

ANALISIS PENGARUH MODEL PELETAKAN RANGKA BAJA TERHADAP KINERJA STRUKTUR

Putu Didik Sulistiana^{1*}, I Putu Ellsa Sarasantika¹ dan A.A. Gede Sumanjaya¹

^{1*} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Warmadewa, Jl. Terompong 24, Denpasar, Bali
e-mail: didik.sulistiana@warmadewa.ac.id

¹ Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Warmadewa, Jl. Terompong 24, Denpasar, Bali
e-mail: iputuellsas@gmail.com

¹ Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Warmadewa, Jl. Terompong 24, Denpasar, Bali
e-mail: agung.suman31@gmail.com

ABSTRAK

Perencana struktur dalam memodelkan perletakan struktur bangunan menggunakan program umumnya memberi asumsi sebagai peletakan jepit (kaku) atau peletakan sendi. Namun perilaku yang dihasilkan tidaklah murni terjepit sempurna atau murni sebagai peletakan sendi, melainkan berada di antara jepit dan sendi. Perilaku seperti tersebut ditunjukkan oleh peletakan semi rigid. Penelitian ini menganalisis pengaruh model peletakan jepit, semi *rigid*, dan sendi terhadap kinerja struktur rangka baja. Model penelitian terdiri dari gedung 12 lantai dimana struktur memiliki fungsi perkantoran yang terletak di wilayah dengan kelas situs D pada lokasi tanah sedang. Denah struktur dibuat tipikal untuk seluruh model yang terdiri dari tiga bentang arah X dan Y dengan panjang yang sama yaitu 6 meter dan tinggi ditiap lantainya sebesar 3,2 meter. Pada elemen balok dan kolom, dimodelkan sendi plastis yang mengikuti FEMA 356, serta besarnya beban yang bekerja telah mengikuti peraturan pembebanan sesuai dengan SNI 1726:2019. Untuk dapat menentukan kinerja strukturnya, selain dianalisis linier, dilakukan pula analisis non-linier berupa analisis pushover pada model penelitian. Hasil analisis pushover dengan program ETABS menunjukkan bahwa variasi perletakan mempengaruhi kinerja struktur yang dihasilkan. Perletakan jepit memiliki gaya geser dasar dan kekakuan struktur terbesar untuk seluruh modelnya, perletakan sendi memiliki nilai terkecil, dan peletakan semi rigid berada di antara peletakan jepit dan sendi. Target perpindahan terbesar berdasarkan FEMA 356 seluruhnya dimiliki oleh model peletakan sendi. Level kinerja untuk model 12 lantai seluruhnya menghasilkan level kinerja *immediate occupancy*. Nilai daktilitas aktual dan kuat lebih struktur terbesar untuk seluruh model dihasilkan oleh perletakan semi rigid.

Kata kunci: peletakan, semi rigid, rangka baja, kinerja struktur, *pushover*

PENDAHULUAN

Respon struktural yang terjadi pada suatu Gedung dapat dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satunya adalah akibat dari pemodelan peletakan pada struktur bangunan itu sendiri. Umumnya perencana struktur memodelkan peletakan pada dasar kolom dengan anggapan terjepit dengan sempurna. Pada kenyataannya, masih terjadi pergerakan pada dasar kolom (Yudhistira, et al., 2014). Pada struktur baja, peletakan dapat berupa pelat dasar (*base plate*). Base plate merupakan pelat yang umumnya terbuat dari material beton dan letaknya berada diantara kolom dengan pondasi (Pangau, et al., 2016).

Perletakan pada dasar kolom inilah yang umumnya dianalisis oleh perencana dengan anggapan peletakan jepit yang kaku atau dengan peletakan sendi. Dianggap peletakan jepit karena mampu memberikan kendali untuk menjaga agar tidak diizinkan adanya rotasi. Sedangkan dianggap sebagai peletakan sendi karena mampu mengalami perputaran sudut. Pada kenyataannya, terdapat pula peletakan yang memiliki perilaku berada di antara peletakan jepit dan peletakan sendi. Percetakan tersebut disebut peletakan semi rigid. Dikatakan peletakan semi rigid, karena dianggap memiliki kapasitas yang cukup untuk memberikan tahanan terhadap rotasi, namun juga dapat mengalami perputaran sudut.

Pengasumsian model peletakan perlu dilakukan oleh perencana struktur di dalam melakukan modeling pada program. Namun kenyataannya, setiap perencana memiliki perbedaan asumsi terkait jenis peletakan yang



digunakan pada dasar kolom struktur bangunan. Perbedaan ini pula yang akan menghasilkan respon struktur yang berbeda meskipun material, pembebanan, dan dimensi elemen struktur dibuat seragam. Salah satu respon struktural yang sangat penting untuk diperhitungkan adalah respon akibat gempa bumi.

Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian terkait pemodelan peletakan pada dasar kolom struktur rangka baja yang meliputi peletakan jepit, peletakan semi frigid, dan peletakan sendi. Pemodelan peletakan ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana suatu peletakan dapat mempengaruhi respon struktur. Untuk dapat mengetahui kinerja struktur yang dihasilkan pada setiap model peletakan, maka diperlukan analisis pushover terhadap hasil pemodelan struktur pada program ETABS ver.19. Kinerja struktur yang dibandingkan berupa gaya geser dasar, target perpindahan, level kinerja, kekakuan struktur, daktilitas aktual struktur, dan nilai kuat lebih struktur.

Pemodelan penelitian ini dilakukan dengan struktur gedung beraturan yang terdiri 12 lantai dengan fungsi bangunan adalah perkantoran.

MATERI DAN METODE

Data Material dan Geometri

Penelitian ini menggunakan material baja dengan sifat-sifat material baja diuraikan sebagai berikut:

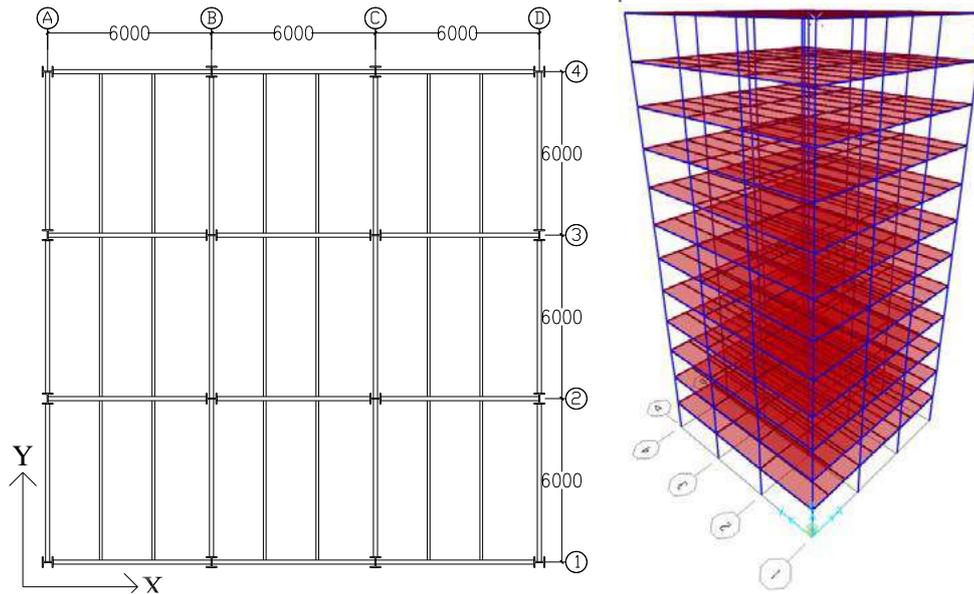
- Mutu baja (BJ) : BJ 41
- Kuat tarik baja (F_y) : 250 MPa
- Kuat leleh baja (F_u) : 410 Mpa
- Modulus elastisitas Baja : 200000
- Berat jenis baja (γ_s) : 7850 kg/m³
- Kuat leleh baja (F_u) : 410 Mpa

Adapun sifat-sifat material *base plate* yang diguna-kan adalah sebagai berikut:

- Tegangan leleh baja : 240 Mpa
- Tegangan Tarik putus pelat : 370 Mpa

Model struktur yang ditinjau merupakan struktur rangka baja beraturan yang terdiri dari 12 lantai. Denah yang direncanakan tipikal untuk gedung 12 lantai. Denah struktur terdiri dari 3 bentang arah X dan Y dengan arah balok anak sejajar dengan sumbu Y. Panjang denah sama yaitu sebesar 6 meter dan tinggi tiap lantainya sebesar 3,2 meter. Denah untuk seluruh model disajikan pada Gambar 1 dan portal setiap model disajikan pada Gambar 2.

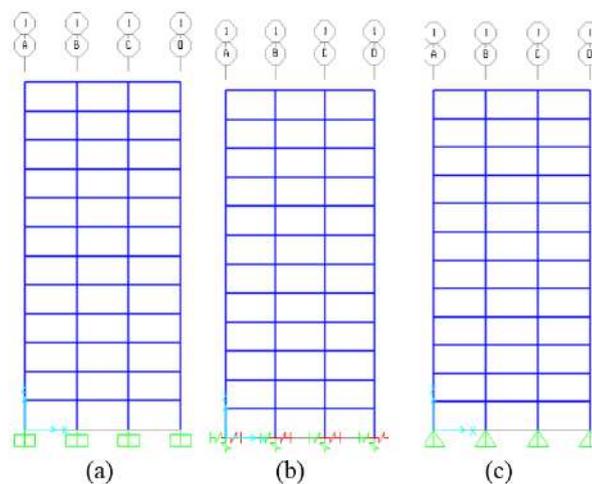
Fungsi bangunan berupa gedung perkantoran yang berada di wilayah dengan kelas situs D pada lokasi tanah sedang. Masing-masing tinjauan lantai memiliki tiga model struktur sesuai dengan variasi peletakannya yang dinotasikan pada Tabel 1. peletakan pada dasar kolom dimodel dengan tiga jenis yaitu peletakan jepit, perletakan semi rigid, dan peletakan sendi.



Gambar 1. Tipikal denah untuk seluruh model

Tabel 1. Notasi model penelitian

Model	Notasi
	12 Lantai
peletakan Jepit	J12
peletakan Semirigid	SR12
peletakan Sendi	S12



Gambar 2. Portal 1 J12 model 12 lantai (b) Portal 1 SR12 model 12 lantai (c) Portal 1 S12 model 12 lantai

Pemodelan dan Analisis

Pemodelan struktur 12 lantai seluruhnya dilakukan dengan menggunakan program ETABS dan dianalisis dalam tiga dimensi (3D). Model penelitian menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sebagai sistem penahan beban lateral. Selain itu pengaruh dinding terhadap kekakuan struktur tidak diperhitungkan, melainkan diperhitungkan sebagai beban. Untuk pertemuan antara balok dan kolom

digunakan *rigid zone factor* sama dengan 0,5. *Moment restrained* diberikan pada model struktur dengan perletakan jepit, sedangkan *moment release* diberikan pada model struktur dengan perletakan sendi. Struktur dengan perletakan semi rigid dimodelkan dengan *springs* (seperti pegas) pada dasar kolom baja.

Untuk perletakan semi rigid, diinput nilai kekakuan pegas pada program ETABS. Perhitungan kekakuan pegas tersebut didapat dari hasil desain *base plate* yang menggunakan gaya-gaya dalam dasar kolom baja pada model dengan perletakan jepit. Dari gaya-gaya dalam tersebut dihasilkan nilai ketebalan pelat dasar yang kemudian dilanjutkan dengan perhitungan kekakuan pegas.

Setelah pemodelan selesai dilanjutkan dengan memberikan beban pada struktur yang terdiri dari beban mati, beban hidup, dan beban lateral yang berupa beban gempa. Besarnya beban yang dikerjakan pada struktur sebagai berikut:

- Beban mati akibat berat sendiri (dihitung oleh program)
- Beban mati tambahan pelat lantai sebesar 1,4220 kN/m², pelat atap sebesar 1,2356 kN/m², dan berat dinding 2,805 kN/m¹.
- Berat hidup untuk fungsi gedung perkantoran 2,40 kN/ m² dan pada atap sebesar 0,96 kN/ m² untuk atap datar.
- Beban gempa menurut SNI 1726:2019 berupa respon spektrum.

Besarnya pembebanan struktur yang diberikan pada masing-masing model adalah sama, sesuai dengan variasi tinggi struktur. Setelah itu dilanjutkan dengan analisis linier pada struktur. Setelah seluruh model memenuhi kontrol simpangan ijin dan stress rasio, kemudian dilakukan analisis pushover untuk mengetahui kinerja struktur.

Klasifikasi Sambungan dan Kekakuan Pegas

Berdasarkan rasio tahanan momen sambungan ter-hadap momen jepit sempurna, sambungan dapat dibagi menjadi berikut (Zulfiana, 2011):

Sambungan jepit

Momen sambungan berkisar antara 90-100% momen jepit sempurna.

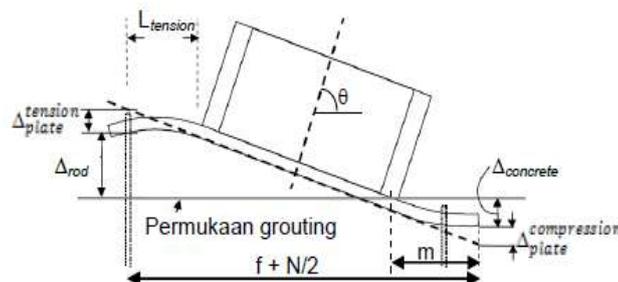
Sambungan semi rigid

Momen sambungan berkisar antara 20-90% momen jepit sempurna.

Sambungan sendi

Momen sambungan berkisar antara 0-20% momen jepit sempurna.

Kekakuan pegas seperti yang diilustrasikan pada Gambar 5 dapat ditentukan melalui perhitungan desain pelat dasar terlebih dahulu. Adapun kekakuan yang diperoleh yaitu kekakuan rotasi, kekakuan geser, dan kekakuan aksial sambungan.



Gambar 3. Deformasi komponen sambungan pada eksentrisitas besar

Sumber: Lase & Prabowo (2015)

Untuk menghitung nilai kekakuan rotasi, kekakuan geser, dan kekakuan aksial dapat diperoleh dari rumus berikut (Kavinde, et al., 2012).

$$K_{rotasi} = My/\theta y \quad (1)$$

$$K_{geser} = 7,5 EI_t/L_{efektif}^3 \quad (2)$$

$$K_{aksial} = AE/L_{total}^{rod} \quad (3)$$

Dimana:

- My : momen leleh sambungan yang terjadi
- θy : rotasi
- E : modulus elastisitas beton
- I_t : momen inersia penampang baut
- $L_{efektif}$: panjang tekuk baut pada kondisi inelastic
- A : luas nominal baut
- E : modulus elastisitas baut
- L_{total} : tebal pelat dasar ditambah tebal *grouting*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kekakuan Pegas peletakan Semi Rigid

Hasil dari rekapitulasi kekakuan pegas ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi kekakuan pegas

Model	Kekakuan Rotasi	Kekakuan Geser	Kekakuan Aksial	Rasio Tahanan Momen
	kNm/rad	kN/m	kN/m	(%)
SR12	5.710,60	932.551,86	3.040.244,87	48,62

Rasio tahanan momen pada Tabel 2 menunjukkan bahwa model memiliki rasio tahanan momen lebih besar dari pada 20% namun tidak melebihi 90%, sehingga dapat dikatakan model tersebut telah memenuhi syarat sebagai sambungan semi rigid.

Dimensi Penampang dan Stress Rasio

Dimensi elemen struktur untuk tiap lantainya dibuat sama di setiap variasi peletakannya. Stress rasio untuk model 12 lantai disajikan dalam Tabel 3.

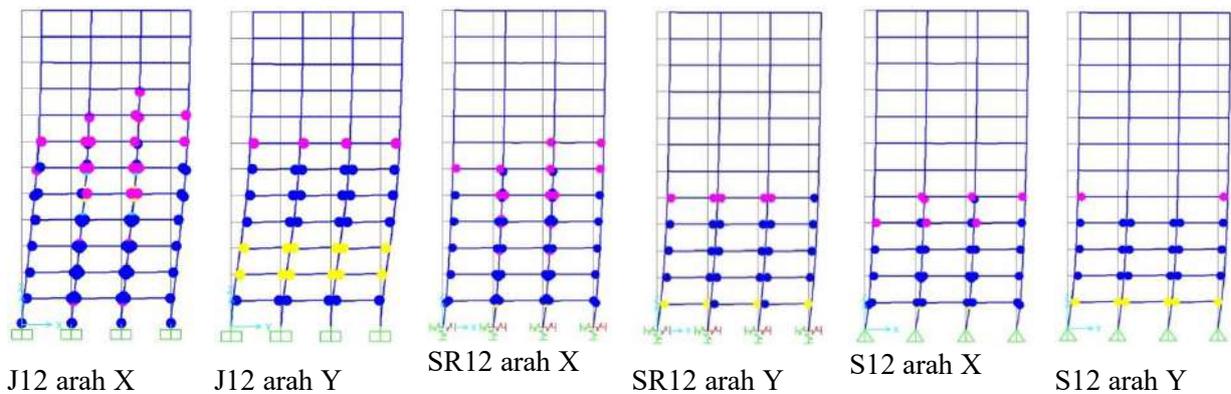
Tabel 3. Stress rasio model 12 lantai

Elemen Struktur	Lantai	Dimensi	Stress Rasio		
			J12	SR12	S12
Kolom (mm)	1—4	HP16X162	0.538	0.564	0.595
	5—8	HP14X102	0.588	0.581	0.577
	9—12	HP12X84	0.462	0.454	0.447
Balok Induk (mm)	1—12	S18x70	0.274	0.293	0.296

Stress rasio maksimum untuk seluruh model dihasilkan oleh model dengan perletakan sendi. Nilai stress rasio terkecil dimiliki oleh model perletakan jepit sedangkan model perletakan semi rigid berada diantara sendi dan jepit. Seluruh elemen struktur memiliki nilai stress rasio lebih kecil dari 0,95.

Mekanisme Sendi Plastis

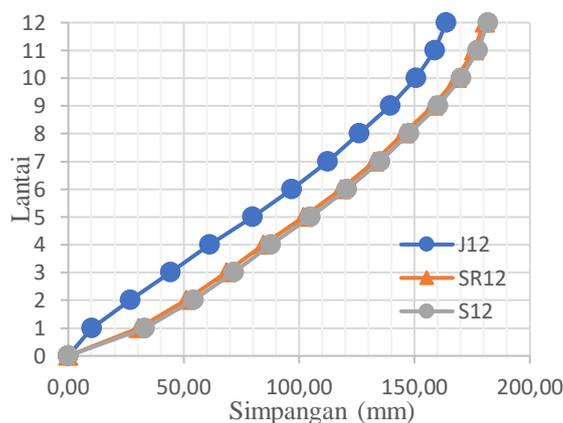
Kinerja struktur yang ditinjau diperoleh dari hasil analisis program ETABS dengan menggunakan analisis *nonlinear pushover*. Mekanisme terjadinya sendi plastis pada elemen struktur menentukan pola keruntuhan struktur dan target perpindahan menentukan level kinerja struktur. Hasil analisis skema keelehan yang terjadi pada struktur dimulai dari terbentuknya sendi plastis pertama dan sendi plastis yang terbentuk pada saat mencapai target displacement. Pada Gambar 4. menunjukkan mekanisme sendi plastis pada saat kondisi ultimit.



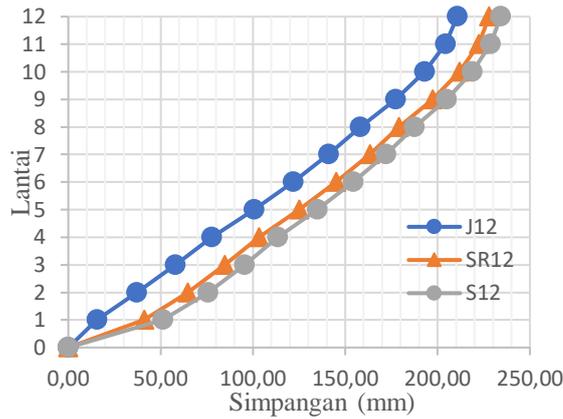
Gambar 4. Skema keelehan struktur saat kondisi ultimit

Simpangan Antar Lantai

Hasil simpangan antar lantai untuk seluruh model penelitian yang disajikan pada Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan bahwa model dengan perletakan jepit memiliki simpangan terkecil dari seluruh model yang ada. Hal ini berbanding terbalik dengan model perletakan sendi yang memiliki simpangan terbesar. Sedangkan model dengan perletakan semi rigid memiliki simpangan antar lantai yang berada di antara perletakan jepit dan sendi. Perilaku struktur yang dalam hal ini simpangan antar lantai dari sambungan semi rigid cenderung mendekati perilaku yang dihasilkan oleh perletakan sendi.



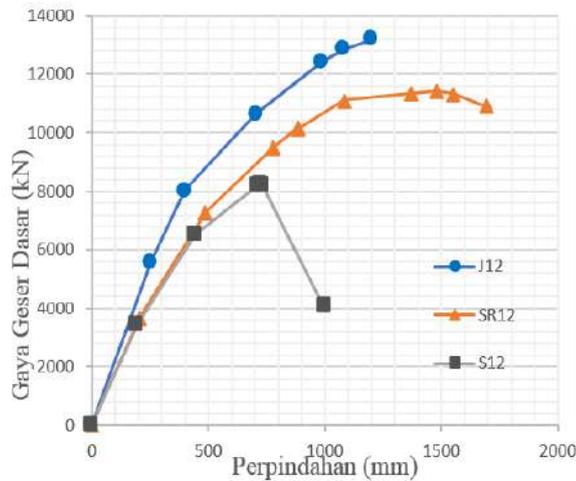
Gambar 5. Simpangan antar lantai model 12 lantai arah X



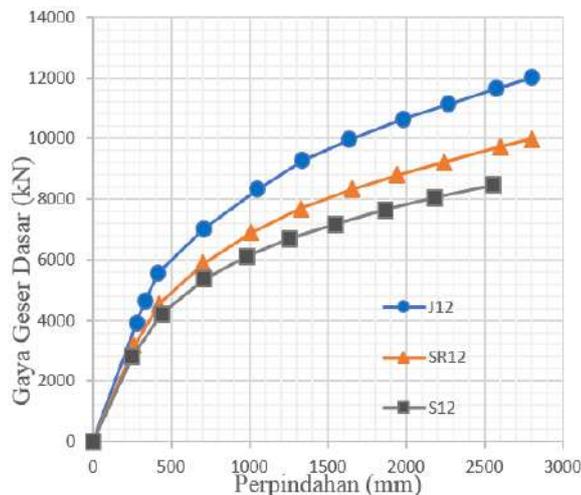
Gambar 6. Simpangan antar lantai model 12 lantai arah Y

Kurva Pushover

Penelitian ini menetapkan grid A1 (pada model ETABS) sebagai titik kontrol pada atap. Beban dorong (*pushover*) dilakukan pada titik tersebut hingga mendapatkan hasil seperti pada Gambar 7 – Gambar 8.



Gambar 7. Perbandingan kurva pushover arah X untuk model 12 lantai



Gambar 8. Perbandingan kurva pushover arah Y untuk model 12 lantai



Hasil analisis *pushover* tersebut menunjukkan bahwa kurva struktur dengan perletakan semi rigid arah X dan Y berada diantara kurva perletakan jepit dan sendi. Hasil tersebut tipikal untuk model 12 lantai.

Level Kinerja

Level kinerja suatu struktur dapat ditentukan dengan target perpindahan strukturnya. Pada penelitian kali ini, target perpindahan ditentukan berdasarkan FEMA 356. Level kinerja untuk model 4 lantai dan 8 lantai memberikan kesamaan yaitu sama-sama menghasilkan level kinerja *collapse prevention*, sedangkan model dengan 12 lantai menghasilkan level kinerja *immediate occupancy*. Hasil selengkapnya disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Level kinerja model 12 lantai

Model Struktur	δt (mm)	Vt (kN)	Level Kinerja
Sumbu X			
J12	339.70	7016.59	IO
SR12	385.23	5972.05	IO
S12	389.06	5876.45	IO
Sumbu Y			
J12	430.26	5627.64	IO
SR12	478.65	4791.47	IO
S12	490.12	4412.62	IO

Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar struktur pada arah X dan Y terbesar untuk seluruh model penelitian dimiliki oleh model dengan perletakan jepit. Sedangkan gaya geser dasar struktur terkecil dimiliki oleh model dengan perletakan sendi. Dapat dikatakan bahwa model perletakan jepit memiliki kekuatan struktur terbesar dibandingkan model dengan perletakan sendi dan semi rigid. Rekapitulasi gaya geser dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Gaya geser dasar model 12 lantai

Model Struktur	Arah X		Arah Y	
	Gaya Geser	Persentase	Gaya Geser	Persentase
	(kN)	(%)	(kN)	(%)
J12	12431.82	100	9277.94	100
SR12	10165.97	81.77	6993.20	75.37
S12	8191.43	65.89	6112.32	65.88

Kekakuan Struktur

Hasil dari rekapitulasi kekakuan struktur ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Kekakuan struktur model 12 lantai

Model Struktur	Vy (kN)	δy (mm)	Kekakuan (kN/mm)
Arah X			
J12	5556.3	251.7	22.1
SR12	3650.5	201.5	18.1
S12	3429.4	193.0	17.8
Arah Y			
J12	4637.2	332.1	14.0
SR12	3155.5	268.2	11.8
S12	2779.0	250.3	11.1

Kekakuan struktur menunjukkan besarnya gaya yang diperlukan untuk menghasilkan satu satuan perpindahan. Penggunaan variasi perletakan menyebabkan perbedaan nilai kekakuan struktur, dimana model dengan perletakan jepit menghasilkan kekakuan terbesar, model perletakan sendi memiliki kekakuan terkecil dan model perletakan semi rigid diantara jepit dan sendi.

Daktilitas Aktual

Hasil dari rekapitulasi daktilitas aktual struktur ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Daktilitas aktual struktur model 12 lantai

Model Struktur	δu (mm)	δy (mm)	Daktilitas Struktur	Tingkat Daktilitas
Arah X				
J12	983.863	251.695	3.9	Parsial
SR12	885.194	201.512	4.4	Parsial
S12	711.260	192.979	3.7	Parsial
Arah Y				
J12	1337.906	332.064	4.0	Parsial
SR12	1110.850	268.151	4.1	Parsial
S12	934.845	250.341	3.7	Parsial

Hasil analisis menunjukkan bahwa daktilitas model dengan perletakan semi rigid pada arah X dan arah Y menghasilkan daktilitas terbesar dengan tingkat daktilitas yaitu daktilitas parsial. Hasil tersebut tipikal untuk seluruh model penelitian. Seluruhnya menghasilkan tingkat daktilitas parsial.

Kuat Lebih Struktur

Hasil dari rekapitulasi kuat lebih struktur ditampilkan pada Tabel 8.



Tabel 8. Daktilitas aktual struktur model 12 lantai

Model Struktur	V	Vmaks	Ω_0
	(kN)	(kN)	
Arah X			
J12	5556.28	12431.82	2.24
SR12	3650.49	10165.97	2.78
S12	3429.43	8191.43	2.39
Arah Y			
J12	4637.20	9277.94	2.00
SR12	3155.47	6993.20	2.22
S12	2779.03	6112.32	2.20

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada model struktur rangka baja dengan variasi perletakan jepit, semi rigid, dan sendi dengan model 12 lantai, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Variasi perletakan dan tinggi bangunan mempengaruhi nilai gaya geser dasar dan kekakuan struktur. Nilai gaya geser dasar dan kekakuan struktur untuk seluruh model meningkat dari perletakan sendi, perletakan semi rigid, dan perletakan jepit.
- Level kinerja yang dihasilkan berdasarkan FEMA 356 untuk model 12 lantai seluruhnya menghasilkan level kinerja *immediate occupancy*.
- Nilai daktilitas aktual terbesar untuk model 12 lantai seluruhnya dihasilkan oleh struktur dengan perletakan semi rigid baik untuk arah X dan Y.
- Hasil nilai kuat lebih struktur untuk model 12 lantai seluruhnya dihasilkan oleh model perletakan semi rigid baik untuk arah X dan Y.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726:2019). Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- Fisher, J. & Kloiber, L., 2006. Design Guide 1: Base Plate and Anchor Rod Design (2nd ed). Chicago: IL: American Institute for Steel Construction.
- Gubernur DKI Jakarta, 2010. Peraturan Daerah Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta. DKI Jakarta: Pemerintah DKI Jakarta.
- Kavinde, A. M., Grilli, D. A. & Zareian, F., 2012. Rotational Stiffness of Expose Column Base Connection: Experiments and Analytical Models. *Journal of Structural Engineering*, 38, pp. 549-560.
- Lase, Y. & Prabowo, A., 2015. Tinjauan Nilai Ω_0 pada Perancangan Sambungan Rigid Dasar Kolom Rangka Baja di Atas Rangka Beton Bertulang dengan Analisis Pushover. Seminar dan Pameran HAKI, pp. 1-19.
- Pangau, G. Y. D., Pandaleke, R. & Handono, B. D., 2016. Analisis Dimensi Pelat Dasar (Base Plate) pada Kolom Struktur Baja yang Mampu Tahan Terhadap Efek Pray. *Sipil Statik Vol.4*, pp. 375-382.
- Yudhistira, A., Yuskar, L. & Widjojo, P. A., 2014. Pengaruh Pemodelan Perletakan pada Respon Seismik Bangunan Tinggi. Universitas Indonesia, pp. 1-18.
- Arfiadi, Y. and Hadi, MNS. (2006). "Continuous bounded controller for active control of structures". *Computers and Structures*, Vol. 84, 798-807

KoNTekS17

Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-17

- Dewobroto, W. (2005). Aplikasi rekayasa konstruksi dengan Visual Basic 6.0 : analisis dan desain penampang beton bertulang sesuai SNI 03-2847-2002. PT. Elex Media Komputindo, Jakarta
- Frans, R. dan Arfiadi, Y. (2015). “Judul Artikel Konferensi”. Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 9, Makassar, 7-8 Oktober 2016, 871-877
- Holland, J. H. (1992). Adaptation in natural and artificial systems. MIT Press, Mass
- Sarraf, M. And Bruneau, M. (1998). “Ductile seismic retrofit of steel deck-truss bridges, II: Design applications.”. J. Struct. Engrg., ASCE, 124(11), 1263-1271
- Soong, T. T. and Dargush, G. F. (1997). Passive energy dissipation systems in structural engineering. John Wiley & Sons, Chichester, England.
- Sudjati, J. J., Tarigan, R. A., dan Tresna, I. B. M. (2015). Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 9, Makassar, 7-8 Oktober 2016, 887-892