

KINERJA STRUKTUR BAJA DENGAN SAMBUNGAN *PARTIALLY RESTRAINED* PADA SUMBU LEMAH KOLOM

Eko Wahyudi^{1,*}, Nawir Rasidi², Bobby Asukmajaya Rahardjo³

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang³

Email: ekow97343@gmail.com¹, nawir.rasidi@polinema.ac.id², bobbyasukma@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Sambungan digunakan untuk mentransfer gaya yang didukung oleh profil struktural ke bagian lain dari struktur atau pendukung. Sambungan balok dan kolom merupakan salah satu elemen dalam struktur rangka baja yang penting dalam desain konstruksi bangunan tahan gempa. Sambungan momen terkekang sebagian mampu menyalurkan momen, tetapi rotasi antara komponen-komponen struktur yang tersambung tidak boleh diabaikan. Pemodelan pada elemen kolom dan balok menggunakan profil baja HBeam 600x600x50x80 mm dengan kombinasi antara sambungan terkekang penuh dan sambungan terkekang sebagian serta penggunaan konsep *strong column weak beam*. Kondisi struktur yang direncanakan sebanyak 12 kondisi yang berbeda dengan prosentase kekakuan sambungan masing-masing 25%, 50%, dan 75%, sedangkan jumlah sambungan yang dirilis masing-masing 20%, 40%, 60%, dan 80%. Struktur ditinjau dari nilai *story drift*, simpangan lateral, dan rasio desain. Hasil analisa yang diperoleh dan jika dibandingkan antar kondisi maka nilainya tidak memiliki selisih yang signifikan. Dari masing-masing tinjauan, kondisi struktur dengan 75% kekakuan sambungan dan 20% jumlah sambungan yang dirilis memiliki kondisi yang optimum dari pada kondisi yang lainnya. Pada kondisi struktur ini ditinjau dari *story drift* diperoleh hasil 11,105 mm, 11,544 mm untuk simpangan lateral, dan 0,18 ratio desain pada kolom serta 0,10 pada balok.

Kata Kunci : Struktur Baja, Sambungan Baja, Sumbu Lemah Kolom, *Partially Restrained*, Strong Column Weak Beam.

ABSTRACT

The connection is used to transfer forces supported by the structural profile to other parts of the structure or supports. Beam-column connections are one of the important elements in steel frame structures, particularly in earthquake-resistant building construction design. Partially restrained moment connections are capable of transmitting moments, but the rotation between connected structural components should not be ignored. Modeling is done on column and beam elements using an H-beam steel profile of 600x600x50x80 mm, with a combination of fully restrained connections and partially restrained connections, along with the concept of strong column weak beam. The designed structure consists of 12 variation conditions with connection stiffness percentages of 25%, 50%, and 75%, while the released connection quantities are 20%, 40%, 60%, and 80% respectively. The structure is evaluated based on story drift values, lateral displacement, and design ratios. The analysis results obtained do not show significant differences when comparing between conditions. Among the evaluations, the structure condition with 75% connection stiffness and 20% released connection quantity is found to be optimal compared to other conditions. In this structure condition, the story drift is measured at 11,105 mm, lateral displacement at 11,544 mm, and a design ratio of 0.18 for the column and 0.10 for the beam.

Keywords : Steel Frame Structure, Steel Connections, Weak Column Axis, *Partially Restrained*, Strong Column Weak Beam.

1. PENDAHULUAN

Selama 11 tahun belakangan ini (2009-2019) telah banyak terjadi puluhan ribu gempa di Indonesia dan dengan

frekuensi kejadian tertinggi berada di daerah Bali, Nusa Tenggara, dan sekitar Maluku (Sabtaji, A. 2020). Oleh karena itu untuk menghindari kerugian material dan non-

material yang besar, maka diperlukan struktur bangunan gedung yang mampu bertahan apabila gempa terjadi. Selain itu, lahan pemukiman di perkotaan yang padat dan kebutuhan tempat tinggal masyarakat yang berkualitas dan aman juga menjadi salah satu faktor perlunya merencanakan gedung yang mampu bertahan di daerah rawan terjadi gempa. Walaupun Yogyakarta tidak termasuk dalam daerah yang mengalami frekuensi gempa yang tinggi, akan tetapi kebutuhan gedung yang tahan gempa juga diperlukan. Disisi lain Yogyakarta juga dikenal menjadi salah satu kota besar yang sering dikunjungi oleh wisatawan lokal maupun mancanegara, dan kota pendidikan. Dalam struktur baja sambungan menjadi komponen penting, sehingga untuk mencapai kondisi sendi plastis pada balok maka perlu dilakukan pemilihan sambungan yang tepat (Silalahi, dkk., 2020). Disisi lain, jika diposisikan sebagai kolom maka terdapat sisi kuat kolom (sumbu kuat) dan sisi lemah kolom (sumbu lemah), yang dimana pada daerah sumbu kuat tentu lebih kuat dari pada daerah lemah. Pada analisa 3D, potensi perlemahan pada suatu sambungan kolom dapat terjadi dari arah sumbu kuat ataupun sumbu lemahnya, namun ketika sambungan searah dengan sumbu lemah kolom maka pada daerah itulah perlu adanya perlakuan khusus.

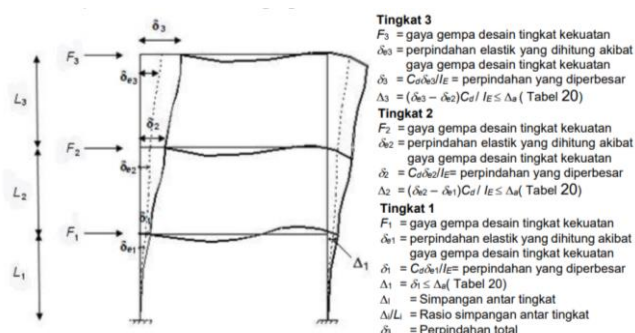
2. METODE

Metode penelitian dimulai dari pengumpulan data yang terdiri dari kelas situs tanah, parameter gempa, lokasi gedung, fungsi gedung, gambar denah, mutu material yang digunakan, dan jenis sambungan yang digunakan. Dimana dari data tersebut diolah menjadi preliminary desain, pembebanan, dan analisa struktur. Kemudian dilakukan *momen release* pada sambungan terkhusus pada sumbu lemah kolom. Mengenai besaran nilai *momen release* diambil kisaran antara 0% hingga 100%, yang dimana nilai tersebut berasal dari sambungan sederhana dengan nilai 0 (nol) dan sambungan terkekang penuh yang bernilai 1 (satu). Karena sambungan terkekang sebagian berada diantara sambungan sederhana dan sambungan terkekang penuh maka dilalukan pra-uji pada struktur yang direncanakan, sehingga diambil nilai prosentase kekakuan sambungan sebesar 25%, 50%, dan 75%. Selain pada pertimbangan pada pra-uji, penulis mengambil nilai 25% karena kekakuan sambungan lebih mendekati pada sambungan sederhana sedangkan pada 75% lebih mendekati pada sambungan terkekang penuh. Sedangkan pada jumlah sambungan yang dirilis yaitu jumlah sambungan pada sumbu lemah sejumlah 26 sambungan per *story* (lantai) dan total 184 secara keseluruhan. Untuk mempermudah analisis pada sambungan maka perilsan dilakukan secara tipikal berdasarkan pada denah lantai 1. Untuk jumlah sambungan yang dirilis diambil sebesar 20%,

40%, 60%, dan 80% dari total keseluruhan jumlah sambungan pada sumbu lemah saja. Sehingga didapati 12 macam kondisi struktur yang berbeda, dimana akan dibandingkan masing-masing dari kondisi tersebut, manakah kondisi struktur yang memiliki kondisi paling ideal sesuai dengan batasan yang ada dalam SNI yang berlaku serta perbandingan pada distribusi momennya. Sebelum masuk pada 12 macam kondisi tersebut, maka perlu memastikan bahwa struktur aman dalam artian nilai *ratio design* dan analisis modal berada pada batasan yang ditentukan dalam SNI 1726:2019. Pada masing-masing kondisi akan diambil nilai maksimum yang terjadi sebagai pembanding antara satu dengan lainnya.

Tabel 1 Rencana Kondisi Struktur

Kondisi Struktur	Prosentase Kekakuan Sambungan	Jumlah Sambungan yang dirilis
1	25%	20%
2	25%	40%
3	25%	60%
4	25%	80%
5	50%	20%
6	50%	40%
7	50%	60%
8	50%	80%
9	75%	20%
10	75%	40%
11	75%	60%
12	75%	80%



Gambar 1 Penentuan Simpangan Antar Tingkat

Sumber : SNI 1726:2019

Penentuan simpangan antar tingkat harus didasarkan pada persamaan berikut ini.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \leq \Delta_{ijin} \quad (1)$$

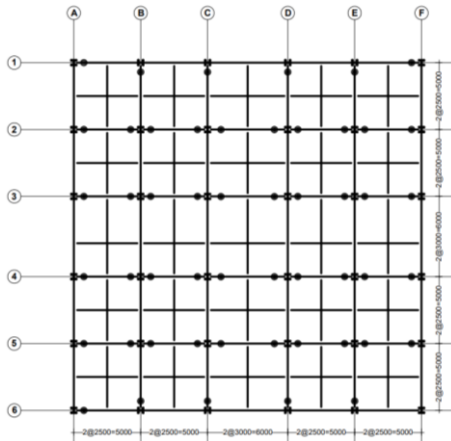
Sedangkan untuk mengetahui story drift menggunakan bantuan software yang kemudian dikalikan dengan faktor Cd sebesar 5,5, yang dimana dari hasil tersebut tidak melebihi dari persamaan berikut ini.

$$Drift\ Ratio = 0,025 h_{sx} \quad (2)$$

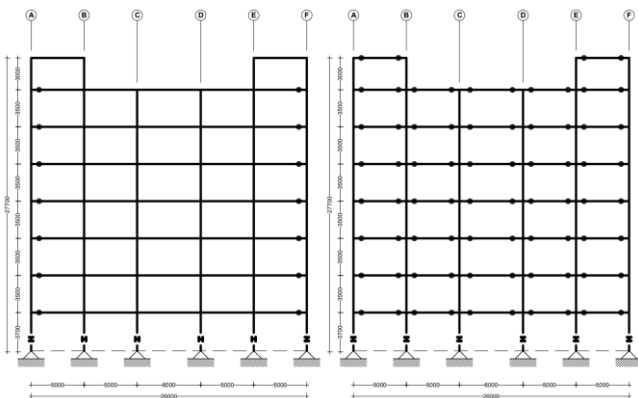
Selain itu, perlu mengecek efek p-delta yang terjadi pada struktur. Apabila dari hasil pengecekan tersebut diperoleh nilai kurang dari 0,10 maka efek dari p-delta dapat diabaikan. Berikut persamaan yang digunakan dalam mencari efek p-delta.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (3)$$

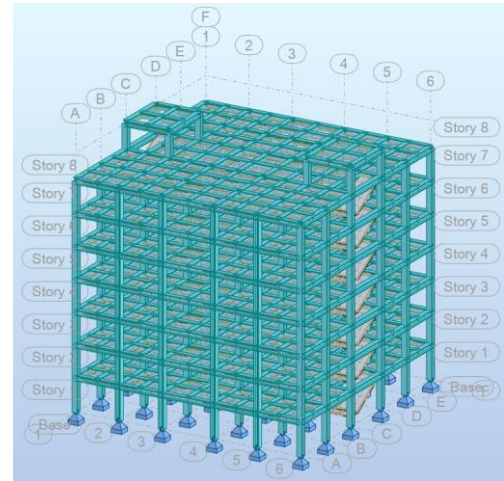
Untuk mencari nilai ratio design maka menggunakan bantuan software.



Gambar 2 Gambar Denah Rencana Momen Release



Gambar 3 Portal 1 dan 6 (kiri) dan Portal 2 - 5 (kanan)



Gambar 4 Model 3D Struktur Gedung

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Preliminary desain

Preliminary desain digunakan untuk mengetahui profil penampang, yang dimana terdapat batasan atau kontrol dalam penentuannya. Setelah dilakukan pemodelan dan beberapa kali percobaan analisa struktur menggunakan software diperoleh analisa modal (partisipasi massa) arah x sebesar 99,71% (memenuhi) dan arah y sebesar 99,28% (memenuhi). Akan tetapi untuk *ration design* diperoleh hasil $2,54 > 1$ sehingga tidak memenuhi syarat. Untuk memenuhi kedua syarat tersebut, maka mendesain penampang kolom-balok hingga analisa modal dan *ration design* terpenuhi. Setelah dilakukan beberapa kali percobaan analisis pada struktur maka penampang yang memenuhi adalah $600 \times 600 \times 50 \times 80$ mm dengan analisa modal arah x sebesar 94,41% dan arah y sebesar 93,69% sedangkan ratio design maksimum terjadi pada elemen kolom *member* 18 sebesar 0,21 dan elemen balok *member* 40 sebesar 0,12.

Pembebanan

Beban-beban yang diterapkan dalam struktur ini disesuaikan dalam SNI 1727:2020.

Beban yang dimaksudkan meliputi beban mati sendiri (*selfweight*), beban mati tambahan, beban hidup, beban air hujan dan berat seismik. Karena beban angin yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan beban seismik yang terjadi maka beban angin diabaikan. Berikut berat seismik yang dialami oleh struktur.

Tabel 2 Total Berat Seismik

Story	Beban Mati, DL (kN)	Beban Hidup, LL (kN)	25% x LL (kN)	DL + 25%LL (kN)
LMR	1367,96	57,6	14,400	1338,568
Roof	9705,026	801,9	200,475	9785,993

6	11718,018	1351,76	337,940	11936,449
5	11718,018	1351,76	337,940	11936,449
4	11718,018	1351,76	337,940	11936,449
3	11718,018	1351,76	337,940	11936,449
2	11718,018	1351,76	337,940	11936,449
1	12308,482	1352,26	338,065	12363,473
Total	81971,556	8970,56	2242,640	84214,196

Sumber : Hasil perhitungan

Parameter Respon Spectrum

Berikut ini parameter gempa yang digunakan untuk menghitung beban seismik yang terjadi, berdasarkan kondisi lokasi yang ditinjau.

Tabel 3 Parameter Gempa Respon Spectrum

Parameter	Nilai
Kategori Resiko	II
I_e	1,00
Kelas Situs	SD
KDS	D
S_s	1,107
S_1	0,507
F_a	1,057
F_v	1,793
S_{MS}	1,170
S_{M1}	0,909
S_{DS}	0,78
S_{D1}	0,61
R	8
Ω	3
C_d	5,5

Sumber : RSA Puskim 2021

Kemudian setelah diperoleh parameter gempa dan berat seismik, maka berat tersebut didistribusikan sebagai beban terpusat yang berdampak pada *joint* (sambungan) antara kolom dan balok. Distribusi berat seismik tersebut harus didasarkan pada persamaan berikut ini.

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \tag{4}$$

Berikut ini penerapan dari persamaan (4) pada distribusi seismik.

Tabel 4 Distribusi Horizontal Gaya Seismik

Story	Fi	Fix	Fiy
	(kN)	(kN)	(kN)
LMR	4,396	1,099	2,198
Roof	1442,537	240,423	240,423
Lt. 6	1446,891	241,148	241,148

Lt. 5	1151,396	191,899	191,899
Lt. 4	871,130	145,188	145,188
Lt. 3	608,807	101,468	101,468
Lt. 2	368,684	61,447	61,447
Lt. 1	166,483	27,747	27,747
	6055,927		

Sumber : Hasil perhitungan

Stabilitas Struktur

Stability / stabilitas adalah kondisi yang dicapai pada pembebanan suatu komponen struktur, rangka atau struktur yang apabila diberi gangguan kecil pada beban atau geometri tidak menghasilkan perpindahan yang besar sesuai batasan yang berlaku pada struktur tersebut. Stabilitas struktur yang dimaksud meliputi *story drift*/drift tingkat, simpangan lateral, dan efek P-delta. *Story drift* / Drift tingkat adalah defleksi horizontal di bagian atas suatu tingkat terhadap bagian bawah tingkat tersebut. Simpangan lateral (*story displacement*) adalah perpindahan lateral suatu tingkat yang diukur dari dasar gedung secara kumulatif. Efek P-delta adalah efek beban yang bekerja pada lokasi joint atau titik nodal yang berpindah pada suatu struktur, apabila diperoleh hasil < 0,1 maka efek p-delta dapat diabaikan. Keterangan : a = prosentase kekakuan sambungan, b = jumlah sambungan

Tabel 5 Analisa Modal

Kondisi (a b)	Analisa Modal	
	UX (%)	UY (%)
Awal	93,85	93,04
25% 20%	93,77	92,81
25% 40%	93,44	92,81
25% 60%	93,29	92,81
25% 80%	93,11	92,80
50% 20%	93,80	92,89
50% 40%	93,61	92,90
50% 60%	93,52	92,89
50% 80%	93,40	92,89
75% 20%	93,83	92,97
75% 40%	93,74	92,97
75% 60%	93,70	92,97
75% 80%	93,64	92,97

Sumber : Hasil analisis

Tabel 6 Efek P-delta maksimum

Kondisi	Tinggi (mm)	P_x (kN)	Δ (mm)	V_x (kN)	Stabilitas Rasio	Kontrol Efek P- Δ
Awal			9,669		0,0066073	Diabaikan
25% 20%			9,757		0,0066674	Diabaikan
25% 40%			10,153		0,0069380	Diabaikan
25% 60%			10,098		0,0069004	Diabaikan
25% 80%			10,329		0,0070583	Diabaikan
50% 20%			9,724		0,0066449	Diabaikan
50% 40%	3700	84214,196	9,944	6055,927	0,0067952	Diabaikan
50% 60%			9,900		0,0067651	Diabaikan
50% 80%			10,032		0,0068553	Diabaikan
75% 20%			9,697		0,0066264	Diabaikan
75% 40%			9,790		0,0066900	Diabaikan
75% 60%			9,763		0,0066715	Diabaikan
75% 80%			9,823		0,0067125	Diabaikan

Sumber : Hasil Analisis

Perbandingan Hasil Analisis Struktur

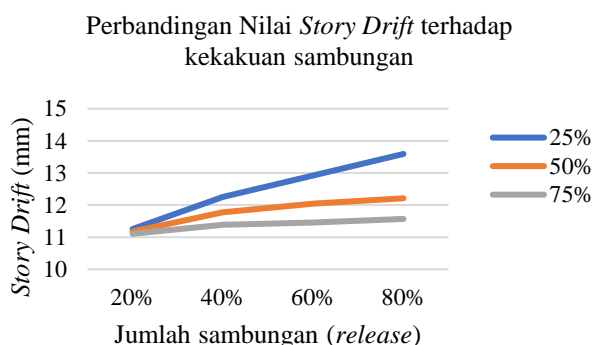
Masing-masing hasil analisis yang kemudian dibandingkan antara kondisi struktur 1 (satu) dengan lainnya. Dari perbandingan tersebut.

Drift Tingkat

Tabel 7 Perbandingan Drift Tingkat

Prosentase Kekakuan Sambungan	Jumlah sambungan (<i>release</i>)			
	20%	40%	60%	80%
25%	11,253	12,254	12,920	13,591
50%	11,176	11,776	12,045	12,210
75%	11,105	11,385	11,451	11,567

Sumber : Hasil analisis



Gambar 5 Grafik perbandingan drift tingkat ditinjau berdasarkan prosentase kekakuan sambungan Performa gedung yang dikombinasikan antara kekakuan sambungan dan jumlah sambungan yang dirilis terhadap

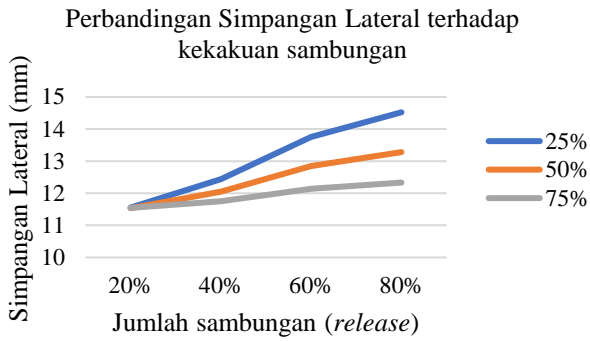
story drift memiliki pengaruh yang cukup signifikan, meskipun perbandingannya tidak terpaut jauh. Hal ini terlihat dari nilai *story drift* minimum sebesar 11,105 mm dengan kondisi 75% kekakuan sambungan dan 20% jumlah sambungan yang dirilis, sedangkan nilai nilai maksimum sebesar 13,591 mm dengan kondisi 25% kekakuan sambungan dan 80% jumlah sambungan yang dirilis. Dari hasil di atas dapat disimpulkan bahwa semakin besar prosentase kekakuan sambungan (mendekati *fully restrained*) maka nilai *story drift* akan semakin kecil sehingga struktur semakin stabil. Akan tetapi apabila dikombinasikan dengan jumlah sambungan yang dirilis semakin banyak maka nilai *story drift* semakin besar sehingga resiko struktur mengalami *story drift* yang semakin besar.

Simpangan Lateral

Tabel 8 Perbandingan Simpangan Lateral

Prosentase Kekakuan Sambungan	Jumlah sambungan (<i>release</i>)			
	20%	40%	60%	80%
25%	11,554	12,434	13,752	14,521
50%	11,534	12,047	12,848	13,282
75%	11,544	11,747	12,144	12,333

Sumber : Hasil analisis



Gambar 6 Grafik perbandingan simpangan lateral ditinjau berdasarkan prosentase kekakuan sambungan berdasarkan prosentase kekakuan sambungan Penerapan simpangan lateral juga yang hamper sama dengan story drift. Pada nilai simpangan lateral kondisi yang optimum adalah ketika prosentase kekakuan sambungan lebih besar dengan kombinasi jumlah sambungan yang dirilis lebih kecil. Terlihat bahwa nilai simpangan lateral dengan kondisi 50% kekakuan sambungan dan 20% jumlah sambungan yang dirilis, memiliki nilai yang paling minimum sebesar 11,534 mm, sedangkan nilai maksimum sebesar 14,521 mm berada pada kondisi 25% kekakuan sambungan dan 80% jumlah sambungan yang dirilis. Akan tetapi, untuk jumlah sambungan yang dirilis memiliki pengaruh yang tidak terpaut jauh. Sehingga untuk menghindari nilai simpangan lateral yang lebih besar, maka akan lebih baik diutamakan untuk menghindari prosentase kekakuan sambungan yang semakin kecil (mendekati *simple connection*), dengan kombinasi jumlah sambungan yang dirilis semakin sedikit.

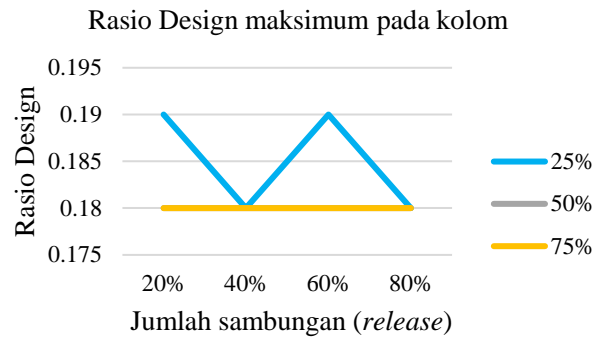
Rasio Desain

Ratio design atau *Capacity Ratio* (R) adalah perbandingan antara gaya atau momen yang terjadi pada penampang (faktor beban: Pu atau Mu atau Nu) dengan kekuatan nominal penampang (Pn atau Mn atau Nn), yang dimana melibatkan factor reduksi (ϕ). Metode ini adalah strategi software untuk menerjemahkan kode desain untuk menentukan apakah suatu bagian dari elemen struktur memenuhi persyaratan desain atau tidak.

Tabel 9 Rasio desain maksimum pada kolom

Prosentase Kekakuan Sambungan	Jumlah sambungan (release)			
	20%	40%	60%	80%
25%	0,19	0,18	0,19	0,18
50%	0,18	0,18	0,18	0,18
75%	0,18	0,18	0,18	0,18

Sumber : Hasil analisis

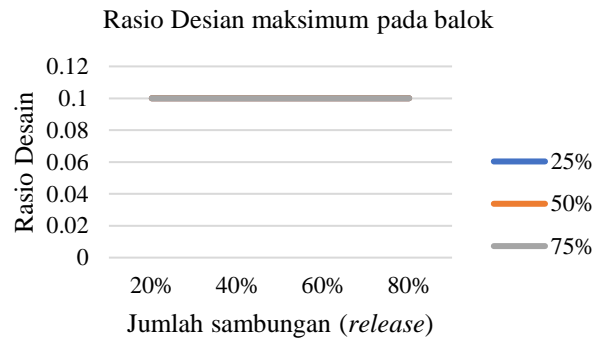


Gambar 7 Grafik perbandingan rasio desain pada kolom ditinjau berdasarkan prosentase kekakuan sambungan

Tabel 10 Rasio desain maksimum pada balok

Prosentase Kekakuan Sambungan	Jumlah sambungan (release)			
	20%	40%	60%	80%
25%	0,10	0,10	0,10	0,10
50%	0,10	0,10	0,10	0,10
75%	0,10	0,10	0,10	0,10

Sumber : Hasil analisis



Gambar 8 Grafik perbandingan rasio desain pada balok ditinjau berdasarkan prosentase kekakuan sambungan

Pengecekan pada nilai rasio desain, terlihat bahwa rasio desain tidak memiliki pengaruh yang signifikan. Bahkan dapat dikatakan bahwa prosentase kekakuan sambungan dan jumlah sambungan yang dirilis tidak memiliki pengaruh terhadap ratio desain maksimum.

Berdasarkan pada hasil analisis yang telah dirangkum di atas, dapat dikatakan bahwa kondisi terbaik berada pada prosentase kekakuan sumbu sebesar 75% dengan jumlah sambungan yang dirilis baik pada story drift, simpangan lateral, dan rasio desain. Jika dilihat dari prosentase kekakuan sambungan maka semakin kecil nilai kekakuan sambungan maka struktur tersebut semakin stabil pula.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan pada hasil analisis, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Besaran kekakuan dan jumlah sambungan balok-kolom yang dirilis terhadap story drift memiliki pengaruh yang cukup signifikan, dengan perbedaan besaran nilai drift tingkat yang tidak terpaut jauh. Pada kondisi 75% kekakuan sambungan dan 20% jumlah sambungan yang dirilis didapat nilai *story drift* minimum sebesar 11,105 mm, sedangkan pada kondisi 25% kekakuan sambungan dan 80% jumlah sambungan yang dirilis nilai maksimum sebesar 13,591 mm. Sehingga untuk mendapatkan kondisi optimum maka menggunakan prosentase kekakuan sambungan lebih besar (mendekati *fully restrained*) dan dikombinasikan jumlah sambungan yang dirilis lebih sedikit.
2. Besaran kekakuan dan jumlah sambungan balok-kolom yang dirilis terhadap simpangan lateral juga memiliki pengaruh yang cukup signifikan. Perbandingan terhadap kondisi struktur yang direncanakan tidak terpaut jauh antara kondisi satu dengan yang lainnya. Nilai minimum sebesar 11,534 mm terjadi pada kondisi 50% kekakuan sambungan dan 20% jumlah sambungan yang dirilis, sedangkan nilai maksimum sebesar 14,521 mm terjadi pada kondisi 25% kekakuan sambungan dan 80% jumlah sambungan yang dirilis. Sehingga untuk menghindari nilai simpangan lateral yang besar, maka lebih baik diutamakan untuk menghindari prosentase kekakuan sambungan yang semakin kecil (mendekati *simple connection*) dengan kombinasi jumlah sambungan yang lebih sedikit.
3. Pengaruh besaran kekakuan dan jumlah sambungan balok-kolom yang dirilis terhadap rasio desain pada kolom memiliki pengaruh yang sangat kecil. Bahkan dapat dikatakan bahwa prosentase kekakuan sambungan dan jumlah sambungan yang dirilis tidak memiliki pengaruh terhadap ratio desain maksimum.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] AISC (American Institute of Steel Construction). (1994). Load & resistance factor design: Manual of steel construction. American Institute of Steel Construction.
- [2] Asmoro, S. H., & Suswanto, B. (2020). Studi Analisis Sambungan Semi Rigid Balok-Kolom Baja dengan Modifikasi Friction Damper dengan Metode elemen Hingga. Jurnal Aplikasi Teknik Sipil, 18(1), 61-72.
- [3] Badan Standarisasi Nasional, 2019. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, SNI 1726:2019
- [4] Badan Standarisasi Nasional, 2020. Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Non-Gedung, SNI 1727:2020
- [5] Badan Standarisasi Nasional, 2020. Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural, SNI 1729:2020
- [6] Badan Standarisasi Nasional, 2020. Ketentuan seismik untuk bangunan gedung baja struktural (SNI 7860-2020)
- [7] Badan Standarisasi Nasional, 2020. Sambungan terpraktualifikasi untuk rangka momen khusus dan menengah baja pada aplikasi seismik (SNI 7972-2020)
- [8] Badan Standarisasi Nasional, 2019. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan (SNI 7972-2020)
- [9] Desain Spektra Indonesia – RSA – Kementerian PUPR 2021, yang diakses melalui <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>
- [10] Dewobroto, W., & Wijaya, R. (2015). Perencanaan, Perilaku dan Keunggulan Portal Momen Rangka Batang Khusus (PMRBK) terhadap Portal Momen Khusus (PMK) pada Bangunan Baja Bertingkat Sedang. In Seminar Dan Pameran HAKI.
- [11] Habibi, I. (2019). Analisa Pushover Pada Bangunan Gedung Telkomsel Di Kota Pematang Siantar (Studi Kasus) (Doctoral dissertation).
- [12] Hidayati, N., & Yustianingsih, H. (2019). Studi Analisa Pengaruh Dimensi Kolom Pada Infrastruktur Strong Column Weak Beam Gedung Lantai 3-Lantai 7 Akibat Gaya Gempa. Reviews in Civil Engineering, 3(2).
- [13] Rahmanty, A., & Andayani, R. (2019). Analisis story drift dan kondisi sendi plastis berbasis performa pada gedung bertingkat dengan konfigurasi struktur persegi panjang, U, L, H, dan T. MEDIA KOMUNIKASI TEKNIK SIPIL, 25(1), 38-47.

- [14] Rugarli, P. (2018). *Steel Connection Analysis*. John Wiley & Sons.
- [15] Sabtaji, A. (2020). Statistik kejadian gempa bumi tektonik tiap provinsi di wilayah Indonesia selama 11 tahun pengamatan (2009-2019). *Buletin Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika*, 1(7), 31-46.
- [16] Silalahi, O. U. A., Suswanto, B., & Pisceca, B. (2020). Studi Analisis Perilaku Sambungan Kaku (Rigid Connection) Balok-Kolom Baja Tipe Extended End Plate dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 18(1), 23-32.
- [17] Setiawan, A. (2008). *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD*.
- [18] Trahair, N. S., & Bradford, M. A. (2017). *The behaviour and design of steel structures to AS 4100*. CRC Press.
- [19] Wibowo, N. B., & Huda, I. (2020). Analisis Amplifikasi, Indeks Kerentanan Seismik dan Klasifikasi Tanah Berdasarkan Distribusi Vs30 DI Yogyakarta. *Buletin Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika*, 21(2), 21-31.