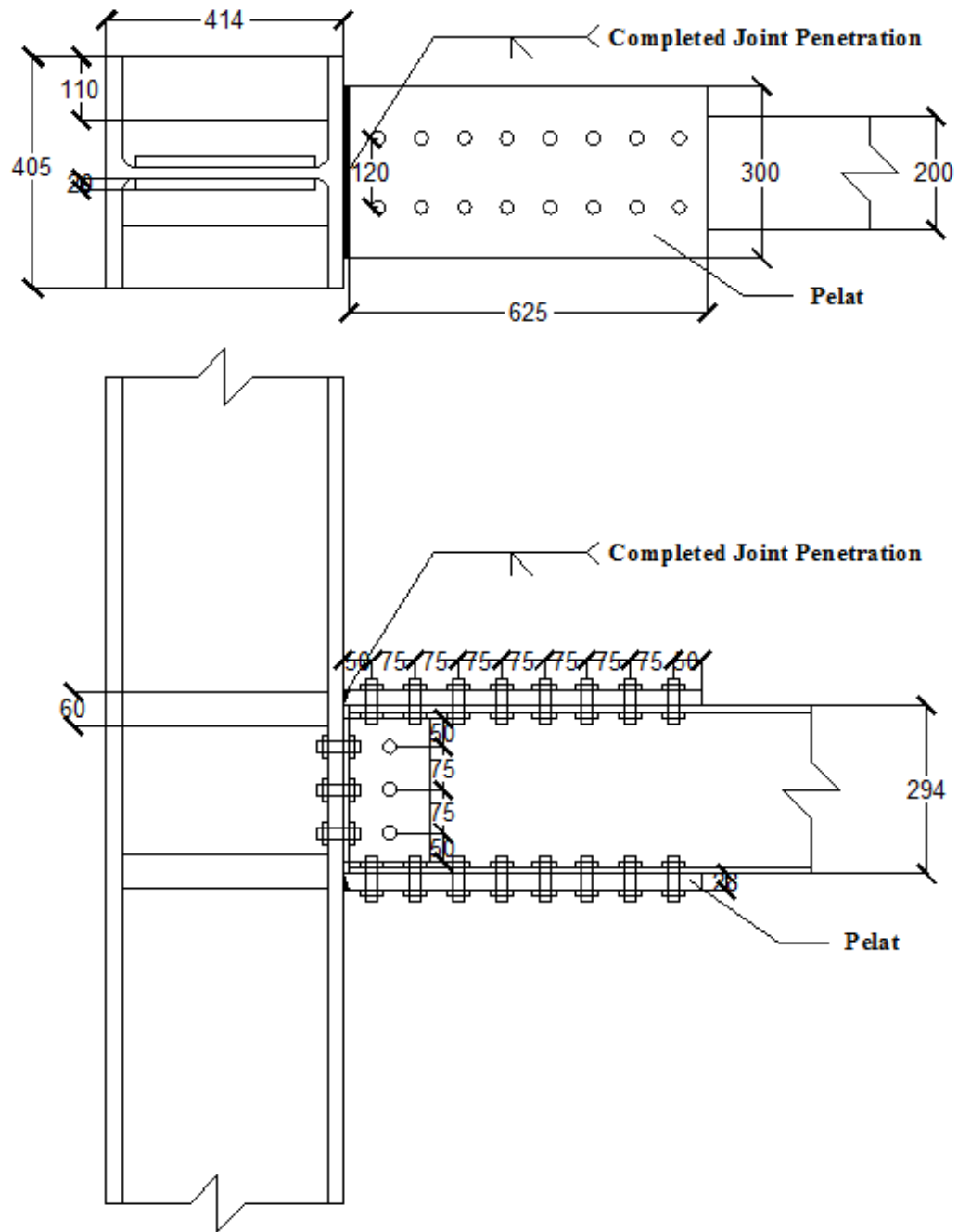
Ket : *) Penampang sudah tidak memenuhi syarat perencanaan

Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Perencanaan Sambungan Tipe I

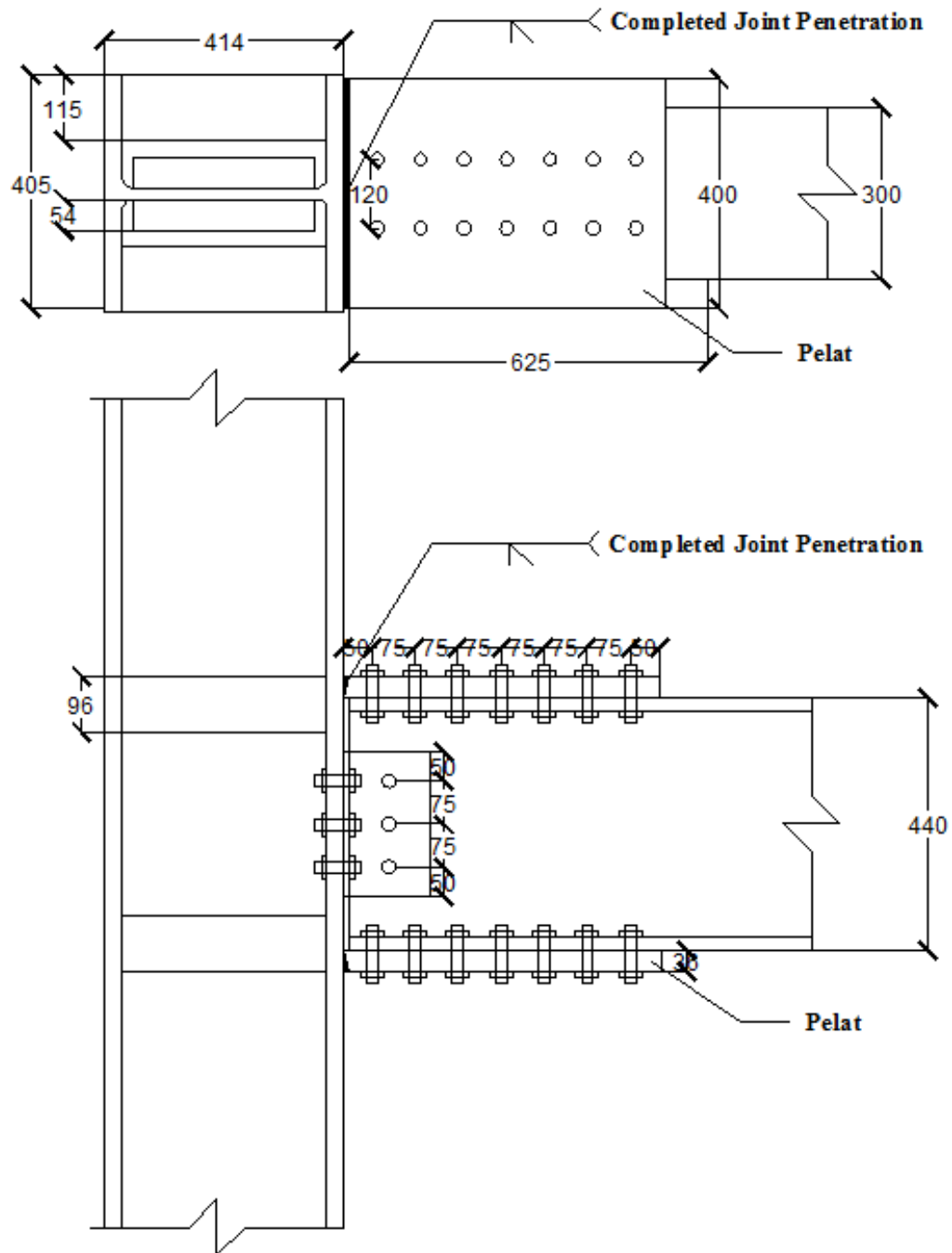
| No. | Langkah Perencanaan | Hasil Perencanaan | Keterangan |
|-----|--|---|--------------------------------------|
| 1. | Hitung momen maksimum pada sendi plastis | $M_{pr} = 370,350 \text{ kNm}$ | - |
| 2. | Hitung diameter maksimum baut untuk mencegah tarik pecah | $d_b \leq 20,78 \text{ mm}$ $d_b = 20 \text{ mm}$ | - |
| 3. | Hitung kuat geser nominal baut dengan mengasumsikan : Baut ASTM A490 Tebal pelat 28 mm | $r_n = 162,420 \text{ kN}$ | - |
| 4. | Hitung jumlah baut yang diperlukan | $n \geq 11,802$ $n = 16 \text{ buah}$ | - |
| 5. | Menentukan lokasi sendi plastis | $s_h = 575 \text{ mm}$ | - |
| 6. | Hitung gaya geser pada lokasi sendi plastis | $V_h = 376,998 \text{ kN}$ | - |
| 7. | Hitung momen yang terjadi pada muka sayap kolom | $M_f = 587,124 \text{ kNm}$ | - |
| 8. | Hitung gaya yang dipikul oleh pelat | $F_{pr} = 1823,366 \text{ kN}$ | - |
| 9. | Periksa jumlah baut | $n > 14,968$ | OK |
| 10. | Periksa tebal pelat penyambung | $t_p > 27,013$ | OK |
| 11. | Periksa pelat penyambung untuk keruntuhan tarik pecah | $F_{pr} < 2183,496 \text{ kN}$ | OK |
| 12. | Periksa pelat penyambung untuk keruntuhan geser blok | $F_{pr} < 4455,948 \text{ kN}$ | OK |
| 13. | Periksa pelat sayap balok untuk keruntuhan geser blok | $F_{pr} < 1909,692 \text{ kN}$ | OK |
| 14. | Periksa pelat penyambung untuk tekuk | $F_{pr} < 1890 \text{ kN}$ | OK |
| 15. | Hitung kuat geser yang diperlukan dari baut dan sambungan | $V_u = 376,998 \text{ kN}$ | - |
| 16. | Desain sambungan geser - Baut ASTM A490 - Profil Siku 150.150.14 Panjang = 250 mm, $L_e = 50 \text{ mm}$, $s = 75 \text{ mm}$. | $n = 3 \text{ buah}$ Periksa kecukupan profil siku dan balok $V_u \leq 776,622 \text{ kN}$ $V_u \leq 566,874 \text{ kN}$ $V_u \leq 422,328 \text{ kN}$ | OK OK OK |
| 17. | Periksa kebutuhan Pelat terusan $t_{fc} = 28 \text{ mm}$ Desain Pelat terusan $t_{pc} = 60 \text{ mm}$ $w_{pl} = 110 \text{ mm}$ | $t_{fc} > 26,291$ $t_{fc} < 33,333$ $A_{cp-perlu} = 6295,956 \text{ mm}^2$ $t_{pc} > 6 \text{ mm}$ $t_{pc} > 12 \text{ mm}$ $A_{pc-perlu} < 6600$ | OK Tidak OK OK OK OK |
| 18. | Periksa zona panel kolom $t_w = 18 \text{ mm}$ Desain pelat pengganda | $R_u = 3595,631 \text{ kN}$ $R_u > 1603,8 \text{ kN}$ $t_w > 6,177 \text{ mm}$ $t_{double-pl} = 29,214 \text{ mm}$ pakai sepasang pelat pengganda $t = 20 \text{ mm}$ | Tidak OK OK |
| 19. | Periksa rasio momen kolom dan momen balok | $\sum M_p / \sum M_{pb} = 1,935$ $\sum M_{pc} / \sum M_{pb} > 1$ | OK |

Tabel 8. Rekapitulasi Hasil Perencanaan Sambungan Tipe II

| No. | Langkah Perencanaan | Hasil Perencanaan | Keterangan |
|-----|--|---|--|
| 1. | Hitung momen maksimum pada sendi plastis | $M_{pr} = 1227,6 \text{ kNm}$ | - |
| 2. | Hitung diameter maksimum baut untuk mencegah tarik pecah | $d_b \leq 32,67 \text{ mm}$ $d_b = 30 \text{ mm}$ | - |
| 3. | Hitung kuat geser nominal baut dengan mengasumsikan : Baut ASTM A490 Tebal pelat 30 mm | $r_n = 365,446 \text{ kN}$ | - |
| 4. | Hitung jumlah baut yang diperlukan | $n \geq 11,962$ $n = 14 \text{ buah}$ | - |
| 5. | Menentukan lokasi sendi plastis | $s_h = 500 \text{ mm}$ | - |
| 6. | Hitung gaya geser pada lokasi sendi plastis | $V_h = 603,619 \text{ kN}$ | - |
| 7. | Hitung momen yang terjadi pada muka sayap kolom | $M_f = 1529,409 \text{ kNm}$ | - |
| 8. | Hitung gaya yang dipikul oleh pelat | $F_{pr} = 3213,046 \text{ kN}$ | - |
| 9. | Periksa jumlah baut | $n > 11,723$ | OK |
| 10. | Periksa tebal pelat penyambung | $t_p > 35,701$ | OK |
| 11. | Periksa pelat penyambung untuk keruntuhan tarik pecah | $F_{pr} < 3692,952 \text{ kN}$ | OK |
| 12. | Periksa pelat penyambung untuk keruntuhan geser blok | $F_{pr} < 4736,189 \text{ kN}$ | OK |
| 13. | Periksa pelat sayap balok untuk keruntuhan geser blok | $F_{pr} < 3600,260 \text{ kN}$ | OK |
| 14. | Periksa pelat penyambung untuk tekuk | $F_{pr} < 3240 \text{ kN}$ | OK |
| 15. | Hitung kuat geser yang diperlukan dari baut dan sambungan | $V_u = 603,619 \text{ kN}$ | - |
| 16. | Desain sambungan geser pelat tunggal - Baut ASTM A490 - Profil Siku 150.150.14 Panjang = 250 mm, $L_e = 50 \text{ mm}$, $s = 75 \text{ mm}$. | $n = 3 \text{ buah}$ Periksa kecukupan profil siku dan balok $V_u \leq 647,472 \text{ kN}$ $V_u \leq 675,713 \text{ kN}$ $V_u \leq 772,244 \text{ kN}$ | OK OK OK |
| 17. | Periksa kebutuhan Pelat terusan $t_{fc} = 28 \text{ mm}$ Desain Pelat terusan $t_{cp} = 96 \text{ mm}$ $w_{pl} = 115 \text{ mm}$ | $t_{fc} < 46,476$ $t_{fc} < 50$ $A_{cp-perlu} = 11020,204 \text{ mm}^2$ $t_{pc} > 9 \text{ mm}$ $t_{pc} > 18 \text{ mm}$ $A_{pc-perlu} < 11040$ | Tidak OK Tidak OK OK OK OK |
| 18. | Periksa zona panel kolom $t_w = 18 \text{ mm}$ Desain pelat pengganda | $R_u = 7307,143 \text{ kN}$ $R_u > 4689,9 \text{ kN}$ $t_w > 7,844 \text{ mm}$ $t_{double-pl} = 107,35 \text{ mm}$ pakai sepasang pelat pengganda $t = 54 \text{ mm}$ | Tidak OK OK |
| 19. | Periksa rasio momen kolom dan momen balok | $\sum M_{pc} / \sum M_{pb} = 1,067$ $\sum M_{pc} / \sum M_{pb} > 1$ | OK |



Gambar 3. Model Sambungan Tipe 1



Gambar 4. Model Sambungan Tipe 2