

# PERHITUNGAN SIMPANGAN STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT (STUDI KOMPARASI MODEL PEMBALOKAN ARAH RADIAL DAN GRID)

Oryza Dewayanti

E. J. Kumaat, S. O. Dapas, R. S. Windah

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

email : [oryzadewayanti@gmail.com](mailto:oryzadewayanti@gmail.com)

## ABSTRAK

Sistem pembalokan pada bangunan berbentuk dasar lingkaran lebih variatif dibandingkan dengan bangunan dengan bentuk dasar lainnya. Contoh dari sistem pembalokan pada bangunan berbentuk dasar lingkaran adalah sistem pembalokan dengan arah radial dan arah grid. Kedua sistem pembalokan ini diaplikasikan pada struktur gedung beton bertulang dengan beban dinamis yang digunakan adalah beban akibat gempa. Penelitian dilakukan untuk membandingkan besarnya simpangan horizontal yang dihasilkan dari struktur bangunan bertingkat berbentuk lingkaran dengan pembalokan arah radial dan grid.

Pemodelan struktur yang dianalisis berupa bangunan dengan diameter 30 m, bertingkat 20 lantai, dengan tinggi tiap lantai sebesar 4 m. Analisa struktur dilakukan dengan menggunakan software ETABS.

Penelitian menghasilkan kesimpulan bahwa struktur dengan pembalokan arah radial memiliki simpangan horizontal yang lebih kecil daripada simpangan horizontal yang dihasilkan oleh struktur dengan pembalokan arah grid.

**Kata kunci :** bangunan lingkaran, pembalokan, beban gempa, simpangan, ETABS.

## PENDAHULUAN

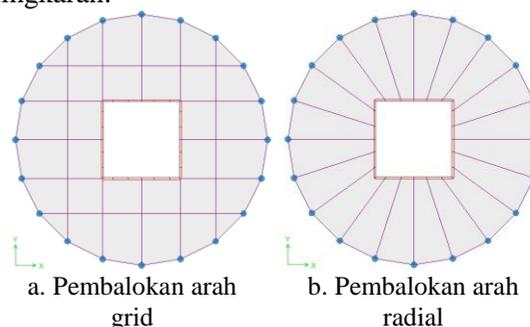
### Latar Belakang

Pemilihan bentuk dasar struktur pada bangunan bertingkat banyak, umumnya harus memberikan kontribusi bagi bangunan tersebut dalam menahan gaya lateral yang disebabkan oleh gempa bumi. Beban gempa diklasifikasikan sebagai beban dinamis, yakni beban yang besar dengan arah yang berubah-ubah menurut waktu. Pada saat terjadi gempa bumi, gedung akan mulai bergoyang bolak-balik secara cepat dengan tingkat-tingkat yang lebih tinggi akan mengalami goyangan terbesar. Goyangan yang disebut dengan simpangan ini tidaklah stabil dan dapat menyebabkan kegagalan struktur.

Penelitian mengenai pengaruh bentuk dasar bangunan pada perilaku struktur bangunan bertingkat telah dilakukan oleh Surjamanto dkk (1997), hasil penelitian menunjukkan bahwa bangunan dengan bentuk dasar lingkaran adalah yang paling mampu menahan gaya lateral akibat beban statis dibandingkan dengan bentuk dasar

segiempat dan segitiga. Dengan hasil penelitian tersebut, dapat dilihat bahwa bangunan berbentuk lingkaran memiliki sebuah keunggulan yang jarang diperhitungkan oleh perancang yang umumnya memilih bentuk segiempat sebagai bentuk dasar bangunan.

Membahas mengenai bangunan berbentuk lingkaran, satu hal yang menarik untuk dianalisa adalah sistem pembalokannya yang lebih variatif dibandingkan dengan bentuk dasar lain. Berikut dua model sistem pembalokan yang dapat diaplikasikan pada bangunan berbentuk lingkaran:



Gambar 1. Potongan Melintang Model Bangunan Dengan Bentuk Dasar Lingkaran

### Rumusan Masalah

Penelitian dilakukan pada bangunan bertingkat dengan bentuk dasar lingkaran. Dengan menggunakan beban gempa sebagai beban dinamis, akan dibandingkan simpangan horizontal yang dihasilkan dari kedua struktur dengan sistem pembalokan yang berbeda.

### Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- Sistem pembalokan arah radial dan grid hanya akan diaplikasikan pada struktur gedung beton bertulang berbentuk lingkaran berdiameter 30 m, dengan total tingkat sebanyak 20 lantai.
- Pemodelan dan analisa struktur ditinjau dalam tiga dimensi dengan menggunakan *software* ETABS.
- Beban dinamis yang digunakan hanyalah beban akibat gempa.
- Tidak memasukkan perhitungan struktur bawah (pondasi).
- Gedung direncanakan berada pada wilayah gempa 5 dengan jenis tanah sedang berdasarkan SNI 03-1726-2002.
- Analisa gempa yang digunakan adalah analisa statis dan dinamis sesuai dengan SNI 03-1726-2002.

### Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Menghitung simpangan horizontal yang terjadi pada gedung.
- Membandingkan simpangan horizontal pada struktur dengan pembalokan arah radial dan grid.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Perbandingan Bentuk Dasar

Bentuk dasar dari segala pemilihan bentuk seperti yang diketahui adalah segitiga, segiempat, dan lingkaran. Secara prinsip struktur, bangunan dengan ketiga bentuk dasar tersebut semestinya mampu menahan beban dari segala arah secara acak yang didistribusikan ke arah sumbu x, y, dan z.

Surjamanto, dkk (1997) menjelaskan setiap bangunan mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing yang merupakan karakteristik bangun dasar tersebut. Hal ini sering dijadikan kriteria untuk menentukan pilihan bentuk struktur bangunan.

Bentuk dasar segiempat lebih banyak dipilih dan dipraktekkan karena bentuk ini memiliki kemudahan penyusunan ke arah sumbu x, y, maupun z tanpa menyisakan area kosong. Bentuk segiempat dapat dengan mudah disesuaikan dengan bangunan yang sudah ada sebelumnya, serta kesesuaiannya dengan modul bahan bangunan yang umumnya banyak dikembangkan berdasarkan sifat bentuk dasar segiempat. Berbeda dengan bentuk dasar segitiga dan lingkaran yang lebih sulit untuk disusun tanpa menyisakan area kosong. Bentuk segitiga dapat disusun menjadi tabung segienam atau segidelapan, sedangkan lingkaran hanya mudah disusun menjadi sebuah tabung silinder. Namun demikian, bentuk lingkaran memiliki keunggulan yakni kemampuannya dalam menerima beban puntir. Ambrose (2012) mengemukakan bahwa bentuk lingkaran memiliki kekuatan menahan puntir hampir dua kali lebih besar dibanding bentuk dasar segitiga dan segiempat.

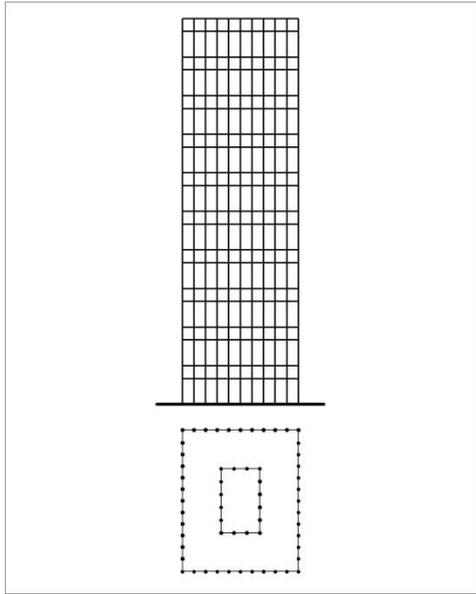
### Sistem Tube in Tube

Hampir semua bangunan bertingkat lebih dari 40 lantai yang dibangun sejak tahun 1960 sampai sekarang menggunakan jenis struktur dengan sistem tabung. Sistem tabung adalah sebuah sistem dimana bangunan dirancang untuk bekerja layaknya sebuah tabung kosong yang terkantilever tegak lurus ke dalam tanah yang mampu menahan beban lateral (Schueller, 2001)

Pada pemodelan sederhana, dinding eksterior tabung pada sistem tabung ini terdiri dari kolom-kolom berjarak rapat yang diikat oleh balok-balok tinggi. Ikatan ini membentuk sebuah rangka kaku dimana dinding struktural sepanjang sisi eksterior bangunan menjadi begitu padat dan kuat

Dengan konsep yang telah dijelaskan sebelumnya, sistem tabung dikembangkan menjadi beberapa variasi untuk berbagai jenis rancangan struktur, salah satunya adalah sistem tabung dalam tabung (*tube in tube*).

Pada sistem ini, inti struktural ditambahkan sebagai tabung interior dimana beban dipikul bersama-sama dengan tabung eksterior sehingga kekakuan bangunan dapat meningkat. Struktur lantai pada sistem ini juga berperan dalam mengikat tabung interior dan eksterior dan berlaku sebagai satu kesatuan terhadap gaya-gaya lateral.



Gambar 2. Sistem Tube in Tube

Juwana (2005) menunjukkan bahwa rangka kaku sebagai tabung eksterior menahan hampir semua beban lateral di bagian atas bangunan, sedangkan inti struktural sebagai tabung interior memikul sebagian besar beban lateral di bagian bawah bangunan. Kombinasi dari kedua komponen ini diharapkan dapat meningkatkan kekakuan dari bangunan dalam menerima beban lateral.

Sistem tabung dikembangkan oleh Fazlur Khan pada tahun 1963 di Chicago, Amerika Serikat. Bangunan bersistem tabung dapat difungsikan sebagai kantor, apartemen, maupun gedung serba guna dan dapat dibangun dengan material baja, beton, maupun bahan komposit.

### Definisi Beban Gempa

Gempa bumi dapat terjadi karena fenomena getaran dengan kejutan pada kerak bumi. Faktor utama adalah benturan pergesekan kerak bumi yang mempengaruhi permukaan bumi. Gempa bumi ini menjalar dalam bentuk gelombang. Gelombang ini mempunyai suatu energi yang dapat menyebabkan permukaan bumi dan bangunan di atasnya menjadi bergetar. Getaran ini nantinya akan menimbulkan gaya-gaya pada struktur bangunan karena struktur cenderung mempunyai gaya untuk mempertahankan dirinya dari gerakan. (Schodek, 1999).

Hal yang perlu diperhatikan adalah kekuatan bangunan yang memadai untuk memberikan kenyamanan bagi penghuninya terutama lantai atas. Semakin tinggi bangunan, defleksi lateral yang terjadi juga semakin besar pada lantai atas. (Mc.Cormac, 2004).

### Analisis Gempa Statik dan Dinamik

Dalam SNI 03-1726-2002 dikatakan bahwa pada analisis respons dinamik terhadap pengaruh gempa, suatu struktur gedung dimodelkan sebagai suatu sistem Banyak Derajat Kebebasan (*Multi Degrees of Freedom, MDOF*). Dengan menetapkan metoda Analisis Ragam, persamaan-persamaan gerak sistem MDOF tersebut yang berupa persamaan-persamaan diferensial orde dua simultan yang saling terikat, dapat dilepaskan saling keterikatannya sehingga menjadi persamaan-persamaan terlepas, masing-masing berbentuk persamaan-persamaan gerak sistem SDOF (*Single Degree of Freedom*). Hal ini dilakukan melalui suatu transformasi koordinat dengan matriks eigenvektor sebagai matriks transformasinya.

Respons dinamik total dari sistem SDOF tersebut selanjutnya menampilkan diri sebagai superposisi dari respons dinamik masing-masing ragamnya. Respons dinamik masing-masing ragamnya ini berbentuk respons dinamik suatu SDOF, dimana ragam yang semakin tinggi memberikan sumbangan respons dinamik yang semakin kecil dalam menghasilkan respons dinamik total. Dengan dua anggapan penyederhanaan tersebut, respons dinamik struktur dapat ditampilkan seolah-olah sebagai akibat dari suatu beban gempa statik ekuivalen.

Beban gempa statik ekuivalen digunakan untuk menentukan beban geser dasar statik ekuivalen. Seperti terlihat dari penjabaran di atas, beban geser dasar statik ekuivalen ini dapat dinyatakan dalam respons dinamik SDOF yang berkaitan dengan ragam fundamentalnya saja, sehingga dapat ditentukan dengan perantaraan Spektrum Respons Gempa Rencana dengan memperhitungkan kategori gedung yang dihadapi dan menjadikan beban gempa tersebut menjadi beban gempa nominal sesuai dengan faktor daktilitas yang dipilih untuk struktur gedung tersebut.

### PROSEDUR ANALISIS ETABS

Metode penelitian dibagi dalam tiga tahap yaitu *input*, analisis dan *output*. Yang termasuk dalam tahap *input* antara lain adalah pemodelan struktur tiga dimensi serta penentuan jenis beban. Sedangkan tahap analisis yaitu analisis struktur tiga dimensi dengan memasukan analisis gempa statis dan dinamis pada ETABS untuk mengetahui respons struktur dari tiap

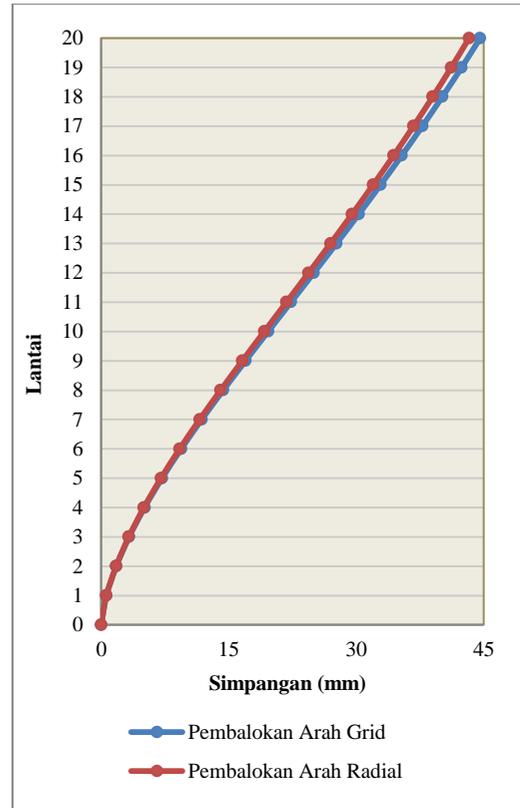
pemodelan sistem pembalokan. Tahap yang terakhir yaitu tahap *output* yang membahas tentang hasil analisis dinamis pada tiap lantai gedung.

Pada penelitian ini, variabel bebas/pembeda yang dipakai adalah arah pembalokannya. Tebal lantai, luas *core*, jumlah kolom, dimensi kolom, dan dimensi balok dibuat sama besar. Namun tak dapat dihindari, arah pembalokan ini akan mengakibatkan jumlah balok interior dari kedua model berbeda. Jumlah balok interior berbeda mengakibatkan massa balok interior pun berbeda.

Untuk itu akan dibuat dua kasus dalam menganalisa kedua model arah pembalokan: Kasus A; dimana dimensi tiap elemen pada kedua model arah pembalokan dibuat sama besar, termasuk dimensi untuk balok interior, dan Kasus B; dimana massa dari kedua pemodelan struktur dibuat sama besar.

**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Hasil penelitian yang dianalisa dengan ETABS adalah berupa simpangan horizontal dari masing-masing tingkat/lantai. Berikut adalah hasil dari tiap pemodelan:



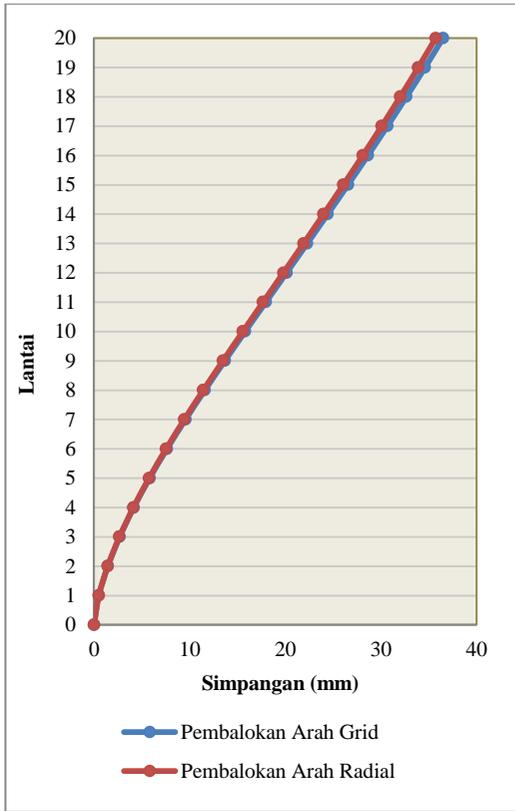
Grafik 1. Simpangan Maksimum akibat Gempa Statik untuk Kasus A

Tabel 1. Perbandingan Nilai Simpangan akibat Beban Gempa Statik untuk Kasus A

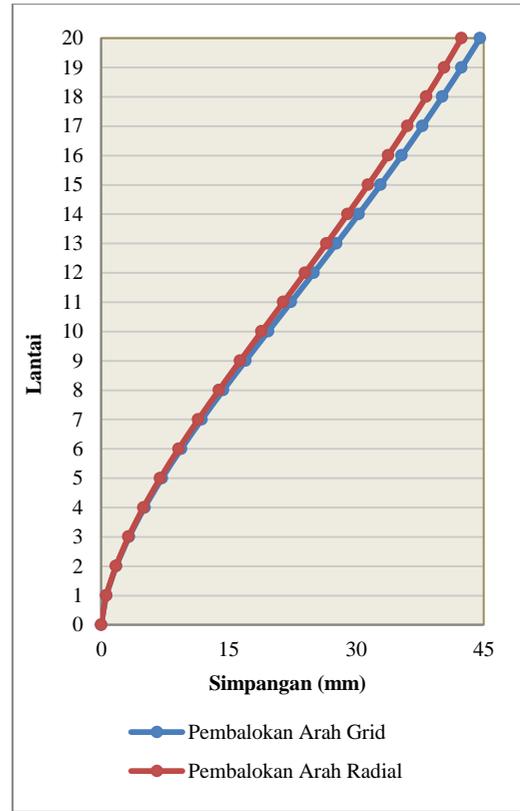
Lantai	Zi (m)	Pembalokan Arah Grid		Pembalokan Arah Radial	
		Statik X	Statik Y	Statik X	Statik Y
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	4	0.63	0.25	0.63	0.25
2	8	1.79	0.66	1.77	0.66
3	12	3.31	1.19	3.26	1.18
4	16	5.12	1.80	5.03	1.78
5	20	7.17	2.49	7.04	2.45
6	24	9.42	3.23	9.24	3.18
7	28	11.83	4.02	11.59	3.95
8	32	14.36	4.84	14.06	4.76
9	36	16.98	5.69	16.60	5.58
10	40	19.64	6.54	19.19	6.41
11	44	22.33	7.40	21.80	7.25
12	48	25.02	8.26	24.40	8.08
13	52	27.68	9.10	26.98	8.90
14	56	30.30	9.93	29.52	9.70
15	60	32.86	10.74	31.99	10.48
16	64	35.36	11.52	34.40	11.24
17	68	37.78	12.27	36.74	11.96
18	72	40.13	12.99	39.00	12.66
19	76	42.40	13.69	41.18	13.33
20	80	44.58	14.35	43.28	13.97

Tabel 2. Perbandingan Nilai Simpangan akibat Beban Gempa Dinamik untuk Kasus A

Lantai	Zi (m)	Pembalokan Arah Grid		Pembalokan Arah Radial	
		Dinamik X	Dinamik Y	Dinamik X	Dinamik Y
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	4	0.52	0.15	0.51	0.15
2	8	1.46	0.44	1.45	0.44
3	12	2.70	0.81	2.67	0.80
4	16	4.17	1.25	4.12	1.24
5	20	5.83	1.75	5.76	1.73
6	24	7.64	2.29	7.54	2.26
7	28	9.57	2.87	9.45	2.83
8	32	11.60	3.48	11.43	3.43
9	36	13.68	4.11	13.48	4.04
10	40	15.81	4.74	15.57	4.67
11	44	17.97	5.39	17.68	5.31
12	48	20.13	6.04	19.80	5.94
13	52	22.29	6.69	21.92	6.57
14	56	24.44	7.33	24.01	7.20
15	60	26.56	7.97	26.07	7.82
16	64	28.64	8.59	28.10	8.43
17	68	30.68	9.20	30.09	9.03
18	72	32.67	9.80	32.02	9.61
19	76	34.61	10.38	33.91	10.17
20	80	36.49	10.95	35.73	10.72



Grafik 2. Simpangan Maksimum akibat Gempa Dinamik untuk Kasus A



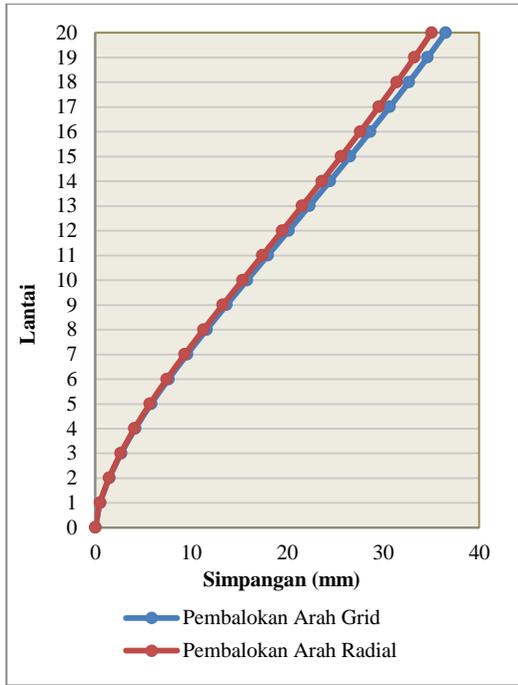
Grafik 3. Simpangan Maksimum akibat Gempa Statik untuk Kasus B

Tabel 3. Perbandingan Nilai Simpangan akibat Beban Gempa Statik untuk Kasus B

Lantai	Zi (m)	Pembalokan Arah Grid		Pembalokan Arah Radial	
		Statik X	Statik Y	Statik X	Statik Y
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	4	0.63	0.25	0.63	0.24
2	8	1.79	0.66	1.76	0.66
3	12	3.31	1.19	3.22	1.17
4	16	5.12	1.80	4.97	1.76
5	20	7.17	2.49	6.95	2.43
6	24	9.42	3.23	9.12	3.14
7	28	11.83	4.02	11.43	3.90
8	32	14.36	4.84	13.85	4.69
9	36	16.98	5.69	16.34	5.50
10	40	19.64	6.54	18.88	6.32
11	44	22.33	7.40	21.44	7.14
12	48	25.02	8.26	23.99	7.96
13	52	27.68	9.10	26.51	8.76
14	56	30.30	9.93	28.99	9.55
15	60	32.86	10.74	31.41	10.31
16	64	35.36	11.52	33.76	11.04
17	68	37.78	12.27	36.03	11.75
18	72	40.13	12.99	38.23	12.43
19	76	42.40	13.69	40.36	13.08
20	80	44.58	14.35	42.39	13.70

Tabel 4. Perbandingan Nilai Simpangan akibat Beban Gempa Dinamik untuk Kasus B

Lantai	Zi (m)	Pembalokan Arah Grid		Pembalokan Arah Radial	
		Dinamik X	Dinamik Y	Dinamik X	Dinamik Y
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	4	0.52	0.15	0.51	0.15
2	8	1.46	0.44	1.44	0.43
3	12	2.70	0.81	2.65	0.79
4	16	4.17	1.25	4.08	1.22
5	20	5.83	1.75	5.69	1.71
6	24	7.64	2.29	7.45	2.24
7	28	9.57	2.87	9.32	2.80
8	32	11.60	3.48	11.27	3.38
9	36	13.68	4.11	13.29	3.99
10	40	15.81	4.74	15.34	4.60
11	44	17.97	5.39	17.41	5.22
12	48	20.13	6.04	19.48	5.84
13	52	22.29	6.69	21.55	6.46
14	56	24.44	7.33	23.60	7.08
15	60	26.56	7.97	25.61	7.68
16	64	28.64	8.59	27.59	8.28
17	68	30.68	9.20	29.53	8.86
18	72	32.67	9.80	31.41	9.42
19	76	34.61	10.38	33.25	9.98
20	80	36.49	10.95	35.02	10.51



Grafik 4. Simpangan Maksimum akibat Gempa Dinamik untuk Kasus B

Dengan hasil penelitian yang didapatkan, selanjutnya dibuat perhitungan untuk mengetahui seberapa besar selisih nilai simpangan horizontal pada pembalokan arah grid dan radial.

Tabel 5. Selisih Nilai Simpangan Horizontal Max akibat Beban Gempa pada Kasus A

Lantai	Simpangan akibat Gempa Statik (mm)		Selisih (%)	Simpangan akibat Gempa Dinamik (mm)		Selisih (%)
	Grid	Radial		Grid	Radial	
20	44.6	43.3	2.9	36.5	35.7	2.1
19	42.4	41.2	2.9	34.6	33.9	2.0
18	40.1	39.0	2.8	32.7	32.0	2.0
17	37.8	36.7	2.8	30.7	30.1	1.9
16	35.4	34.4	2.7	28.6	28.1	1.9
15	32.9	32.0	2.6	26.6	26.1	1.8
14	30.3	29.5	2.6	24.4	24.0	1.8
13	27.7	27.0	2.5	22.3	21.9	1.7
12	25.0	24.4	2.5	20.1	19.8	1.6
11	22.3	21.8	2.4	18.0	17.7	1.6
10	19.6	19.2	2.3	15.8	15.6	1.5
9	17.0	16.6	2.2	13.7	13.5	1.5
8	14.4	14.1	2.2	11.6	11.4	1.4
7	11.8	11.6	2.1	9.6	9.4	1.3
6	9.4	9.2	1.9	7.6	7.5	1.3
5	7.2	7.0	1.8	5.8	5.8	1.2
4	5.1	5.0	1.7	4.2	4.1	1.1
3	3.3	3.3	1.5	2.7	2.7	1.0
2	1.8	1.8	1.2	1.5	1.5	0.8
1	0.6	0.6	0.8	0.5	0.5	0.6
Selisih rata-rata			2.2			1.5

Tabel 6. Selisih Nilai Simpangan Horizontal Max akibat Beban Gempa pada Kasus B

Lantai	Simpangan akibat Gempa Statik (mm)		Selisih (%)	Simpangan akibat Gempa Dinamik (mm)		Selisih (%)
	Grid	Radial		Grid	Radial	
20	44.6	42.4	4.9	36.5	35.0	4.0
19	42.4	40.4	4.8	34.6	33.3	3.9
18	40.1	38.2	4.7	32.7	31.4	3.8
17	37.8	36.0	4.6	30.7	29.5	3.7
16	35.4	33.8	4.5	28.6	27.6	3.6
15	32.9	31.4	4.4	26.6	25.6	3.5
14	30.3	29.0	4.3	24.4	23.6	3.4
13	27.7	26.5	4.2	22.3	21.5	3.3
12	25.0	24.0	4.1	20.1	19.5	3.2
11	22.3	21.4	4.0	18.0	17.4	3.1
10	19.6	18.9	3.9	15.8	15.3	3.0
9	17.0	16.3	3.7	13.7	13.3	2.9
8	14.4	13.8	3.6	11.6	11.3	2.8
7	11.8	11.4	3.4	9.6	9.3	2.7
6	9.4	9.1	3.2	7.6	7.5	2.5
5	7.2	7.0	3.0	5.8	5.7	2.3
4	5.1	5.0	2.8	4.2	4.1	2.2
3	3.3	3.2	2.5	2.7	2.6	1.9
2	1.8	1.8	2.0	1.5	1.4	1.6
1	0.6	0.6	1.4	0.5	0.5	1.1
Selisih rata-rata			3.7			2.9

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan dari pemodelan struktur gedung beton bertulang bertingkat berbentuk lingkaran dengan sistem pembalokan arah radial dan grid, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Untuk kasus A dimana dimensi elemen struktur dari kedua model dibuat sama besar, didapatkan struktur dengan pembalokan arah radial memiliki simpangan horizontal yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur dengan pembalokan arah grid. Besarnya simpangan horizontal dari kedua sistem pembalokan ini menghasilkan selisih sebesar 3.7% akibat beban gempa statik dan sebesar 2.9% akibat beban gempa dinamik.
- Untuk kasus B, dimana massa struktur dari kedua model dibuat sama besar, didapatkan hasil yang sama dengan hasil untuk kasus A yakni struktur dengan pembalokan arah radial memiliki simpangan horizontal yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur dengan pembalokan arah grid. Besarnya simpangan horizontal dari kedua sistem pembalokan ini menghasilkan selisih sebesar 2.2% akibat beban gempa statik dan sebesar 1.5% akibat beban gempa dinamik.

**Saran**

Dapat dibuat lebih banyak variasi terhadap model struktur, contohnya model bangunan yang berbeda dan model inti struktural yang berbeda. Selain perilaku simpangan, dapat juga

diteliti mengenai lendutan struktur dan juga perilaku torsi.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Ambrose, J. E. 2012. *Building Structures Third Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)*. Bandung.
- Juwana, J. S. 2005. *Panduan Sistem Bangunan Tinggi*. Jakarta: Erlangga.
- Mc Cormac, J.C. 2004. *Desain Beton Bertulang Jilid 2 Edisi Kelima*. Jakarta : Erlangga.
- Schodek, Daniel L. 1999. *Struktur Edisi kedua*. Jakarta: Erlangga.
- Schueller, Wolfgang. 2001. *Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi*. Bandung: Eresco.
- Surjamanto, W; Kadaryono, A; Wijatnoko, A; dan Suryono. 1997. *Pengaruh Bentuk Dasar Pada Perilaku Struktur Selubung Bangunan Berlantai Banyak*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.