

KINERJA STRUKTUR GEDUNG RANGKA BETON BERTULANG BALOK LEBAR DENGAN DISTRIBUSI BEBAN PELAT SATU DAN DUA ARAH

I Ketut Sudarsana^{1*}, I Gede Adi Susila², I Wayan Prima Widianara³, I Gede Gegiranang Wiryadi⁴

^{1,2,3} Program Magister Teknik Sipil, Universitas Udayana, Denpasar

⁴ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Mahasaraswati Denpasar, Denpasar

*Email: ksudarsana@unud.ac.id

ABSTRAK: Sistem struktur rangka terbuka dengan balok lebar menjadi solusi pada bangunan dengan ketinggian yang terbatas untuk mendapatkan tingkat yang lebih banyak, jarak antar tingkat lebih tinggi dan keluwesa instalasi arsitektural dan MEP. Kajian ini bertujuan untuk menambah informasi perilaku dan kinerja struktur rangka terbuka dengan balok lebar untuk kondisi sistem pelat satu arah dan dua arah. Kajian ini dilakukan secara numerik linier dan nonlinier menggunakan program analisis struktur. Empat buah model struktur yang memiliki lima tingkat dengan semua kolom persegi, tetapi divariasikan penggunaan balok dan sistem pelatnya. Variasinya yaitu balok normal dengan sistem pelat satu arah (1wSN), balok normal dengan sistem pelat dua arah (2wSN), balok lebar dengan sistem pelat satu arah (1wSW), dan balok lebar dengan sistem pelat dua arah (2wSW). Semua elemen struktur didesain mengikuti kriteria dari peraturan yang berlaku, kemudian dilanjutkan analisa beban dorong untuk mendapatkan kinerja masing-masing model. Hasil analisis menunjukkan penggunaan balok lebar membuat struktur lebih flexible atau memiliki deformasi yang lebih besar dibandingkan struktur dengan balok normal. Kinerja struktur dengan balok lebar lebih cepat mencapai titik runtuh dan daktilitas struktur dengan balok lebar lebih rendah dibandingkan struktur dengan balok normal. Hal ini disebabkan oleh kekakuan join balok-kolom struktur dengan balok lebar lebih rendah dari struktur dengan balok normal. Penggunaan sistem pelat satu arah maupun dua arah pada struktur dengan balok lebar tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perilaku maupun kinerja struktur.

Kata kunci: Balok lebar, kinerja struktur, perilaku struktur, struktur rangka beton bertulang

STRUCTURAL BUILDING PERFORMANCE OF WIDE BEAM REINFORCED CONCRETE FRAME WITH ONE -WAY AND TWO-WAY SLAB LOAD DISTRIBUTION

ABSTRACT: A reinforced concrete frame building system using wide beams is a solution for buildings with limited heights to get a larger number of stories, a higher distance between stories, and flexibility in installing architectural elements and MEP. This analytical study was conducted to evaluate the behavior and performance of open-frame structures with wide beams for one-way and two-way slab system conditions. This study was carried out using a structural analysis program by applying linear and nonlinear analyzes to four models of a five-story structure with square columns, which varied in beam dimensions and slab systems. The variations considered are normal beam with one-way slab system (1wSN), normal beam with two-way slab system (2wSN), wide beam with one-way slab system (1wSW), and wide beam with two-way slab system (2wSW). All structural elements are designed to follow and meet the criteria of the Indonesian Building Codes, which are then followed by a non-linear static pushover analysis to obtain the performance of each structural model. The results of the analysis show that a structure with wide beams has greater deformation than a structure with normal beams with a faster achievement of collapse conditions so that the ductility of the structure also becomes lower. This is caused by the stiffness of the wide beam-column joints is lower than that of the normal beam-column joints. The use of one-way or two-way slab systems on structures with wide beams does not have a significant effect on behavior or performance of the structure.

Keywords: Reinforced concrete frame, structural behavior, structural performances, wide beam

PENDAHULUAN

Struktur beton bisa dirancang untuk berperilaku daktail dalam menerima beban gempa. Gaya lateral akibat gempa bekerja pada gedung yang ditahan oleh struktur untuk dapat meredam gaya gempa dan mencegah terjadinya keruntuhan. Sistem struktur flat slab merupakan sistem struktur gedung tanpa balok dengan elemen utama berupa kolom dan pelat (Nawy, 2010). Sistem struktur ini banyak dipakai karena memiliki beberapa kelebihan, antara lain meliputi pemakaian perancah yang sederhana dan ekonomis; tinggi lantai yang lebih rendah tetapi memberikan ruang lebih untuk pekerjaan mekanikal-elektrikal, serta peluang penambahan jumlah lantai pada daerah dengan batasan tinggi bangunan yang ketat (Dilger, 2000). Menurut peraturan gempa SNI 1726 2019, flat slab sebagai single sistem hanya dapat digunakan pada wilayah gempa ringan atau sedang (BSN, 2019). Sebagai alternatif lain untuk struktur yang hampir sama dengan flat slab yaitu dikembangkan struktur beton dengan balok lebar atau balok rata pelat (Elsouri and Harajli, 2013). Pembatasan tinggi balok dengan mengatur lebar balok bertujuan supaya struktur bisa berperilaku sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen khusus dan tetap sebagian besar masih memiliki keuntungan yang sama dengan sistem pelat datar. Namun, balok lebar juga memiliki kelemahan dalam memikul beban gravitasi (Popov et al., 1992). Selain itu, dengan bentang yang panjang dan tinggi penampang balok yg kecil, mengakibatkan lendutan dari balok akan semakin besar (Puskas, 2012).

Dalam memikul beban lateral, seperti gempa, struktur dengan balok lebar sama seperti struktur rangka terbuka pada umumnya yaitu mengandalkan kekakuan join balok-kolomnya. Beberapa penelitian penggunaan balok lebar dalam menahan beban lateral telah dilakukan baik secara eksperimental maupun numerikal. Lafaves dan Wight, (1999) dan Quintero-Febres dan Wight (2001), melakukan pengujian eksperimental terhadap join balok lebar – kolom pada join eksterior dan interior yang dibebani secara lateral. Hasil yang diperoleh menunjukkan balok lebar memberikan performa yang baik saat mendistribusikan gaya lateral, serta terjadinya sendi-plastis

lebih dipengaruhi oleh kondisi ikatan tulangan diluar inti kolom daripada rasio balok-lebar dan kolom. Penggunaan balok lebar untuk struktur-struktur bertingkat rendah menunjukkan perilaku dalam keadaan batas layan yang serupa dengan balok normal, walaupun memiliki daktilitas yang lebih rendah (Gómez-Martínez et al., 2016). Untuk wilayah gempa tinggi diperlukan perlakuan khusus dalam sambungan balok lebar-kolom, dibandingkan dengan penggunaan pada wilayah gempa rendah atau menengah yang mana pendetailan sambungan tidak berpengaruh yang signifikan terhadap kapasitasnya (Li et al., 2009). Balok lebar memiliki inersia rendah sehingga desainnya memerlukan tulangan yang besar untuk memikul momen yang bekerja. Hal ini membuat desain kolom juga berpengaruh terkait dengan aturan kolom kuat balok lemah, walaupun secara kekakuan telah memenuhi persyaratan (Benavent-Climent, 2007; Climent et al., 2008; Fadwa et al., 2014; Mirzabagheri et al., 2018). Pengamatan secara numerical menunjukkan peningkatan mutu beton tidak memberikan pengaruh significant pada join balok lebar – kolom (Mirzabagheri et al., 2018). Penggunaan balok lebar pada struktur rangka penahan momen yang diaplikasikan memberikan keuntungan tetapi juga kerugian. Penelitian ini membahas perbandingan kinerja struktur rangka beton bertulang dengan menggunakan kolom bujursangkar dengan balok normal dan balok lebar yang masing-masing menggunakan sistem pelat satu arah dan pelat dua arah. Model dibuat dalam bentuk 3D (tiga dimensi) yang kemudian diberikan beban statis dorong (*static pushover*) yang merupakan salah satu fitur yang ada pada program SAP2000. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah informasi mengenai perilaku struktur rangka beton bertulang menggunakan balok lebar dan kolom pipih dengan sistem pelat satu arah dan pelat dua arah terhadap gaya gempa dan dapat sebagai alternatif dalam perencanaan dan pelaksanaan struktur rangka beton bertulang menggunakan balok lebar dengan sistem pelat satu arah dan pelat dua arah.

TEORI DAN METODE

Komponen Balok Lebar, Kolom Pipih Dan Analisa Pushover

Balok lebar adalah balok yang memiliki dimensi lebar balok lebih besar dari dimensi tinggi balok. Perbandingan lebar balok dengan tinggi balok lebih besar dari 1 ($b/h > 1$) (Puskas, 2012). Keuntungan balok lebar adalah mengurangi jumlah total ketinggian bangunan dengan memperpendek jarak antar lantai bangunan. Dengan demikian struktur balok lebar akan mempermudah dalam pelaksanaan konstruksi dan mengurangi biaya.

Pelat merupakan panel-panel beton bertulang yang mungkin bertulangan dua atau satu arah saja tergantung sistem strukturnya. Pelat satu arah yaitu plat yang didukung pada dua sisi yang berhadapan sehingga lenturan timbul hanya dalam satu arah saja. Sedangkan pelat dua arah adalah pelat yang didukung pada keempat sisinya yang lenturannya akan timbul dalam dua arah yang saling tegak lurus

Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja merupakan proses yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru maupun perkuatan (*upgrade*) bangunan yang sudah ada. Sasaran kinerja terdiri dari kejadian gempa rencana yang ditentukan (*earthquake hazard*), dan taraf kerusakan yang diijinkan atau level kinerja (*performance level*) dari bangunan terhadap kejadian gempa tersebut

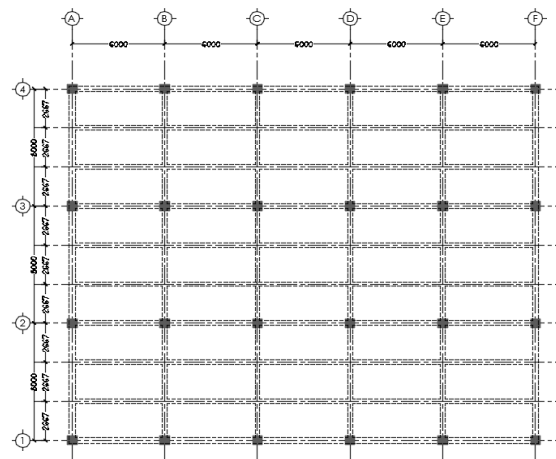
Analisa statik nonlinier pushover (ATC-40, 1996) merupakan salah satu komponen *performance base design* yang menjadi sarana dalam mencari kapasitas dari suatu struktur. Dasar dari analisis pushover sebenarnya sangat sederhana yaitu memberikan pola beban statik tertentu dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap pada suatu struktur sampai struktur tersebut mencapai target perpindahan tertentu atau mencapai pola keruntuhan tertentu

Metode Penelitian

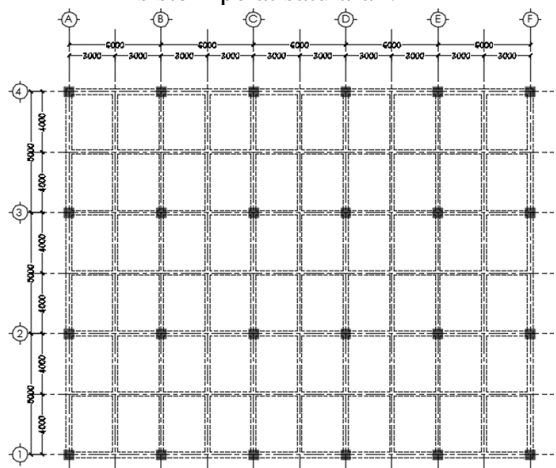
Struktur direncanakan menggunakan beton bertulang lima lantai yang dianalisis 3D. Struktur gedung pada penelitian ini direncanakan berfungsi sebagai gedung hotel atau penginapan. Gedung terletak di Denpasar pada lokasi bangunan tergolong tanah sedang. Dimensi balok dan kolom

ditentukan dengan analisis konvensional dan telah memenuhi syarat kekuatan penampang.

Mutu bahan yang digunakan pada struktur gedung ini merujuk pada persyaratan beton struktural SNI 2847 2019. Material yang digunakan di dalam portal tersebut adalah beton dengan kekuatan tekan (f'_c) = 30 MPa, $E_c = 4700/\sqrt{30} = 25742,96\text{MPa}$ untuk struktur kolom, balok dan pelat $\gamma_{\text{beton}} = 2400 \text{ kg/m}^3$ dan tulangan dengan kapasitas leleh (f_y) = 400 MPa. Gambar 1 dan 2 menunjukkan denah struktur gedung dengan sistem pelat satu arah dan dua arah. Tabel 1 menunjukkan dimensi elemen struktur hasil analisis dan desain.



Gambar 1. Denah Struktur gedung dengan sistem pelat satu arah:



Gambar 2. Denah Struktur gedung dengan sistem pelat dua arah

Pemodelan berupa gedung beton bertulang dengan delapan model yaitu:

- Struktur kolom bujursangkar balok normal dengan sistem pelat satu arah (1wSN)
- Struktur kolom bujursangkar balok normal dengan sistem pelat dua arah (2wSN)
- Struktur kolom bujursangkar balok lebar dengan sistem pelat satu arah (1wSW)
- Struktur kolom bujursangkar balok lebar dengan sistem pelat dua arah (2wSW)

beban dorong secara terperinci terdapat di lampiran 1

- Diperoleh hasil analisis berupa kurva kapasitas dan skema kelelahan
- Selanjutnya dilakukan evaluasi *Performance Base Design* yaitu *performance point*, *drift/h* dan *performance level*
- Untuk menetapkan kesimpulan dari penelitian ini diperlukan perhitungan terhadap perbandingan hasil analisis keseluruhan model struktur

Tabel 1. Dimensi Elemen Struktur Hasil Analisis

Model	Kolom bawah	Kolom Atas	Balok Induk Tepi	Balok Induk Tengah	Balok Anak
1wSN	600x600	600x600	350x700	300x600	300x500
	600x600	600x600	350x700	300x600	
2wSN	600x600	600x600	700x700	600x600	300x500
	600x600	600x600	700x700	600x600	
1wSW	600x600	600x600	350x700	300x600	500x300
	600x600	600x600	700x700	600x300	
2wSW	600x600	600x600	350x700	0	500x300

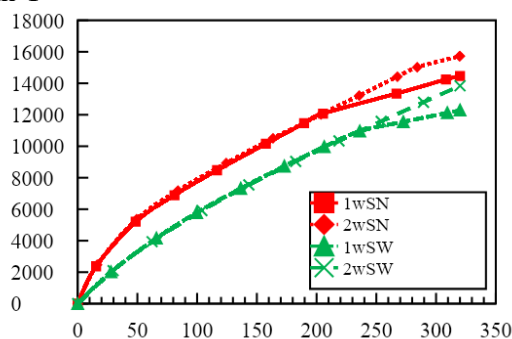
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Non-Linier Statik Pushover

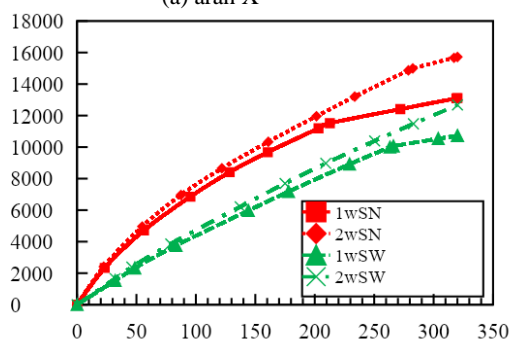
Hasil dari analisis non-linier berupa kurva kapasitas atau kurva pushover. Kurva tersebut menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar dengan perpindahan atap. Perpindahan atap pada analisis ini ditinjau pada join 6 lantai atap. Hasil ini dapat dilihat pada Gambar 3 yaitu Kurva Pushover Arah x dan Y

Adapun langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini yaitu:

- Studi literature terhadap kajian gedung rangka beton bertulang kolom kotak dan kolom pipih dengan penggunaan balok lebar dan balok normal dan menggunakan distribusi beban pelat 1 arah dan 2 arah.
- Menetapkan parameter struktur yaitu model gedung, peruntukan, mutu beton dan mutu baja tulangan
- Melakukan pemodelan dan desain struktur balok lebar dan balok normal, dimana masing-masing balok juga dimodelkan dengan sistem pelat 1 arah dan pelat 2 arah.
- Pemodelan balok dan kolom dengan elemen *frame*, sedangkan pemodelan pelat dengan elemen *shell*.
- Pembebanan terdiri dari beban mati, tambahan beban dinding, beban hidup dan beban gempa.
- Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung yang digunakan adalah SNI 03-1726-2012. Beban gempa yang akan diperhitungkan yaitu dengan cara analisis respon spektrum.
- Analisis model struktur dengan analisis beban dorong. Analisa Modal untuk model yang digunakan pada analisa



(a) arah X



(b) arah Y

Gambar 3. Kurva Pushover

Pada Gambar 3, Kurva pushover arah X menunjukkan bahwa gaya geser terbesar mampu dipikul oleh model 2wSN yaitu 15730 kN. Model 1wSN mampu memikul gaya geser lebih kecil 8,04% dari model 2wSN yaitu sebesar 14465,112 kN. Model 2wSW mampu memikul gaya geser yang

lebih kecil 12,01% dari model 2wSN yaitu sebesar 13840,12 kN dan Model 1wSW mampu memikul gaya geser yang lebih kecil 21,28% dari model 2wSN yaitu sebesar 12296,97 kN. Model struktur balok normal lebih mampu memikul gaya geser lebih besar daripada model struktur balok lebar. Struktur balok normal lebih besar menerima gaya geser dari balok lebar karena balok normal lebih besar memberikan kekakuan tambahan terhadap struktur utama daripada balok lebar. Struktur dengan sistem pelat dua arah lebih besar menerima gaya geser daripada sistem pelat satu arah karena posisi balok anak sistem pelat dua arah mampu memberikan kekakuan tambahan pada struktur utama.

Kurva pushover arah Y menunjukkan bahwa gaya geser terbesar mampu dipikul oleh model 2wSN yaitu 15720,25 kN. Model 1wSN mampu memikul gaya geser lebih kecil 16,59% dari model 2wSN yaitu sebesar 13112,12 kN. Model 2wSW mampu memikul gaya geser yang lebih kecil 19,41% dari model 2wSN yaitu sebesar 12669,11 kN dan Model 1wSW mampu memikul gaya geser yang lebih kecil 31,84% dari model 2wSN yaitu sebesar 10715,495 kN. Gaya geser terbesar mampu dipikul oleh model struktur balok normal dengan sistem pelat dua arah, kemudian diikuti oleh balok normal dengan sistem pelat satu arah, balok

lebar dengan sistem pelat dua arah dan terakhir adalah struktur balok lebar dengan sistem pelat satu arah. Struktur balok normal lebih besar menerima gaya geser dari balok lebar karena balok normal lebih besar memberikan kekakuan tambahan terhadap struktur utama daripada balok lebar. Struktur dengan sistem pelat dua arah lebih besar menerima gaya geser daripada sistem pelat satu arah, karena posisi balok anak sistem pelat dua arah mampu memberikan kekakuan tambahan pada struktur utama. Ditinjau berdasarkan kurva pushover, urutan model struktur dari yang paling baik adalah 2wSN, 1wSN, 2wSW dan 1wSW.

Target Perpindahan

Target perpindahan dapat ditentukan setelah memperoleh kurva pushover yang diidealisasikan sebagai kurva *bilinier* untuk menentukan parameter dalam menghitungnya. Dari target perpindahan maka diperoleh titik kinerja (*performance point*) yang merupakan titik ketika gaya geser dasar (V_T) saat mencapai target perpindahan (δ_T). Target perpindahan (δ_T) dihitung berdasarkan metode *displacement modification* FEMA 440 yang *built-in* pada program SAP2000. Tabel 2 menunjukkan Parameter Kurva Idealisasi dan Target Perpindahan akibat PUSH X

Tabel 2. Parameter Kurva Idealisasi dan Target Perpindahan akibat PUSH X

Parameter	Push X				Push Y			
	1wSN	2wSN	1wSW	2wSW	1wSN	2wSN	1wSW	2wSW
C_0	1,3041	1,3041	1,3067	1,3245	1,3054	1,3033	1,3252	1,3351
C_1	1,0776	1,0727	1	1	1	1	1	1
C_2	1	1	1	1	1	1	1	1
S_a	0,6754	0,6591	0,4944	0,4914	0,5671	0,5805	0,4175	0,4384
T_e	0,9476	0,971	1,2945	1,3024	1,1286	1,1025	1,5328	1,4598
T_i	0,8677	0,8951	1,2171	1,2599	1,0515	1,044	1,4617	1,447
K_i (kN/mm)	153,59	151,48	72,34	70,74	99,95	107,43	47,58	51,57
K_e (kN/mm)	128,75	128,73	63,94	66,19	86,75	96,33	43,27	50,68
α	0,3159	0,3131	0,4668	0,5552	0,3804	0,4357	0,4673	0,6911
R	5,1802	5,1115	3,0699	4,2431	3,4433	4,0899	2,1311	3,8663
V_y (kN)	5295,4	5506,3	6541,1	4945,4	6689,21	6060,41	7958,26	4842,11
D_y (mm)	41,13	42,78	102,30	74,71	77,11	62,92	183,94	95,55
W (kN)	40617,2	42700,7	40617,2	42700,7	40617,2	42700,8	40617,2	42700,8
C_m	1	1	1	1	1	1	1	1
δ_i (mm)	266,87	235,67	272,58	289,48	271,97	233,62	320,08	320,08

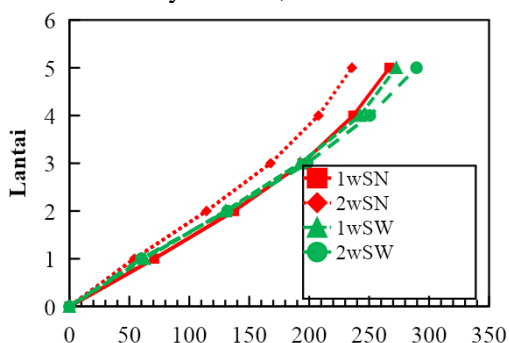
$V_i(kN)$	13348, 8	13219, 1	11552,2	12797,1	12410,7	13203,6	10715,5	12669,1
-----------	-------------	-------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Dengan mengabaikan system pelat satu arah dan dua arah karena hasil yang bervariasi, maka berdasarkan gaya geser pada saat target perpindahan mendapatkan hasil urutan model struktur yang terbaik adalah 1wSN, 2wSN, 2wSW dan 1wSW. Berdasarkan periode struktur dan kekakuan struktur adalah 2wSN, 1wSN, 2wSW dan 1wSW. Berdasarkan faktor reduksi yang didapatkan adalah 1wSN, 2wSN, 2wSW dan 1wSW.

Simpangan Tingkat

SNI 1726-2012 pasal 7.8.6 mengatur simpangan antar tingkat akibat gempa desain (Δ) harus sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa ditingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Hasil ini dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5 tentang Simpangan Tingkat Push X dan Push Y setelah Mencapai Target Perpindahan

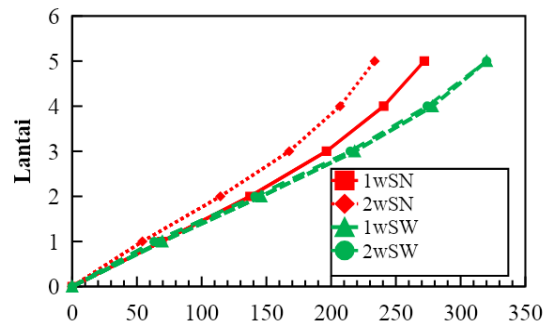
Simpangan terbesar pada arah X terjadi pada model 2wSW yaitu sebesar 289,5mm. Model 1wSW memiliki simpangan lebih kecil 5,84% dari model 2wSW yaitu 272,57mm. Model 1wSN memiliki simpangan lebih kecil 7,81% dari model 2wSW yaitu 266,87mm. Model 2wSN memiliki simpangan lebih kecil 18,59% dari model 2wSW yaitu 235,66mm.



Gambar 4. Simpangan Tingkat Push X setelah Mencapai Target Perpindahan

Simpangan terbesar pada arah Y terjadi pada model 1wSW dan 2wSW yaitu sebesar 320mm. Model 1wSN memiliki simpangan lebih kecil 15,08% dari model 1wSW dan 2wSW yaitu 271,97. Model 2wSN memiliki simpangan lebih kecil 27,01% dari model 1wSW dan 2wSW yaitu 233,62mm.

Dengan mengabaikan hasil dari system pelat satu arah dan dua arah karena memiliki hasil yg bervariasi, maka berdasarkan simpangan tingkat, model struktur paling baik adalah 1wSW, 2wSW, 1wSN dan 2wSN.



Gambar 5. Simpangan Tingkat Push Y setelah Mencapai Target Perpindahan

Evaluasi Kinerja Struktur

Evaluasi kinerja struktur yang ditunjukkan dengan mekanisme terjadinya sendi plastis pada saat collapse (skema keruntuhan) dan level kinerja. Level kinerja struktur dapat ditentukan berdasarkan target perpindahan yang sudah diperoleh sebelumnya. Tabel 4 menunjukkan Jumlah Sendi Plastis yang Terjadi pada Kondisi Leleh dan Batas.

Perbandingan jumlah sendi plastis yang terjadi diantara model dengan menggunakan balok lebar dan balok normal adalah sebagai berikut. Untuk beban Push X, Model 1wSN memiliki perbedaan 6,13% lebih kecil dari 1wSW. Model 2wSN memiliki perbedaan 2,26% lebih kecil dari 2wSW. Untuk beban push Y, Model 1wSN memiliki perbedaan 0,97% lebih kecil dari 1wSW. Model 2wSN memiliki perbedaan 1,94% lebih besar dari 2wSW.

Perbandingan jumlah sendi plastis yang terjadi diantara model dengan menggunakan sistem pelat satu arah dan dua arah adalah sebagai berikut. Untuk beban Push X, Model 1wSN memiliki perbedaan 3,87% lebih besar dari 2wSN. Model 1wSW memiliki perbedaan 7,74% lebih besar dari 2wSW. Untuk beban push Y, Model 1wSN memiliki perbedaan 2,58% lebih besar dari 2wSN. Model 1wSW memiliki perbedaan 5,48% lebih besar dari 2wSW.

Jika ditinjau dari sendi plastis yang terjadi pada struktur, maka urutan model dari yang terbaik adalah sebagai berikut,

yaitu 1wSW, 1wSN, 2wSW dan 2wSN seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 4. Jumlah Sendi Plastis yang Terjadi pada Kondisi Leleh dan Batas.

Model	Arah	Kondisi	Sendi Plastis	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	Total	%
1wSN	X	Leleh	1240	4	0	0	0	0	4	0.32%
		Batas	1240	336	112	0	0	0	448	36.13%
	Y	Leleh	1240	4	0	0	0	0	4	0.32%
		Batas	1240	312	72	0	0	0	384	30.97%
2wSN	X	Leleh	1240	4	0	0	0	0	4	0.32%
		Batas	1240	328	72	0	0	0	400	32.26%
	Y	Leleh	1240	4	0	0	0	0	4	0.32%
		Batas	1240	320	32	0	0	0	352	28.39%
1wSW	X	Leleh	1240	20	0	0	0	0	20	1.61%
		Batas	1240	452	72	0	0	0	524	42.26%
	Y	Leleh	1240	24	0	0	0	0	24	1.94%
		Batas	1240	324	72	0	0	0	396	31.94%
2wSW	X	Leleh	1240	4	0	0	0	0	4	0.32%
		Batas	1240	152	276	0	0	0	428	34.52%
	Y	Leleh	1240	20	0	0	0	0	20	1.61%
		Batas	1240	160	168	0	0	0	328	26.45%

Tabel 5. Level Kinerja Struktur beban Push X Berdasarkan Target Perpindahan FEMA 356

Parameter	PUSH X				PUSH Y			
	1wSN	2wSN	1wSW	2wSW	1wSN	2wSN	1wSW	2wSW
$\delta_i(mm)$	266.87	235.66	272.57	289.48	271.97	233.62	320	320
$h(m)$	16	16	16	16	16	16	16	16
Drift Ratio	1.67%	1.47%	1.70%	1.81%	1.70%	1.46%	2.00%	2.00%
Level Kinerja	IO	IO	IO	IO	IO	IO	LS	LS

Drift ratio untuk struktur balok lebar relatif lebih besar dari struktur balok normal, karena dimensi balok normal lebih mampu memberikan kekakuan tambahan kepada kekakuan struktur utama. Sedangkan drift ratio untuk struktur dengan menggunakan sistem pelat satu arah relatif lebih besar dari struktur pelat 2 arah pada sistem balok normal, karena posisi dan dimensi balok anak normal pada system pelat dua arah mampu memberikan kekakuan tambahan pada kekakuan struktur utama. Sedangkan pada struktur balok lebar, posisi dan dimensi balok anak pada sistem pelat dua arah tidak memberikan kekakuan tambahan pada struktur utama, bahkan lebih fleksible atau drift rasionya lebih besar dari sistem pelat satu arah. Dimensi balok anak pada struktur balok normal lebih besar memberikan kekakuan daripada balok anak pada system

balok lebar, terlihat pada selisih perbedaan drift ratio pada balok normal lebih besar dari selisih perbedaan drift ratio pada balok lebar. Jadi berdasarkan drift ratio masing-masing model struktur, didapatkan urutan model terbaik yaitu adalah model 2wSN, 1wSN, 1wSW dan 2wSW.

Analisis Daktilitas Struktur

Daktilitas didapat berdasarkan simpangan pada titik batas dibagi dengan simpangan pada titik leleh dari analisis pushover yang ditunjukkan pada Tabel 7 terkait perbandingan daktilitas.

Tabel 7. Perbandingan Daktilitas

Model	Daktilitas		Nilai terkecil
	Arah X	Arah Y	
1wSN	17.268	11.661	11.6610
	8	0	

	14.430	10.405	
2wSN	6	8	10.4058
1wSW	9.7656	6.5771	6.5771
2wSW	9.7461	6.9392	6.9392

Struktur yang paling baik jika dilihat dari daktilitasnya adalah model struktur balok normal dengan sistem pelat satu arah, selanjutnya model balok normal dengan sistem pelat dua arah, kemudian model balok lebar dengan sistem pelat dua arah dan yang terakhir adalah model balok lebar dengan sistem pelat satu arah. Hal ini sesuai dengan bersesuaian dengan beberapa penelitian sebelumnya dimana balok lebar memiliki daktilitas lebih rendah dibandingkan balok normal (Fadwa et al., 2014; Gómez-Martínez et al., 2016; Mirzabagheri et al., 2018). Sistem pelat satu arah dan dua arah tidak memberikan nilai perbedaan yang besar sehingga bisa diabaikan.

SIMPULAN

Penggunaan jenis balok lebar atau balok normal pada sistem struktur rangka terbuka dalam memikul gaya lateral menjadi perhatian mengingat terdapat persyaratan desain yang harus terpenuhi. Simpangan maksimum yang terjadi akibat penggunaan balok lebar lebih besar dibandingkan dengan balok normal. Simpangan terbesar yaitu 289,5 mm arah X dan 320 mm arah Y Hal ini disebabkan karena balok lebar memberikan kekakuan yang lebih rendah dibandingkan dengan balok normal, sehingga simpangan yang terjadi lebih besar tetapi masih tetap dalam kondisi memenuhi simpangan ijin. Kekakuan hubungan balok-kolom merupakan kekuatan utama dari sistem rangka pemikul momen, hasil analisis menunjukkan kekakuan struktur dengan balok lebar lebih kecil dibandingkan struktur dengan balok normal, sehingga kekakuan join balok-kolom menurun akibat penggunaan balok lebar. Analisis kinerja struktur menunjukkan penggunaan balok lebar telah mencapai kinerja LS (pada arah Y) sedangkan balok normal masih dalam batas kinerja IO. Drift yang terjadi pada struktur dengan balok lebar lebih besar dibandingkan struktur dengan balok normal. Struktur dengan balok lebar memiliki daktilitas lebih rendah dibandingkan balok

normal, hal ini terjadi karena sendi plastis yang terjadi pada balok lebar lebih cepat dibandingkan dengan balok normal, atau proses keruntuhan yang terjadi pada balok lebar lebih cepat. Penggunaan sistem pelat dua arah maupun satu arah tidak memberikan pengaruh yang signifikan pada perilaku maupun kinerja struktur. Dengan kata lain kekakuan join balok-kolom tidak dipengaruhi langsung oleh sistem pelat yang digunakan, tetapi berdasarkan dimensi balok dan kolom yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- ATC-40, 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building*, 1st ed. Twin Dolphin Drive, Redwood, California.
- Badan Standardisasi Nasional, 2019. SNI 1726:2019 Tata Cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2019. SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan. Jakarta.
- Benavent-Climent, A., 2007. Seismic Behavior of RC Wide Beam-Column Connections Under Dynamic Loading. *Journal of Earthquake Engineering* 11, 493–511. <https://doi.org/10.1080/13632460601064814>
- Climent, A.B., Cahis, X., Gil, F., 2008. Experimental Investigation on RC Exterior Wide Beam-Column Connection Subjected to Cyclic Loading, in: *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*. Beijing.
- Dilger, W.H., 2000. Flat Slab Column Connections. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 2 2, 386–399.
- Elsouri, A.M., Harajli, M.H., 2013. Behavior of Reinforced Concrete Wide Concealed-Beam/ Narrow-Column Joints under Lateral Earthquake Loading. *ACI Struct J* 110, 205–215.
- Fadwa, I., Ali, T.A., Nazih, E., Sara, M., 2014. Reinforced concrete wide and conventional beam-column connections subjected to lateral load. *Eng Struct* 76, 34–48. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.06.029>
- Gómez-Martínez, F., Alonso-Durá, A., De Luca, F., Verderame, G.M., 2016. Seismic performances and behaviour factor of wide-beam and deep-beam RC frames. *Eng Struct* 125, 107–123. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.06.034>

- Lafaves, J.M., Wight, J.K., 1999. Reinforced Concrete Exterior Wide Beam-Column-Slab Connections Subjected to Lateral Earthquake Loading. *ACI Struct J* 96, 577–587.
- Li, B., Pan, T.-C., Tran, C.T.N., 2009. Seismic Behavior of Nonseismically Detailed Interior Beam-Wide Column and Beam-Wall Connections. *ACI Struct J* 106, 591–599.
- Mirzabagheri, S., Tasnimi, A.A., Issa, F., 2018. Experimental and numerical study of reinforced concrete interior wide beam-column joints subjected to lateral load. *Canadian Journal of Civil Engineering* 45, 947–957. <https://doi.org/10.1139/cjce-2018-0049>
- Nawy, E.G., 2010. *Beton Bertulang: Suatu Pendekatan Dasar*, Edisi ke-4. ed. Refika Aditama, Bandung.
- Popov, E.P., Cohen, J.M., Koso-Thomas, K., Kasai, K., 1992. Behavior of Interior Narrow and Wide Beams. *ACI Struct J* 89, 607–616.
- Puskas, A., 2012. *Deformation of Wide Beam*. Faculty of Civil Engineering, Technical University of Cluj-Napoca.
- Quintero-Febres, C.G., Wight, J.K., 2001. Experimental Study of Reinforced Concrete Interior Wide Beam-Column Connections Subjected to Lateral Loading. *ACI Struct J* 98, 572–582.