

## PERILAKU DINAMIS STRUKTUR GEDUNG DENGAN DENAH LENGKUNG

I Ketut Sudarsana<sup>1</sup>, Ida Ayu Budiwati<sup>1</sup>, Ni Wayan Novi Suryantari<sup>2</sup>

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

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

*Email: ksudarsana@unud.ac.id*

**Abstrak:** Denah bangunan yang lengkung dengan jari-jari (R) yang disesuaikan dengan lokasi bangunan merupakan alternatif perencana untuk mendapatkan pemandangan yang bagus. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku dinamis dari lima buah model struktur dengan variasi kelengkungan denah  $R=\infty$ ,  $R=122$ ,  $R=108$ ,  $R=94$ , dan  $R=80$  meter yang meliputi waktu getar alami struktur, gaya geser dasar, perpindahan antar lantai, kecepatan dan percepatan lantai, dan gaya-gaya dalam pada elemen struktur. Analisis 3D dilakukan terhadap struktur hotel 4 lantai dengan tinggi tingkat 3,5 meter yang berada pada kondisi tanah keras. Kelima model struktur memiliki dimensi pelat, balok dan kolom serta massa tingkat dan mutu material yang sama. Perilaku dinamis diperoleh dari analisis riwayat waktu mengikuti *average acceleration* dari Newmark dimana nilai  $\gamma = 1/2$  dan  $\beta = 1/4$ . Adapun catatan gempa yang digunakan adalah gempa EL-Centro 1940. Hasil analisis menunjukkan bahwa denah lengkung dibandingkan dengan  $R=\infty$  tidak banyak memberikan perubahan terhadap perilaku dinamis struktur, namun terjadi pengaruh yang terlihat jelas pada gaya-gaya dalam seperti momen, gaya lintang dan torsi terutama pada kolom.

**Kata kunci :** Perilaku dinamis, denah lengkung, beban gempa, analisis riwayat waktu, dan gaya-gaya dalam.

## DYNAMIC BEHAVIOR OF BUILDING STRUCTURES WITH CURVED PLANS

**Abstract:** Curved plan building with radius (R) according to building location is a designer's alternative to maximize building's view. The research is done to investigate dynamic behaviors of 5 structural model with curved plan radius of  $R=\infty$ ,  $R=122$ ,  $R=108$ ,  $R=94$ , dan  $R=80$  meter, which include natural periode, base shear, drift, floor velocities and accelerations, and internal forces of structural members. A 3D-analysis was done on 4 story structure of a hotel having floor to floor distance of 3.5 meter which located on stiff soil. All five models have equal dimension on slabs, beams and columns, story mass and materials' quality. Dynamic behaviors are obtained from time history analysis according to Newmark's average acceleration method where the value of  $\gamma = 1/2$  and  $\beta = 1/4$ . The earthquake record used in the analysis is El-Centro earthquake 1940. The analysis results show that comparing to the structure with straight plan ( $R=\infty$ ), the dynamic behaviors of curved structures do not differ significantly with that of curved plan, however, the effect of plan radius (R) is significantly shown on members' internal forces such as moment, shear and torsion especially in the columns.

**Keywords:** Dynamic behavior, curved plan, seismic load, time history analysis and internal forces

**PENDAHULUAN**

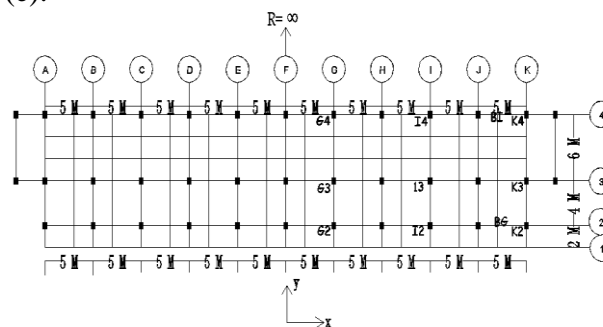
Perilaku gedung perlu dipahami dengan baik untuk menghindari terjadinya keruntuhan seperti sampoong department store di Soul (Wikipedia, 2013) dan Skyline Towers (Wikipedia, 2009) terutama pada bangunan-bangunan yang tidak umum. Dengan Kemajuan teknologi memungkinkan suatu desain bangunan yang lebih kreatif dengan membuat denah bangunan melengkung maka perilaku struktur tentunya berbeda dari perilaku struktur lurus. Ditinjau dari tingkat keberaturannya, struktur gedung dapat dibedakan menjadi struktur gedung beraturan dan tidak beraturan. Beban gempa yang bekerja pada gedung umumnya diperhitungkan arah yang saling tegak lurus denah gedung dimana umumnya sejajar portal. Namun pada kondisi denah lengkung akan terdapat balok-balok yang tidak sejajar dengan arah gempa sehingga portal-portalnya menjadi tidak sejajar pula.

Untuk mengetahui perilaku struktur akibat gempa, maka perlu dilakukan analisis dinamik linear riwayat waktu (*time history*). Dalam analisis riwayat waktu, rekaman percepatan tanah akibat gempa perlu diketahui sebagai input dalam analisis. Dalam analisis ini digunakan hasil rekaman akselerogram gempa El-Centro N-S yang terjadi di Imperial Valley, California pada tanggal 15 Mei 1940 yang telah disesuaikan (Chopra, 1995).

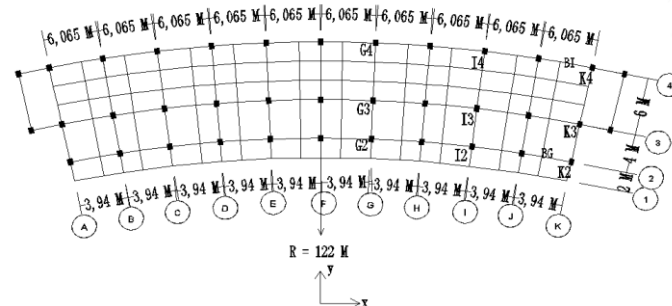
Pembahasan perilaku dinamis struktur gedung dengan denah lengkung yang ditinjau hanya 5 denah dengan jari-jari kelengkungan yang berbeda yaitu  $\infty$ , 122, 108, 94, dan 80 m dengan Balok dimodel sebagai elemen yang lurus dari 1 kolom ke kolom lainnya dalam 1 bentang dan beban gempa yang ditinjau adalah arah X dan Y.

**METODE ANALISIS**

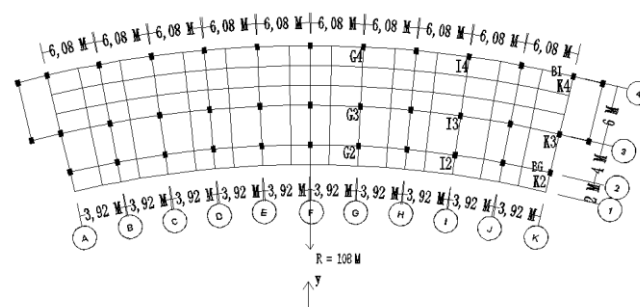
Analisa struktur dilakukan dengan menggunakan bantuan software komersil SAP 2000 v15, dimulai dengan memodelkan struktur 4 tingkat untuk masing-masing variasi kelengkungan struktur. Denah dan definisi join yang ditinjau seperti pada Gambar 1(a) sampai (e).



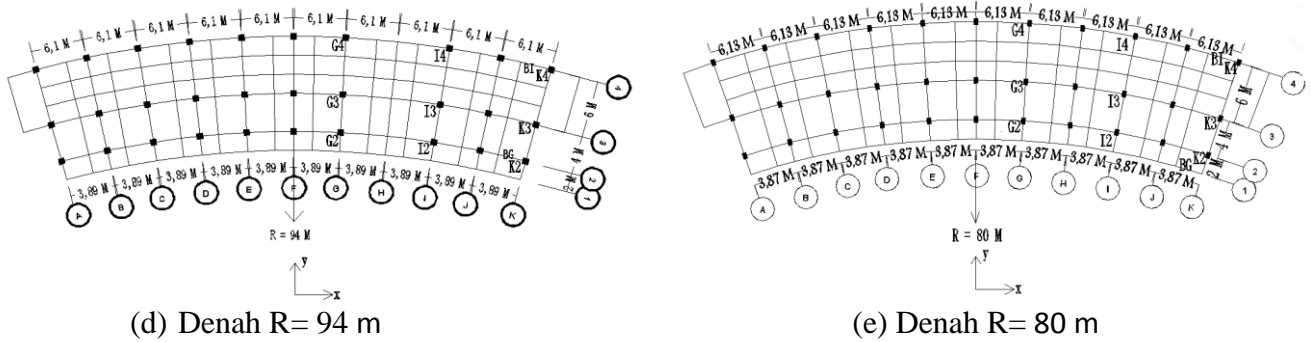
(a) Denah  $R = \infty$



(b) Denah  $R = 122 \text{ m}$



(c) Denah  $R = 108 \text{ m}$



Gambar 1. Denah dengan variasi jari-jari kelengkung (R) yang ditinjau

**Pemodelan dan Desain Struktur**

Struktur dianalisis dan didesain secara 3-Dimensi terhadap beban gravitasi dan beban gempa sesuai dengan fungsi bangunan sebagai hotel yang berdiri pada

tanah keras. Struktur didesain mengikuti persyaratan dalam SNI 03-2847-2002 dan persyaratan kinerja struktur berdasarkan SNI 03-1726-2010. Data desain dan hasil desain dimensi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Mutu material dan hasil desain dimensi elemen struktur

Model	$f'_c$ (MPa)	$f_y$ (MPa)	Dimensi Kolom (b/h) (mm)	Tebal pelat Lantai (mm)	Tebal pelat Atap (mm)	Dimensi Balok Anak (b/h) (mm)	Dimensi Balok Induk (b/h) (mm)
R = ∞	25	400	450/600	120	100	250/400	350/500
R = 122 m	25	400	450/600	120	100	250/400	350/500
R = 108 m	25	400	450/600	120	100	250/400	350/500
R = 94 m	25	400	450/600	120	100	250/400	350/500
R = 80 m	25	400	450/600	120	100	250/400	350/500

**Analisis Riwayat Waktu**

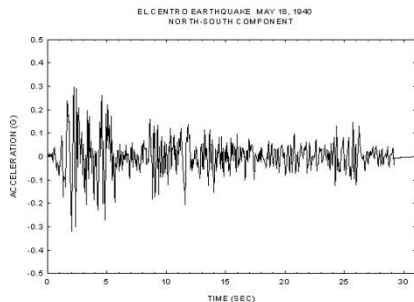
Model yang ditinjau yaitu struktur dengan jari-jari (R) ∞, 122, 108, 94, dan 80 m yang memiliki property yang sama seperti dimensi kolom, balok, pelat, massa tiap lantai, dan mutu material. Kelima model tersebut masing-masing akan dianalisa dalam tiga dimensi (3D) dengan beban gempa dinamis berdasarkan analisis riwayat waktu (*time history analysis*) sesuai dengan metode *average acceleration* dari Newmark

(Chopra,1995; Untari, 2005 dan Widyawati, 2006). Beban gempa masukan berupa akselerogram gempa El-Centro seperti pada Gambar 2. Pada analisis *time history*, beban gempa dikerjakan pada sumbu utama yaitu THA X (*Time History Analisis* arah X) dan THA Y (*Time History Analisis* arah Y). Struktur diasumsikan memiliki redaman *Rayleigh* dengan rasio redaman untuk semua mode diambil tetap sebesar  $\xi = 5\%$  serta pertimbangan koefisien *mass-proportional damping* dan *stiffness proportional damping* yaitu  $\alpha_0$  dan  $\alpha_1$  dihitung sebagai berikut:

$$\alpha_0 = \xi \frac{2\omega_i \omega_j}{\omega_i + \omega_j} \tag{1}$$

$$\alpha_1 = \xi \frac{2}{\omega_i + \omega_j} \tag{2}$$

Dimana  $\omega_i$  disarankan frekuensi alami atau pada mode pertama dan  $\omega_j$  diambil dari mode tertinggi yang kontribusinya masih *significant* terhadap respon dinamis.



Gambar 2. Akselerogram gempa El-Centro 1940 N-S (Chopra, 1995)

dengan nilai  $\alpha = 1/2$  dan  $\beta = 1/4$

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil analisis diuraikan berupa respon dinamis kelima model struktur akibat beban gempa berdasarkan hasil analisis riwayat waktu (*Time History Analisis/THA*), respon struktur dibatasi dalam arah X dan arah Y terhadap beban gempa arah sumbu utama X dan Y. Respon arah tegak lurus tidak ditampilkan karena terlalu kecil.

**Waktu Getar Alami**

Nilai waktu getar dan perbandingan persentase waktu getar alami struktur dari kelima model akan disajikan dalam bentuk tabel. Persentase perbandingan tersebut dihitung terhadap nilai  $R=\infty$  dengan persamaan berikut. Perbedaan waktu getar ( $\% T$ ) =  $\frac{T_R}{T_\infty} \times 100 \%$ ,  $T_R$  adalah waktu getar alami dengan struktur melengkung dan  $T_\infty$  adalah waktu getar alami struktur  $R=\infty$ . Perbandingan waktu getar alami struktur dari kelima model dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan waktu getar alami struktur

Model (m)	Periode Alami Struktur (detik)	
$R = \infty$	0,894	100,00
$R = 122$	0,897	100,29
$R = 108$	0,898	100,41
$R = 94$	0,897	100,28
$R = 80$	0,898	100,44

Hasil perbandingan yang terlihat pada Tabel 2 menunjukkan bahwa dengan mengubah nilai R terjadi peningkatan waktu getar alami struktur namun tidak terlalu signifikan yaitu hanya berkisar dari 0,28% sampai dengan 0,44%.

**Gaya Geser Dasar**

Gaya geser dasar dari masing-masing model struktur dapat dilihat pada Tabel 3, dimana terlihat bahwa struktur dengan denah melengkung terjadi penurunan gaya geser dasar yang sangat kecil terhadap  $R=\infty$  baik kearah X maupun kearah Y. Hasil perbandingan gaya geser dasar maksimum arah X dan arah Y pada Tabel 3 dan terlihat bahwa dengan mengubah jari-jari kelengkungan tidak memberikan pengaruh yang signifikan hanya berkisar 0,74 % hingga 0,975 % kearah X dan 0,1% kearah Y. Hal ini menunjukkan R (jari-jari) kelengkungan struktur tidak berpengaruh banyak terhadap gaya geser dasar (*base shear*).

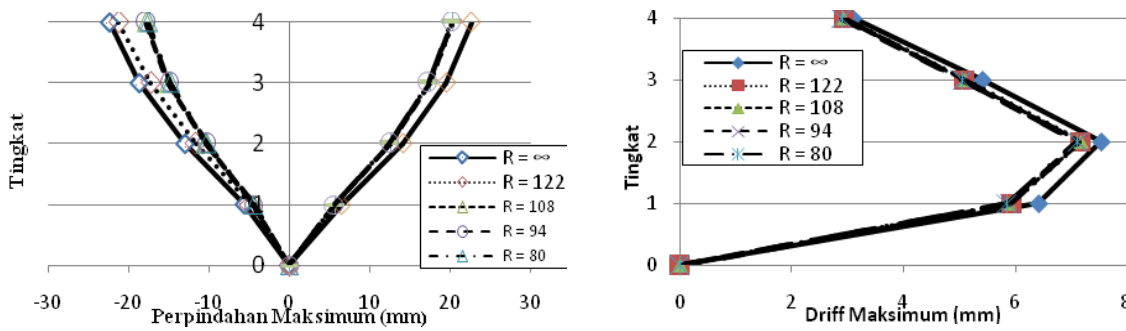
Tabel 3. Perbandingan gaya geser dasar maksimum masing-masing model

Model Struktur	Gaya Geser Dasar Maksimum (KN)			
	Arah X		Arah Y	
$R = \infty$	4028,80	(100,00%)	4099,66	(100,00%)
$R = 122$ m	3998,90	(99,26%)	4096,52	(99,92%)
$R = 108$ m	3990,05	(99,04%)	4092,44	(99,82%)
$R = 94$ m	3990,49	(99,05%)	4093,54	(99,85%)
$R = 80$ m	3989,35	(99,02%)	4099,09	(99,99%)

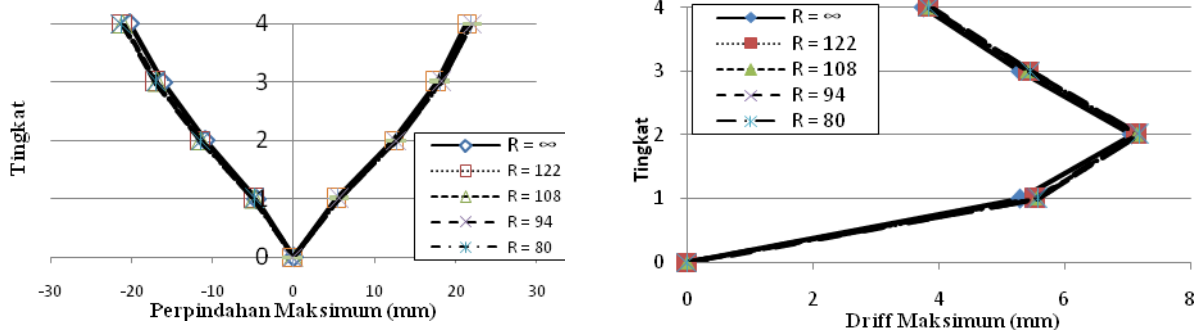
**Perpindahan Lantai**

Berdasarkan respon riwayat perpindahan, maka diambil nilai perpindahan dan *drift*

maksimum tiap lantai baik untuk arah positif maupun negatif. Perpindahan dan *drift* maksimum tiap lantai dilihat pada Gambar 3 dan 4, masing-masing untuk arah X dan Y.



Gambar 3. Perpindahan horizontal dan drift maksimum masing-masing lantai arah X akibat gempa THA X



Gambar 4. Perpindahan horizontal dan drift maksimum masing-masing lantai arah Y akibat gempa THA Y

Berdasarkan kurva pada Gambar 3 dan Gambar 4 terlihat bahwa perpindahan horizontal maksimum tiap lantai arah X dan arah Y pada kelima struktur memiliki nilai yang tidak beda jauh. Adanya perbedaan besar perpindahan maksimum tiap lantai pada arah positif dengan arah negatif disebabkan oleh perbedaan riwayat gempa masukan pada kedua arah tersebut. Kondisi ini tidak jauh berbeda dengan *drift* maksimum tiap lantai pada masing-masing model yang nilainya hampir sama sehingga sulit untuk dibedakan.

**Gaya-Gaya Dalam**

*a. Gaya-gaya dalam pada kolom*

Gaya-gaya dalam yang ditinjau adalah momen, gaya lintang, gaya aksial, dan torsi pada ujung atas kolom pada kolom G2, kolom I3 dan Kolom K4 sesuai definisi pada Gambar 1 (a) sampai (e). Kolom-kolom tersebut mewakili posisi kolom sudut (kolom K4), kolom tepi (kolom G2).dan kolom tengah (kolom I3).Gaya-gaya dalam akibat gempa berdasarkan analisis riwayat waktu ditampilkan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Gaya-gaya dalam pada kolom lantai 1 akibat beban gempa THA X dan THA Y

Gaya -gaya dalam	R = ∞		R = 122 m		R = 108 m		R = 94 m		R = 80 m	
	Kolom G4									
	ArahX	arahY	arah X	arah Y	arah X	arah Y	arah X	arah Y	arah X	arah Y
Momen (KNm)	4,76	69,99	33,03	28,76	33,18	29,47	34,16	29,85	35,08	30,71
Gaya Lintang(KN)	86,79	85,07	81,71	91,34	81,58	91,55	81,57	91,65	81,45	91,95
Gaya Aksial (KN)	5,53	240,1	29,02	210,6	29,78	210,0	29,57	206,5	30,12	208,0
Torsi (KNm)	0,68	0,101	3,52	0,12	3,59	0,13	3,63	0,12	3,72	0,12
	Kolom I3									
	arah X	arah Y	arah X	arah Y	arah X	arah Y	arah X	arah Y	arah X	arah Y
Momen (KNm)	15,68	0,31	104,2	79,26	105,2	80,50	107,3	81,78	110,0	70,65
Gaya Lintang(KN)	85,86	103,6	74,42	95,57	74,00	95,26	73,76	94,81	73,20	94,24
Gaya Aksial (KN)	11,27	115,2	56,50	117,5	56,03	117,8	58,51	118,3	59,50	116,4

Torsi (KNm)	0,70	0,26	3,50	0,29	3,58	0,30	3,62	0,28	3,71	0,29
	Kolom K4									
	arah X	arah Y	arah X	arah Y	arah X	arah Y	arah X	arah Y	arah X	arah Y
Momen (KNm)	29,84	3,64	140,7	116,2	141,9	117,7	144,1	119,3	148,0	121,5
Gaya Lintang(KN)	86,05	96,41	65,29	78,05	65,43	77,04	65,00	75,71	64,88	74,47
Gaya Aksial (KN)	316,63	348,9	223,3	495,3	224,8	471,7	218,9	491,4	219,2	490,2
Torsi (KNm)	1,17	1,45	3,14	1,85	3,23	1,85	3,28	1,83	3,37	1,82

Pada Tabel 4 terlihat bahwa momen torsi pada struktur dengan jari-jari kelengkungan yang semakin kecil terjadi peningkatan yang cukup besar yang disebabkan oleh bentuk denah yang semakin melengkung seiring mengecilnya jari-jari kelengkungan. Gaya lintang arah X masing-masing kolom mengalami penurunan, namun pada kolom tepi arah Y terjadi peningkatan yang tidak terlalu besar, sedangkan pada kolom tengah dan sudut terjadi penurunan yang cukup besar pada denah dengan jari-jari kelengkungan yang semakin kecil. Jika dilihat gaya lintang pada ketiga kolom yang ditinjau, kolom tepi dan tengah memiliki gaya lintang terbesar hal ini disebabkan oleh kekakuan kolom G2 (kolom tepi) dan I3 (kolom tengah) lebih besar dibandingkan kolom K4 (kolom sudut). Sedangkan untuk momen arah X maupun arah Y mengalami peningkatan yang sangat besar pada struktur dengan denah melengkung, hal ini disebabkan oleh pengaruh dari bentuk denah yang tidak beraturan sehingga menyebabkan posisi kolom menjadi tidak beraturan pula.

Namun jika ditinjau dari keempat denah melengkung yang ditinjau, momen yang terjadi pada kolom tepi, tengah dan sudut tidak menunjukkan perubahan yang sangat berarti. Untuk gaya aksial akibat gempa pada arah X maupun arah Y yang diterima oleh kolom tengah meningkat pada struktur dengan denah melengkung tetapi pada kolom tepi dan sudut gaya lintang arah X mengalami penurunan sedangkan arah Y terjadi peningkatan yang sangat besar pada denah dengan jari-jari kelengkungan yang semakin kecil.

*b. Gaya-gaya dalam pada balok*

Gaya-gaya dalam pada balok hanya disajikan nilai maksimum pada lantai 1 untuk balok BG (balok yang dekat dengan pusat jari-jari kelengkungan ) dan BI balok yang jauh dari pusat jari-jari kelengkungan ) sesuai dengan definisi pada Gambar 1(a) sampai (e) yang ditinjau sesuai dengan sumbu lokal penampang akibat gaya gempa THA X dan THA Y. Gaya-gaya dalam maksimum pada balok dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Gaya-gaya dalam maksimum balok lantai 1 akibat gempa THA X dan THA Y

Gaya -gaya dalam	R = ∞		R = 122 m		R = 108 m		R = 94 m		R = 80 m	
	ArahX	arahY	arah X	arah Y	arah X	arah Y	arah X	arah Y	arah X	arah Y
	Balok BG									
Momen (KNm)	0,21	0,18	0,12	0,18	0,12	0,18	0,11	0,17	0,12	0,17
Gaya Lintang(KN)	0,09	0,04	0,20	0,02	0,21	0,02	0,21	0,03	0,22	0,02
Gaya Aksial (KN)	3,34	0,26	1,92	1,02	1,89	2,42	1,85	2,44	1,79	2,48
Torsi (KNm)	0,17	0,06	0,14	0,19	0,14	0,190	0,14	0,196	0,14	0,194
	Balok BI									
Momen (KNm)	4.38	0.62	3.67	1.51	3.65	1.52	3.24	1.53	3.70	1.54
Gaya Lintang(KN)	2.34	2.78	1.37	4.32	1.37	4.31	1.35	3.96	1.35	4.30
Gaya Aksial (KN)	22.25	1.17	17.60	17.96	17.40	18.16	17.08	18.33	17.12	18.86
Torsi (KNm)	4.86	1.33	3.74	5.10	3.75	5.13	3.83	5.35	3.71	5.26

Hasil pada Tabel 5 menunjukkan bahwa gaya-gaya dalam yang terjadi pada balok BG dan BI memiliki nilai yang berbeda-beda pada masing-masing model. Momen torsi pada balok BG lebih kecil jika dibandingkan dengan momen torsi pada balok BI baik untuk gempa kearah X maupun kearah Y dan nilainya semakin meningkat pada denah dengan jari-jari yang semakin kecil, Hal ini disebabkan oleh letak balok yang berada paling tepi dan memiliki panjang bentang yang paling panjang pada struktur melengkung. Untuk gaya lintang balok pada BG arah X meningkat secara drastis pada denah dengan jari-jari kelengkungan yang semakin kecil sedangkan arah Y terjadi penurunan yang sangat kecil. Untuk gaya lintang pada balok BI arah X terjadi penurunan yang cukup besar sedangkan pada arah Y meningkat secara drastis pada denah dengan jari-jari kelengkungan yang semakin kecil. Namun gaya lintang balok

BI lebih besar daripada balok BG. Hal ini karena balok BI memiliki kekakuan yang lebih besar dibandingkan dengan balok BG. Hal yang sama juga terjadi pada momen dimana momen pada balok BI lebih besar dibandingkan dengan BG. Momen akibat gempa arah X pada balok BG mengalami penurunan yang cukup besar pada denah dengan kelengkungan namun pada arah Y memiliki nilai yang hampir sama pada semua denah. Sedangkan pada balok BI, semakin kecil jari-jari kelengkungan denah momen mengalami penurunan pada arah X dan terjadi peningkatan yang drastis pada arah Y.

**Kekakuan Tingkat**

Analisis time history menunjukkan bahwa kekakuan struktur tiap tingkat memiliki nilai yang hampir sama dari kelima model. Untuk lebih jelasnya kekakuan struktur tiap tingkat dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Kekakuan tiap tingkat arah X dan arah Y akibat gempa THA X dan THA Y

Tingkat	Kekakuan Tingkat (KN/mm)									
	R = ∞		R = 122 m		R = 108 m		R = 94 m		R = 80 m	
	arah X	arah Y	arah X	arah Y	arah X	arah Y	arah X	arah Y	arah X	arah Y
1	482,46	673,13	461,04	552,15	415,95	547,26	415,76	548,19	415,21	536,16
2	340,26	372,31	293,99	303,27	293,24	303,76	291,55	296,98	291,33	293,33
3	337,29	306,72	291,65	266,91	290,68	266,57	290,62	266,77	285,51	250,87
4	318,80	276,14	289,97	214,95	288,91	216,02	288,31	215,89	254,51	215,51

Pada Tabel 6 terlihat bahwa kekakuan tiap tingkat terbesar dimiliki oleh struktur R=∞kemudian struktur R=122 m, R=108 m, R=94 m, dan terkecil pada struktur R=80 m. Dari Tabel 6 terlihat bahwa perubahan denah dari lurus menjadi lengkung mengakibatkan penurunan kekakuan struktur baik dalam Arah X maupun Arah Y. Namun bila dibandingkan diantara struktur dengan denah lengkung, perbedaan kekakuan tidak terlalu significant. Hal ini disebabkan kekakuan kolom pada denah melengkung lebih lemah karena orientasi sumbu kolom kuat mengalami perubahan.

**SIMPULAN DAN SARAN**

**Simpulan**

1. Perilaku dinamis struktur yang meliputi waktu getar alami struktur, *base shear* (gaya geser dasar) dan perpindahan horizontal pada kelima model struktur memiliki nilai yang tidak jauh berbeda. Waktu getar alami struktur mengalami peningkatan yang sangat kecil berkisar 0,28 % hingga 0,44 % pada denah dengan jari-jari kelengkungan yang lebih kecil. Sedangkan untuk *base shear* terjadi penurunan berkisar 0.74 % hingga 0.975 % kearah X dan kearah Y berkisar 0,1% pada denah dengan jari-jari kelengkungan yang semakin kecil.

2. Perpindahan horizontal terjadi penurunan berkisar 5.79 % hingga 6.87% kearah X sedangkan terjadi peningkatan berkisar 2.55% hingga 2.99% kearah Y pada denah dengan jari-jari kelengkungan yang lebih kecil.
3. Kekakuan struktur menurun pada denah dengan jari-jari kelengkungan yang semakin kecil.
4. Gaya-gaya dalam kolom akibat beban gempa :
  - a. Dengan melengkungnya denah momen torsi yang terjadi pada kolom semakin meningkat pada denah dengan jari-jari yang lebih kecil baik searah maupun tegak lurus beban gempa.
  - b. Momen kolom searah beban gempa semakin meningkat pada struktur dengan jari-jari yang lebih kecil dan tidak terjadi penurunan yang terlalu signifikan pada arah tegak lurus beban gempa.
  - c. Gaya lintang kolom tegak lurus beban gempa semakin meningkat pada struktur dengan jari-jari yang lebih kecil sedangkan gaya lintang yang terjadi searah beban gempa mengalami penurunan yang tidak terlalu berarti.
5. Gaya-gaya dalam balok akibat beban gempa :
  - a. Momen torsi pada balok BG (balok yang dekat dengan pusat jari-jari kelengkungan) dan BI (balok yang jauh dengan pusat jari-jari kelengkungan) arah X mengalami penurunan yang tidak terlalu berarti sedangkan kearah Y terjadi peningkatan yang cukup besar pada denah dengan jari-jari yang semakin kecil.
  - b. Momen pada balok BG (balok yang dekat dengan pusat jari-jari kelengkungan) dan BI (balok yang jauh dengan pusat jari-jari kelengkungan) arah X mengalami penurunan yang tidak terlalu berarti sedangkan kearah Y terjadi

peningkatan yang cukup besar pada denah dengan jari-jari yang semakin kecil di balok BI dan pada balok BG memiliki momen yang hampir sama pada semua model.

- c. Gaya lintang pada balok BG (balok yang dekat dengan pusat jari-jari kelengkungan) arah X mengalami peningkatan yang cukup besar pada denah dengan jari-jari yang semakin kecil dan gaya lintang arah Y memiliki nilai yang hampir sama pada semua model. Sedangkan gaya lintang pada balok BI (balok yang jauh dengan pusat jari-jari kelengkungan) arah X mengalami penurunan sedangkan kearah Y terjadi peningkatan yang cukup besar pada denah dengan jari-jari yang semakin kecil.

#### Saran

Denah lengkung tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perilaku dinamis struktur. Namun gaya-gaya dalam terjadi perubahan yang signifikan. Untuk penelitian lebih lanjut disarankan melakukan penelitian yang serupa dengan balok melengkung sesuai dengan jari-jari kelengkungan .

#### DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. 2002. *Tata Cara Perencanaan Gempa untuk Bangunan Gedung SNI 03-1729-2002*. Standar Nasional Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional. 2010. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 03-1729-2012*. Standar Nasional Indonesia.
- Copra. A. K. 1995. *Dynamics of Structures Theory and Applications to Earthquake Engineering*. New Jersey: Practice-Hall. Inc.
- Sudarsana. I. K.(2004). *Buku Ajar Teknik Gempa*. Denpasar:Jurusan Teknik Sipil Universitas Udayana.



- Untari. A.A (2005). *Pemodelan Dinding Geser Sebagai Shell Element. Rangka Batang Dan Portal Ekuivalen Pada Struktur Rangka Dinding Geser*. Denpasar : Jurusan Teknik Sipil. Fak. Teknik UNUD.
- Widyawati. N. L (2006). *Perilaku Dinamis Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan Berbagai Konfigurasi Dan Posisi Dinding Geser*. Denpasar: Jurusan Teknik Sipil. Fak. Teknik UNUD.
- Wikipedia. (2013. Maret 15).*Sampoong Department Store Collapse*. Retrieved 03 27. 2013. from Wikipedia The Free Encyclopedia: <http://en.wikipedia.org>
- Wikipedia. (2009. April 1).*Skyline Towers Collapse*. Retrieved Maret 27. 2013. from Wikipedia The Free Encyclopedia: <http://en.wikipedia.org>