

# PENGARUH BENTUK PENAMPANG KOLOM TERHADAP KINERJA STRUKTUR BETON BERTULANG

I Ketut Sudarsana<sup>1\*</sup>, Dharma Putra<sup>1</sup> A.A. Ayu Istri Laksemana Dewi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dosen Teknik Sipil, Universitas Udayana, Denpasar

<sup>2</sup>Alumni Teknik Sipil, Universitas Udayana, Denpasar

\*e-mail: ksudarsana@unud.ac.id

**Abstrak:** Pada penelitian ini dilakukan analisis nonlinier *pushover* dengan membuat 5 model struktur, yaitu model struktur kolom bujur sangkar, model struktur kolom bulat, model struktur kolom persegi panjang, model struktur kolom bujur sangkar dengan sudut-sudut kolom bulat, dan model struktur kolom persegi panjang dengan sudut-sudut kolom bulat. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja struktur berdasarkan variasi bentuk penampang kelima model. Kelima model tersebut menggunakan sistem struktur pemikul momen khusus (SRPMK) yang didesain berdasarkan SNI Beton 2847-2013 dan SNI Gempa 1726-2012. Kelima model memiliki luas penampang kolom yang sama, dan juga memiliki dimensi pelat atap, pelat lantai, balok induk atap, balok induk lantai, dan balok anak yang sama. Beban gempa dihitung menggunakan metode statik ekuivalen berdasarkan SNI 1726-2012. Dari hasil analisis didapatkan bahwa model struktur dengan kolom persegi panjang memiliki gaya geser dasar seismik yang paling besar diantara kelima model. Dengan nilai gaya geser dasar seismik 8921,10 KN untuk arah X dan 8641,07 KN arah Y. Model struktur dengan kolom persegi panjang juga memiliki nilai simpangan paling kecil diantara kelima model, dengan nilai simpangan arah X akibat beban gempa arah X sebesar 117,26 mm dan simpangan arah Y akibat beban gempa arah Y sebesar 123,20 mm. Berdasarkan nilai gaya geser dasar seismik, perpindahan dan simpangan, dapat disimpulkan struktur dengan denah kolom persegi panjang memiliki kinerja paling baik diantara kelima model. Penambahan kolom bulat pada sudut-sudut denah struktur kolom bujur sangkar tidak memberikan pengaruh yang signifikan. Sedangkan penambahan kolom bulat pada struktur denah kolom persegi panjang justru menurunkan kinerja struktur tersebut.

**Kata kunci:** kinerja, analisis *pushover*, SRPMK.

## THE INFLUENCE OF COLUMN CROSS-SECTIONAL SHAPE ON REINFORCED CONCRETE STRUCTURE PERFORMANCE

**Abstract:** In this research, there are 5 model of the structure that performed nonlinear analysis pushover. The 5 model were reinforced concrete with square column, round column, rectangular column, square column with rounded columns in each corner, and rectangular column with rounded columns in each corner. This research was conducted to determine the performance of the structure based on cross-sectional variation in five models. All models were designed using Special Moment Frame (SMF) based on SNI 2847-2013 and SNI 1726-2012. All models have the same cross-sectional area column and also have a roof plate, slab, roof's beam, floor's beam, and secondary beam with same design for all models. Seismic load is calculated using equivalent static method based on SNI 1726-2012. From the analysis, it can be concluded that model structure with rectangular column has a seismic base shear force the greatest among the five models. With the seismic base shear force values are 8559.95 KN for X direction and 8378.51KN for Y direction. Model structures with rectangular column also has the smallest displacement value among the five models, with a displacement value of the X direction at 120.34 mm and the displacement of the Y direction at 124.21 mm. Based on the value of the seismic base shear force and displacement, it can be concluded that structure with rectangular columns has the best performance among the five models. The addition of round columns at the corners of square column structure does not have a significant influence. While the addition of circular columns in a rectangular column layout structure actually degrades the performance of the structure.

**Keywords :** performance, analysis pushover, Special Moment Frame (SMF).

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan resiko gempa yang tinggi, karena letaknya yang berada di pertemuan tiga lempeng tektonik dunia, yaitu lempeng Hindia-Australia, lempeng Pasifik, dan lempeng Eurasia. Selain itu, Indonesia juga merupakan jalur Cincin Api Pasifik (*The Pasific Ring of Fire*), yang merupakan jalur gunung api aktif di dunia (Dept. PU, 2014). Oleh karena itu, beban gempa menjadi salah satu faktor penting yang diperhitungkan dalam melakukan desain bangunan, terutama di daerah-daerah rawan gempa seperti Indonesia. Besarnya beban gempa yang sulit diprediksi menjadi landasan bahwa suatu bangunan yang dibangun di suatu lokasi dengan resiko gempa yang tinggi, haruslah direncanakan dengan baik. Desain perencanaan yang umum dilakukan selama ini adalah desain perencanaan berbasis gaya, dimana ini belumlah cukup untuk mendapatkan suatu struktur dengan kinerja yang baik pada saat terjadinya gempa. Oleh karena itu, dilakukanlah suatu perancangan kinerja struktur dengan menerapkan perencanaan berbasis kinerja.

Perencanaan berbasis kinerja (*performance based design*), merupakan suatu metode perencanaan dimana tidak hanya memperhitungkan kekuatan suatu struktur yang dikenai beban gempa, tetapi juga memperhitungkan aspek layanan berupa kerusakan dan kerugian yang mungkin terjadi pada saat terjadinya gempa. Konsep perencanaan berbasis kinerja adalah suatu konsep yang menerapkan tingkat kinerja (*performance point*) dimana, kinerja suatu struktur dapat ditentukan berdasarkan grafik gaya geser dasar seismik dan perpindahan, yang didapatkan dari suatu analisis statik nonlinear *pushover* (Dewobroto, 2005).

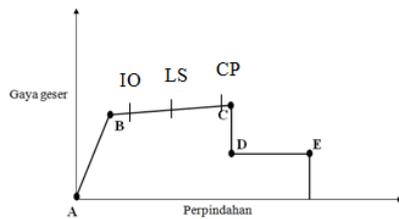
Kolom adalah elemen stuktur vertikal dari rangka (*frame*) struktural yang menerima beban dari balok. Kolom meneruskan beban-beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui pondasi (Nawy, 1998). Keruntuhan pada satu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan keruntuhan (*collapse*) lantai yang bersangkutan, dan juga keruntuhan total seluruh strukturnya. Dalam pembangunan suatu struktur gedung, berbagai macam variasi bentuk penampang kolom yang paling sering digunakan adalah penampang kolom bujur sangkar, penampang kolom persegi panjang dan penampang kolom bulat. Bentuk penampang kolom akan mempengaruhi kekakuan kolom tersebut dan kekakuan struktur secara keseluruhan. Penelitian mengenai struktur dengan bentuk penampang kolom yang berbeda, yang dikenai beban gempa menunjukkan bahwa, balok pada struktur dengan kolom penampang persegi panjang lebih cepat runtuh daripada balok pada suatu struktur dengan kolom berpenampang bulat dan bujur sangkar (Khrisnamurti et al., 2013).

Dari uraian tersebut diatas, maka timbul gagasan penelitian mengenai analisis kinerja struktur beton bertulang dengan variasi bentuk penampang kolom yang berbeda yaitu kolom bujur sangkar, kolom persegi panjang, dan kolom bulat, dimana luas penampang kolom untuk masing-masing model tersebut adalah sama. Selain itu, juga akan dimodel juga struktur kolom bujursangkar dan persegi panjang dengan kolom eksterior sudutnya menggunakan kolom bulat, untuk mengetahui kinerja struktur akibat pengaruh peletakan kolom bulat dimana bagian sudut denah struktur adalah bagian yang pasti menerima *biaxial bending*. Penelitian ini akan menggunakan metode statik non linier *pushover analysis*. Analisa *pushover* adalah analisa statik nonlinear yang dilakukan untuk mengetahui kinerja suatu struktur gedung.

## MATERI DAN METODE

Kinerja suatu struktur dapat diketahui melalui analisis statik *pushover* dengan memberikan suatu pola beban lateral, yang kemudian secara bertahap beban lateral ditingkatkan sampai target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai. Dari analisis ini dihasilkan kurva *pushover*, yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar seismik (V) dan perpindahan titik acuan (D). Sebelum analisis *pushover* dilakukan kelima struktur dimodel, dibebani, dan dianalisis untuk memenuhi semua kriteria perencanaan menurut SNI 2847-2013. Hasil dari analisis linier ini adalah perilaku struktur berupa simpangan yang dikontrol dengan simpangan ijin berdasarkan SNI 1726 2012. Dimensi elemen struktur balok dan kolom didapatkan dengan metode *trial and error* pada SAP2000 dengan denah struktur kolom bujur sangkar sebagai acuan. Luas penampang kolom untuk kelima model adalah sama. Dimensi untuk balok, dan pelat adalah sama untuk kelima model. Dengan demikian diperoleh lima model struktur yang sebanding untuk dibandingkan kinerjanya melalui analisis statik *pushover*.

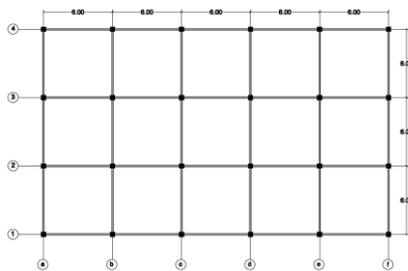
Menurut FEMA 273, kinerja struktur dapat dijelaskan dengan Gambar 1. Level kinerja (*performance level*) dibedakan atas *Immediate Occupancy (IO)* atau segera dapat dihuni, *Life Safety (LS)* atau keselamatan jiwa, dan *Collapse Prevention (CP)* atau pencegahan keruntuhan. Lima (5) titik acuan pada Gambar 1 meliputi titik awal atau *Origin Point (A)*, titik leleh atau *Yield Point (B)*, runtuh atau *Collapse (C)*, titik residu atau *Residual point (D)*, dan titik gagal atau *Failure Point (E)* yang selanjutnya digunakan dalam mengevaluasi kinerja masing-masing struktur.



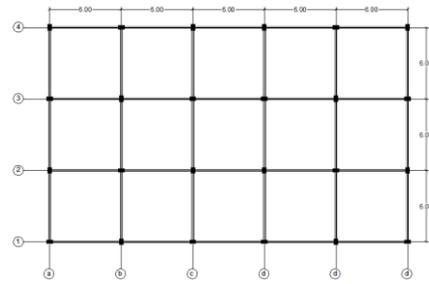
Gambar 1. Kinerja struktur terhadap gaya geser dan Perpindahan  
Sumber : FEMA (2000)

Dalam penentuan sendi plastis, elemen kolom menggunakan tipe sendi *default-PMM* untuk hubungan gaya aksial dengan momen. Untuk elemen balok menggunakan tipe sendi *default-M3* dan *default-V2* karena balok efektif menahan momen dalam arah sumbu kuat (sumbu-3), dan efektif menahan gaya geser pada sumbu 2. Sesuai dengan prinsip ‘balok lemah kolom kuat’, diharapkan sendi plastis pertama yang menandakan kelelahan terjadi pada balok atau kolom paling bawah.

Struktur yang dimodel pada penelitian ini menggunakan sistem struktur pemikul momen khusus (SRPMK) 4 tingkat dengan masing-masing tingkat memiliki tinggi yang sama. Kelima model adalah identik satu sama lain, dengan model bujur sangkar sebagai acuan. Perbedaan kelima model ini hanya terletak pada bentuk penampang kolom saja, dengan luasan penampang kolom adalah sama. Dimensi elemen struktur lainnya seperti balok dan pelat menggunakan dimensi yang sama untuk kelima model. Gambar 2 adalah denah struktur kolom bujur sangkar, dan Gambar 3 adalah denah struktur kolom persegi panjang. Denah struktur kolom bulat dan denah struktur kolom bujur sangkar dengan sudut-sudut kolom bulat adalah identik dengan denah struktur pada Gambar 2. Sedangkan denah struktur kolom persegi panjang dengan sudut-sudut kolom bulat adalah identik dengan denah struktur pada Gambar 3.



Gambar 2 Denah struktur kolom bujur sangkar



Gambar 3 Denah struktur kolom persegi panjang

Model adalah 4 tingkat dengan jarak antar lantai 3,5 m. Mutu beton  $f'c$  30 MPa, berat jenis beton 2400 kg/m<sup>3</sup>, dan modulus elastisitas beton E 25742,96 MPa. Mutu tulangan longitudinal  $f_y$  400MPa, tulangan transversal 240MPa, berat jenis tulangan 7850 kg/m<sup>3</sup>, dan modulus elastisitas baja tulangan E 200.000 MPa.

Beban yang bekerja pada struktur meliputi berat sendiri struktur dihitung otomatis dengan program SAP2000, beban mati tambahan sebesar 124 Kg/m<sup>2</sup> pada atap, dan 146 Kg/m<sup>2</sup> pada lantai, serta beban hidup sebesar 100 Kg/m<sup>2</sup> pada atap dan 250 Kg/m<sup>2</sup> pada lantai. Beban gempa direncanakan menggunakan metode statik ekuivalen mengacu pada SNI 1729-2012 sesuai daerah Denpasar dengan jenis tanah sedang (kelas situs D), dijelaskan pada Tabel 1

Tabel 1. Beban gempa per-lantai

Elevasi (m)	Wx (Kg)	$w_x \cdot h_x^k$	Fx (Kg)
0	0	0	0
3,5	506160	1771560	19435,29
7	506160	3543120	38870,59
10,5	506160	5314680	58305,88
14	364680	5105520	56011,24
<b>Jumlah</b>	<b>1883160</b>	<b>15734880</b>	<b>172623,00</b>

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dimensi model struktur didapat dengan cara *trial and error* pada SAP 2000, sehingga didapat dimensi struktur yang memenuhi persyaratan kapasitas dan memenuhi persyaratan struktur sebagai Struktur Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Berdasarkan Hasil *Trial and error* didapat kolom dengan ukuran 500x500mm untuk kolom bujursangkar yang kemudian menjadi acuan untuk dimensi kolom model M2, M3, M4, dan M5.

Hasil dimensi kolom ditampilkan pada Tabel 2. Dimana model M1 yaitu model struktur dengan penampang kolom bujur sangkar, M2 yaitu

model struktur dengan penampang kolom bulat, M3 yaitu model struktur dengan penampang kolom persegi panjang, M4 yaitu model struktur dengan penampang kolom bujur sangkar dengan sudut-sudut

kolom bulat, dan M5 yaitu model struktur dengan penampang kolom persegi panjang dengan sudut-sudut kolom bulat.

Tabel 2. Dimensi Model Struktur

Lantai	Kolom (mm)					Balok Induk (mm)	Balok Anak (mm)	Pelat (mm)
	M1	M2	M3	M4	M5			
1	500x500	D564	400x625	500x500 dan D564	400x625 dan D564	350x500	200x400	120
2	500x500	D564	400x625	500x500 dan D564	400x625 dan D564	350x500	200x400	120
3	500x500	D564	400x625	500x500 dan D564	400x625 dan D564	350x500	200x400	120
4	500x500	D564	400x625	500x500 dan D564	400x625 dan D564	250x450	200x400	100

Berdasarkan SNI 1726-2012, simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin ( $\Delta\alpha$ ). Untuk semua lantai pada bangunan dengan kategori

resiko gempa II, simpangan yang dihitung tidak boleh melebihi 0,020 kali tinggi tingkat. Dengan tinggi tingkat 14000mm, sehingga didapat simpangan ijin sebesar 280mm.

Tabel 3 Simpangan per-lantai arah X dan Y

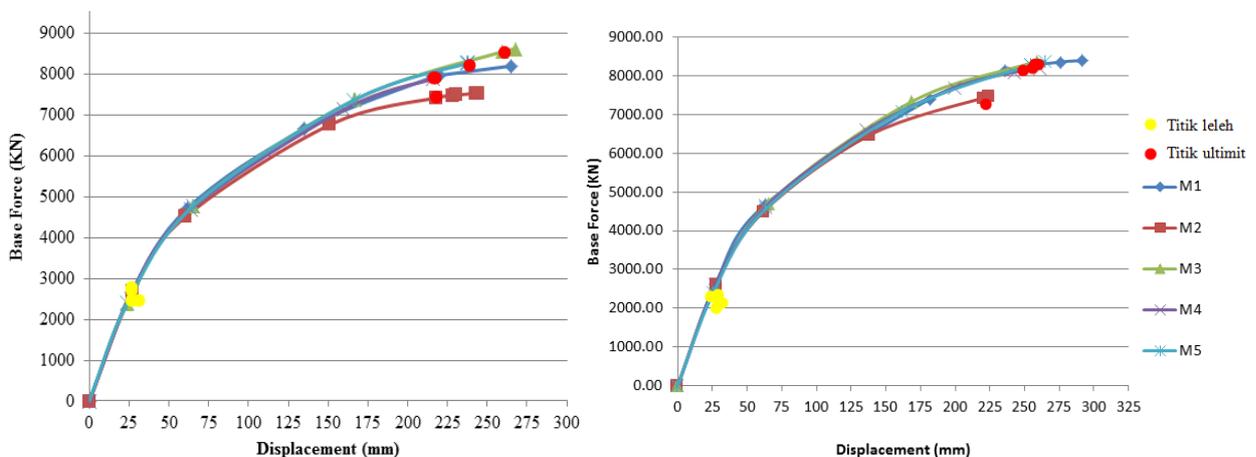
Lantai	Simpangan (mm)										
	M1		M2		M3		M4		M5		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	28,16	28,82	28,82	29,48	27,39	28,11	28,27	28,88	27,61	29,87	
2	67,98	69,96	69,36	71,34	67,05	69,36	68,15	70,13	67,27	72,44	
3	100,05	103,29	101,81	105,11	99,28	103,07	100,21	103,46	99,39	106,81	
4	120,67	124,96	122,60	126,94	120,34	124,91	120,84	125,13	120,78	128,81	

Berdasarkan Tabel 3, simpangan maksimum yang didapatkan dari kombinasi beban gempa untuk kelima model telah memenuhi syarat ( $< 280\text{mm}$ ), dimana simpangan yang terjadi kurang dari simpangan ijin. Simpangan arah X minimum terjadi pada model M3 yaitu sebesar 117,26 mm akibat beban gempa arah X. Akibat beban gempa arah Y simpangan minimum juga terjadi pada M3 sebesar 123,20 mm.

model sama. Model M3 memiliki nilai simpangan maksimum baik akibat gempa arah X maupun arah Y lebih kecil daripada model lainnya.

Dari Tabel 3 juga terlihat simpangan dari satu model dengan model lainnya tidak terlalu besar. Hal tersebut dikarenakan luas penampang keseluruhan

Setelah dilakukan kontrol simpangan, dilakukan analisis statik nonlinier *pushover* menggunakan program SAP 2000, sehingga didapatkan kurva *pushover* yang menunjukkan hubungan antara perpindahan dan gaya geser dasar seismik untuk masing-masing model. Berikut merupakan perbandingan kurva *pushover* dari kelima model yang ditinjau dari arah X maupun arah Y.



a. Kurva *pushover* arah X (push-X)

b. kurva *pushover* arah Y (push-Y)

Gambar 3. Perbandingan kurva *pushover*

Tabel 4 Gaya geser dasar seismik kelima model arah X dan Y pada kurva *pushover*

Gaya Geser Dasar	M1		M2		M3		M4		M5	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Pada kondisi Leleh (KN) $\times 10^3$	2,65	2,61	2,69	2,63	2,38	2,36	2,69	2,65	2,38	2,41
Prosentase (%)	100	100	101,51	100,77	89,81	90,42	101,51	101,53	89,81	8,28
Pada kondisi Ultimit (KN) $\times 10^3$	7,94	8,13	7,43	7,44	8,56	8,38	7,98	8,10	8,28	8,28
Prosentase (%)	100	100	93,57	91,51	107,81	103,07	99,37	99,63	104,28	101,85

Tabel 5 Perpindahan kelima model arah X dan Y pada kurva *pushover*

Gaya Geser Dasar	M1		M2		M3		M4		M5	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Pada kondisi Leleh (KN) $\times 10^3$	26,49	2699	27,78	27,57	23,82	24,45	26,91	27,17	23,84	25,76
Prosentase (%)	100	100	102,98	102,15	89,92	90,56	101,59	100,67	89,99	95,44
Pada kondisi Ultimit (KN) $\times 10^3$	216,1	235,7 1	2181	220,51	259,73	258,51	215,78	243,29	237,53	254,52
Prosentase (%)	100	100	100,93	93,55	120,91	109,68	99,86	103,22	109,91	107,98

Gambar 3 merupakan perbandingan hasil analisis *pushover* ditinjau dari arah X maupun arah Y. Nilai gaya geser dasar seismik pada kondisi leleh dan ultimit ditampilkan pada Tabel 4, dan nilai perpindahan pada kondisi ultimit ditampilkan pada Tabel 5. Model yang dapat menahan gaya geser dasar seismik dan perpindahan paling besar arah X maupun arah Y adalah M3, yaitu model persegi panjang dengan nilai gaya geser dasar seismik ultimit pada arah X sebesar 8559,95 KN dan perpindahannya sebesar 259,73 mm. Pada arah Y, model M3 dapat menahan gaya geser dasar seismik ultimit sebesar 8378,51 KN dengan perpindahan yang terjadi sebesar 258,51 mm.

Model M1 dapat menahan gaya geser dasar seismik ultimit arah X sebesar 7943,39 KN dengan perpindahan sebesar 216,10 mm. Model M2 dapat menahan gaya geser dasar seismik ultimit arah X sebesar 7431,27 KN dengan perpindahan sebesar 218,10 mm. Model M4 dapat menahan gaya geser dasar seismik ultimit arah X sebesar 7887,90 KN dengan perpindahan sebesar 215,79 mm. Model M5 dapat menahan gaya geser dasar seismik ultimit sebesar 8276,13 KN dengan perpindahan sebesar 237,53 mm.

Sedangkan akibat *pushover* arah Y, model M1 dapat menahan gaya geser dasar seismik ultimit sebesar 8132,77 KN dengan perpindahan sebesar 235,71 mm. Model M2 dapat menahan gaya geser dasar seismik ultimit arah Y sebesar 7439,05 KN dengan perpindahan sebesar 220,51 mm. Model M4 dapat menahan gaya geser dasar seismik ultimit arah Y sebesar 8101,63 KN dengan perpindahan sebesar 243,29 mm. Model M5 dapat menahan gaya geser dasar seismik ultimit sebesar 8280,11 KN dengan perpindahan sebesar 254,52 mm.

Berdasarkan grafik *pushover* dapat dilihat bahwa penambahan kolom bulat sebagai eksterior kolom sudut pada model kolom penampang bujursangkar tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kinerja struktur. Sedangkan penambahan kolom bulat sebagai eksterior kolom sudut pada denah kolom penampang persegi panjang justru mengurangi kinerja struktur. Berdasarkan grafik tersebut juga dapat dilihat bahwa model M3 yaitu model persegi panjang dianggap memiliki kinerja yang paling baik dibandingkan model lainnya.

Dua metode yang digunakan untuk menentukan target perpindahan yaitu metode koefisien perpindahan (FEMA 356) dan metode *capacity spectrum* (ATC 40). Metode koefisien perpindahan (FEMA 356) dimulai dengan menentukan faktor koefisien  $C_0, C_1, C_2,$  dan  $C_3$  dari tabel FEMA 356. Nilai target perpindahan  $\delta_t$ , juga tergantung dari akselerasi respons spectrum ( $S_a$ ), waktu getar alami efektif ( $T_e$ ) dan gravitasi ( $g$ ) sesuai persamaan berikut.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left( \frac{T_e}{2\pi} \right)^2 g \tag{1}$$

Dimana :

$T_e$  : waktu getar alami efektif yang memperhitungkan kondisi inelastik

$C_0$  : koefisien faktor bentuk, untuk merubah perpindahan spektral menjadi perpindahan atap, umumnya memakai faktor partisipasi ragam yang pertama (first mode participation factor).

$C_1$  : faktor modifikasi yang menghubungkan perpindahan inelastik maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastik linier.

- Ts : waktu getar karakteristik yang diperoleh dari kurva respons spektrum pada titik dimana terdapat transisi bagian akselerasi konstan ke bagian kecepatan konstan.
- R : rasio kuat elastik perlu terhadap koefisien kuat leleh terhitung.
- Sa : akselerasi respons spektrum yang berkesesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arah yang ditinjau.
- Vy : gaya geser dasar seismik pada saat leleh, dari idealisasi kurva pushover menjadi bilinear
- W : total beban mati dan beban hidup yang dapat tereduksi.
- Cm : faktor massa efektif yang diambil dari tabel 3.1 dari FEMA 356.
- C2 : koefisien untuk memperhitungkan efek pinching dari hubungan beban deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan, berdasarkan tabel 3-3 dari FEMA 356.
- C3 : koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek P-delta.
- $\alpha$  : rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastis efektif, dimana hubungan gaya-lendutan diidealisasikan sebagai kurva bilinear.
- g : percepatan gravitasi 9,81 m/det<sup>2</sup>

*Performance point* juga dapat ditentukan dengan metode *capacity spectrum ATC 40* yang sudah *built-in* pada program SAP 2000. *Performance point* diperoleh dengan mengkonversi kurva kapasitas dan kurva *demand respons spectrum* ke dalam format ADRS (*acceleration displacement response spectrum*).

Tabel 6 Nilai parameter target perpindahan

Metode		M1		M2		M3		M4		M5	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
FEMA 356	$\Delta t$ (mm)	108,80	112,01	109,83	112,98	106,75	110,79	109,08	112,27	113,08	111,44
	$V_t$ (KN)x10 <sup>3</sup>	5,89	5,88	5,74	5,82	5,92	5,91	5,98	5,89	5,76	5,69
ATC-40	$\Delta t$ (mm)	66,29	67,80	66,39	67,88	66,82	68,73	66,32	67,87	68,89	68,69
	$V_t$ (KN)x10 <sup>3</sup>	4,78	4,76	4,66	4,66	4,85	4,82	4,77	4,75	4,63	4,56

Selain dengan parameter target perpindahan, struktur juga dievaluasi pada kondisi dimana target perpindahan tercapai. Kriteria evaluasi kinerja didasarkan pada gaya dan deformasi yang terjadi. Level kinerja bangunan terhadap gempa mengacu pada perilaku kurva *pushover* (Gambar 1) yang diidealisasi adalah titik pada kurva sebagai

berikut : A: *Origin Point* (titik awal), B: *Yield Point* (titik leleh), IO: *Immediate Occupancy* (penggunaan sedang), LS: *Life Safety* (aman untuk dihuni), CP: *Collapse Prevention* (pencegahan keruntuhan), C: *Ultimate Point* (titik batas), D: *Residual Point* (titik sisa), dan E: *Failure Point* (titik keruntuhan).

Tabel 7 Jumlah sendi plastis yang terjadi pada kondisi perpindahan tertentu

Model	Arah	Kondisi	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
M1	X	Titik Leleh	4	0	0	0	0	0	0	4
		Titik Batas	170	78	16	0	8	0	0	272
	Y	Titik Leleh	10	0	0	0	0	0	0	10
		Titik Batas	284	70	10	0	14	0	0	378
M2	X	Titik Leleh	4	0	0	0	0	0	0	4
		Titik Batas	185	70	11	0	13	0	0	279
	Y	Titik Leleh	1	0	0	0	0	0	0	1
		Titik Batas	297	62	22	0	2	0	0	383
M3	X	Titik Leleh	1	0	0	0	0	0	0	1
		Titik Batas	167	100	6	5	19	0	0	297
	Y	Titik Leleh	2	0	0	0	0	0	0	2
		Titik Batas	292	84	14	4	7	0	0	401
M4	X	Titik Leleh	3	0	0	0	0	0	0	3
		Titik Batas	178	74	17	0	7	0	0	276
	Y	Titik Leleh	1	0	0	0	0	0	0	1
		Titik Batas	294	66	19	0	5	0	0	384
M5	X	Titik Leleh	1	0	0	0	0	0	0	1
		Titik Batas	181	85	14	0	10	0	0	290
	Y	Titik Leleh	3	0	0	0	0	0	0	2
		Titik Batas	295	78	18	2	4	0	0	397

Berdasarkan hasil yang ditampilkan pada Tabel 7, pada kondisi leleh pertama, model M1 dan M2 menghasilkan jumlah sendi plastis paling banyak akibat *pushover* arah X, yaitu sebanyak 4 buah. Pada arah Y sebanyak 10 buah sendi plastis dihasilkan oleh model M1. Model M2 pada kondisi leleh menghasilkan 1 buah sendi plastis akibat *pushover* arah Y. Model M4 pada kondisi leleh menghasilkan 3 buah sendi plastis akibat *pushover* arah X dan 1 buah sendi plastis akibat *pushover* arah Y. Model M3 dan M5 pada kondisi sendi plastis menghasilkan 1 buah sendi plastis akibat *pushover* arah X dan 2 buah sendi plastis akibat *pushover* arah Y.

Pada kondisi ultimit, model M3 menghasilkan jumlah sendi plastis paling banyak untuk arah X dan Y, yaitu sebanyak 297 buah sendi plastis akibat *pushover* arah X, dan 401 buah sendi plastis akibat *pushover* arah Y. Model M1 pada kondisi ultimit menghasilkan 272 buah sendi plastis akibat *pushover* arah X dan 378 buah sendi plastis akibat *pushover* arah Y. Model M2 pada kondisi ultimit menghasilkan 279 buah sendi plastis akibat *pushover* arah X dan 383 buah sendi plastis akibat *pushover* arah Y. Model M4 pada kondisi ultimit menghasilkan 276 buah sendi plastis akibat *pushover* arah X, dan 384 buah sendi plastis akibat *pushover* arah Y. Model M5 pada kondisi ultimit menghasilkan 290 buah sendi plastis akibat *pushover* arah X, dan 397 buah sendi plastis akibat *pushover* arah Y.

Berdasarkan hasil tersebut dapat terlihat bahwa dalam keadaan leleh sendi plastis banyak terjadi pada model M1 dan M2, dan pada keadaan ultimit sendi plastis paling banyak terjadi pada model M3. Banyaknya sendi plastis yang muncul baik dalam keadaan leleh maupun ultimit menandakan bahwa model tersebut memiliki persebaran distribusi energi gempa yang baik.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan dapat diambil kesimpulan, bahwa perbandingan kinerja pada sistem struktur beton bertulang dengan variasi bentuk penampang kolom yang berbeda adalah :

1. Model struktur dengan kolom persegi panjang memiliki gaya geser dasar seismik ultimit yang paling besar dari model lain. Dengan nilai gaya geser dasar seismik 8559,95 KN untuk arah X dan 8378,51 KN arah Y.
2. Model struktur dengan kolom persegi panjang memiliki perpindahan ultimit akibat *pushover* yang paling besar dari model lain. Dengan nilai perpindahan 259,73 mm untuk arah X dan 258,51 mm arah Y.
3. Model struktur dengan kolom persegi panjang memiliki nilai simpangan paling kecil akibat analisis linier diantara kelima model, dengan nilai simpangan arah X akibat beban gempa

arah X sebesar 117,26 mm dan simpangan arah Y akibat beban gempa arah Y sebesar 123,2 mm.

4. Berdasarkan kinerja yang diukur dari nilai gaya geser dasar seismik ultimit, perpindahan ultimit dan simpangan, didapatkan bahwa sistem struktur dengan penampang kolom persegi panjang memiliki kinerja yang paling baik diantara kelima model.
5. Penambahan kolom bulat sebagai pengganti kolom eksterior sudut pada struktur berpenampang kolom bujur sangkar tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kinerja struktur tersebut. Sedangkan penambahan kolom bulat sebagai pengganti kolom eksterior sudut pada struktur berpenampang persegi panjang, menurunkan kinerja struktur tersebut. Ini dapat dilihat dari menurunnya perpindahan dan gaya geser dasar seismik yang dapat ditahan oleh struktur tersebut.

### Saran

1. Apabila hendak membangun dengan menggunakan kolom berpenampang persegi panjang hendaknya diperhatikan kekakuan arah X maupun arah Y karena struktur dengan penampang persegi panjang memang memiliki kinerja yang baik tetapi apabila ditinjau terhadap beban gempa pada arah tertentu saja.
2. Penelitian ini dapat dikembangkan lagi dengan melakukan analisis *time history* untuk kelima model.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penerbitan karya ilmiah ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- BSN. 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- BSN. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 03-1726-2012)*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- BSN. 2013. *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2013*, Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Dept. PU, 2014, *Posisi Indonesia dan Kerentanan Terhadap Bencana*, [http://penataanruang.pu.go.id/bulletin/upload/data\\_artikel/posisi%20indonesia.pdf](http://penataanruang.pu.go.id/bulletin/upload/data_artikel/posisi%20indonesia.pdf) Diakses tanggal : 18/05/2013

- Dewobroto, W. 2005. Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover, *Seminar Bidang Kajian 1*, Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Parahyangan (tidak dipublikasikan).
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- FEMA. 2000. *Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings* (FEMA 356). Washington, D.C: Federal Emergency Management Agency.
- Krisnamurti, Wiswamitra, K.A., Kriswardhana, W. 2013. Pengaruh Variasi Penampang Kolom Terhadap Perilaku Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa.
- Nawy, E. 1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung.
- MacGregor, J.G., Wight, J.K. 2011. *Reinforced Concrete Mechanics & Design*. New Jersey.
- Tumilar, S. 2013. Perencanaan Struktur Beton akibat gempa menurut SNI 1726-2012 dibandingkan dengan SNI 03-1726-2002. *Prosiding Shortcourse HAKI*. 14 Desember 2013, Hotel The Atanaya, Denpasar.
- Yuda, A. 2011. Perilaku Dinamis Struktur Beton Bertulang Dengan Berbagai Konfigurasi Kekakuan Kolom Pipih. (Tugas Akhir yang tidak dipublikasikan, Jurusan Teknik Sipil Universitas Udayana, 2011).