

Evaluasi Bangunan 41 Lantai Tahan Gempa dengan Analisis Dinamik Spektrum Respons Ragam

Mansyur

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknologi USN Kolaka

mansyurusn14@gmail.com

Abstrak

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki intensitas gempa yang tinggi. Oleh karena itu, dalam perencanaan struktur bangunan perlu adanya studi yang lebih mendalam tentang analisis dan perencanaan struktur tahan gempa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil analisis bangunan 41 lantai yang ditinjau di 4 kota Indonesia berdasarkan SNI 03-1726-2012 dengan program komputer. Penelitian ini merupakan penelitian berbasis komputer, dimana bangunan 41 lantai untuk analisis dinamik spektrum respons ragam. Studi kasus bangunan dilakukan pada empat kota di Indonesia yakni Aceh, Kolaka, Yogyakarta, dan Padang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada peninjauan bangunan dengan analisis dinamik spektrum respon ragam, nilai base shear dan displacement tidak begitu berpengaruh pada besarnya intensitas gempa jika dijadikan perbandingan dengan kota lain akibat lebih besarnya beban lain dibandingkan beban gempa.

Kata kunci : bangunan, gempa, analisis dinamik, spektrum respon ragam

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki intensitas gempa yang tinggi, hal ini disebabkan posisi geografis Indonesia. Indonesia terletak pada jalur cincin api (*Ring of Fire*) kawasan pasifik dan pertemuan tiga lempeng tektonik besar dunia, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik. Pergerakan ketiga lempeng tersebut dan dua lempeng lain yaitu Laut Philipina dan Carolina mengakibatkan terjadi gempa bumi pada daerah-daerah pertemuan antar lempeng dan menimbulkan sesar-sesar regional yang menjadi pusat gempa.

Pada perencanaan bangunan, parameter gempa bumi yang langsung mempengaruhi perencanaan adalah percepatan tanah yang ditimbulkan gelombang seismic yang bekerja pada massa bangunan. Kedalaman pusat gempa bumi, jarak episenter ke daerah yang dituju, sistem pondasi, massa dan geometri bangunan dan lain sebagainya. Sehingga pengaruh gempa terhadap sebuah bangunan tergantung wilayahnya (Helmy & Iskandarsyah. 2009).

Menurut (Budiono B & Supriatna L. 2011) dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa diperlukan standar dan peraturan-peraturan perencanaan bangunan untuk menjamin keselamatan penghuni serta menghindari dan meminimalisasi kerusakan struktur dan korban jiwa terhadap gempa bumi yang sering terjadi. Kegagalan struktur bangunan bisa disebabkan antara lain oleh kesalahan perhitungan dalam perencanaan, tidak sesuai dengan perencanaan dengan implementasi pelaksanaan pekerjaan dilapangan, perubahan fungsi bangunan, bencana alam seperti gempa bumi kuat dan lainnya (Sayed A.F., dkk. 2018).

Menurut (Christiawan I, dkk. 2008), evaluasi kinerja struktur gedung dapat dilakukan dengan cara menganalisis kinerja batas ultimum dan kinerja batas layan berdasarkan SNI 03-1726-2002. Dihimpun dari Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2012, SNI 03-1726-2012 yang berisi tentang pedoman tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung yang merupakan revisi dari SNI 03-1726-2002. Pedoman SNI 03-

1726-2012 telah menggunakan peta riwayat gempa terbarusejak 2010 sehingga bangunan gedung yang dibangun sebelum tahun 2010 perlu dilakukan evaluasi struktur untuk mengetahui keamanan struktur menurut standar yang baru. Perbedaan pedoman perencanaan gedung untuk ketahanan gempa SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012, yaitu desain percepatan spektral gempa SNI 03-1726-2012 di beberapa wilayah Indonesia mengalami kenaikan pada jenis kelas situs tanah sedang dan tanah keras dan penurunan pada jenis kelas situs tanah lunak (Afriadi Y & Satyarno I. 2013).

Secara umum analisis gempa dibagi dua yakni analisis gempa statik dan analisis gempa dinamis. Pada bangunan yang sangat tinggi, tidak beraturan, bertingkat banyak serta bangunan yang memerlukan ketelitian yang sangat besar digunakan perencanaan analisis dinamik, yang terdiri dari analisis ragam respon spektrum dan analisis dinamik riwayat waktu (Agus Hariyanto. 2011). Analisis dinamik untuk perancangan struktur tahan gempa dilakukan jika diperlukan evaluasi yang lebih akurat dari gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur, serta untuk mengetahui perilaku dari struktur akibat pengaruh gempa Agus (Purnomo W. 2015).

Pada struktur bangunan tingkat tinggi atau struktur dengan bentuk atau konfigurasi yang tidak teratur. Analisis dinamik dapat dilakukan dengan cara elastis maupun *inelastic* (Bowles. 1991). Pada cara elastis dibedakan Analisis Ragam Riwayat Waktu (*Time History Modal Analysis*), dimana pada cara ini diperlukan rekaman percepatan gempa dan Analisis Ragam Spektrum Respon (*Respon Spectrum Modal Analysis*), dimana pada cara ini respons maksimum dari tiap ragam getar yang terjadi didapat dari Respon spektrum Rencana (*Design Spectra*) (Elliza, Ismailah Nur. 2013). Dalam SNI 03-1726-2012 dinyatakan bahwa untuk struktur gedung beraturan dapat digunakan metode analisis statik ekuivalen untuk perencanaan gempa. Sedangkan analisis dinamik dapat dilakukan untuk jenis bangunan apapun, tetapi merupakan suatu keharusan untuk bangunan tidak beraturan sesuai definisi dalam SNI 03-1726-2012.

Salah satu syarat suatu gedung dikatakan gedung beraturan berdasarkan SNI 03-1726-2012 yaitu tinggi struktur gedung diukur dari taraf penjepitan lateral tidak lebih dari 12 tingkat. Pembatasan ini dilakukan karena hasil analisis statik ekuivalen kurang presisi untuk struktur yang lebih dari 12 tingkat. Oleh karena itu diperlukan analisis secara dinamik untuk memperoleh respons bangunan yang lebih mendekati respons struktur yang sebenarnya ketika terjadi gempa

2. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah penelitian berbasis computer, dimana bangunan 41 lantai untuk analisis dinamik spektrum respons ragam. Model bangunan 41 lantai ditinjau di 4 kota yang berbeda. Variasi beban gempa diperoleh dari 4 lokasi yang berbeda antara lain, Kota Aceh, Kota Kolaka, Kota Yogyakarta dan Kota Padang. Empat lokasi tersebut dianggap dapat mewakili kondisi beban gempa lemah, sedang dan kuat di Indonesia.

Dengan variasi-variasi tersebut, diperoleh 4 kemungkinan beban gempa yang kemudian dinyatakan dalam bentuk grafik spektrum respons gempa agar dapat digunakan pada analisis. Grafik spektrum respons gempa diperoleh dari situs www.puskim.pu.go.id yang telah mengacu pada peta gempa Indonesia tahun 2010 dan SNI 03-1726-2012.

2.1 Pengolahan data

Langkah-langkah yang dilakukan untuk pengolahan data model bangunan 41 lantai adalah sebagai berikut :

Adapun langkah-langkah dalam analisis ini sebagai berikut:

- a. Menggambar Portal 3D menggunakan program *SAP 2000 v.20* sebagai langkah awal untuk memasukkan data yang akan dianalisis oleh program tersebut,

- b. Menghitung manual jumlah beban mati, beban hidup, beban terpusat yang membebani gedung tersebut,
- c. Memasukkan semua beban yang bekerja ke dalam program,
- d. Memasukkan data beban gempa kedalam program untuk dianalisis,
- e. Memasukkan kombinasi beban ke dalam program,
- f. Menganalisis data dengan program tersebut, kemudian dengan mengecek keamanan struktur dan membaca hasil analisis,
- g. Analisis dilakukan berdasarkan SNI 03-1726-2012,
- h. Melakukan analisis perencanaan di 4 kota Indonesia,
- i. Kesimpulan berupa bangunan yang dikaji memenuhi persyaratan gempa atau tidak

Dalam Pasal 6.4 SNI-1726-2012 ditentukan ketentuan-ketentuan dalam membuat grafik spektrum respons desain. Ketentuan-ketentuan tersebut antara lain:

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain S_a harus diambil dari persamaan berikut.

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (1)$$

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain S_a sama dengan S_{DS} .
3. Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain S_a diambil berdasarkan persamaan berikut.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek.

S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = perioda getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (4)$$

Pada SAP2000 analisis *response spectrum* dilakukan dengan *input* grafik spektrum respons desain. Hal yang harus diperhatikan dalam *input* pada SAP2000 adalah skala *input*/faktor skala. Skala *input* untuk beban gempa *response spectrum* adalah sebagai berikut.

$$f = \frac{I_e}{R} \quad (5)$$

Keterangan:

f = faktor skala

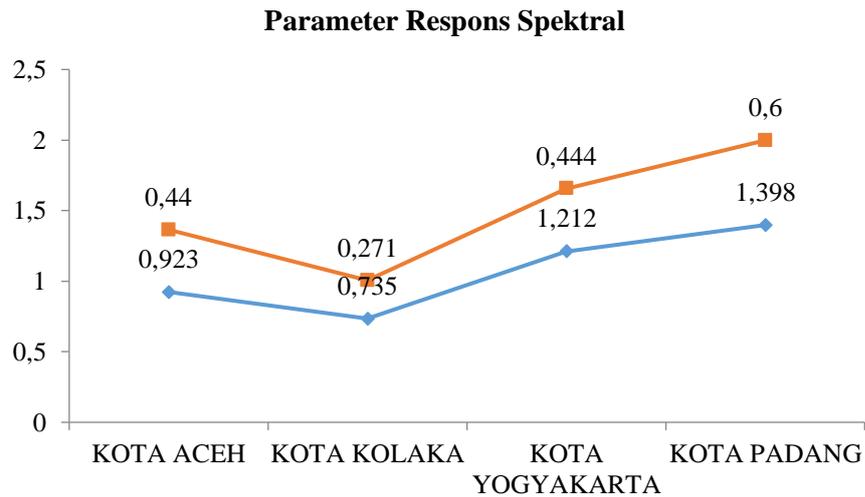
I_e = faktor keutamaan gempa

R = koefisien modifikasi respons

Nilai faktor skala dinyatakan dalam percepatan gravitasi bumi (g) yaitu 9,81 m/detik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Gempa



Gambar1 Parameter Respons Spektral Tiap Kota

3.2 Data Bangunan

- Kategori Resiko = 2, Untuk Gedung Apartemen
- Faktor Keutamaan (I_e) = 1, Untuk Gedung Apartemen
- Klasifikasi Situs = (SD) Tanah Sedang
- Struktur = Beton Bertulang
- Struktur ditentukan sebagai rangka beton bertulang pemikul momen biasa didapat nilai $R = 3$.
- Periode fundamental pendekatan $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$



Gambar 2. Bangunan 41 Lantai

3.3 Analisis Perhitungan

a. Kota Aceh

Analisis spektrum respons ragam dilakukan dengan metode kombinasi kuadrat lengkap (*Complete Quadratic Combination / CQC*) dengan input $S_s = 0,923$; $S_I = 0,440$ sesuai pada subbab 4.2.1. Penggunaan metode CQC karena memiliki waktu getar alami yang berdekatan, yaitu selisihnya kurang dari 15%.

Untuk nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu berdasarkan SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.4.1, tidak boleh kurang dari 85% nilai gaya lateral statik ekuivalen

b. Kota Kolaka

Analisis spektrum respons ragam dilakukan dengan metode kombinasi kuadrat lengkap (*Complete Quadratic Combination / CQC*) dengan input $S_s = 0,735$; $S_I = 0,271$ sesuai pada subbab 4.2.1. Penggunaan metode CQC karena memiliki waktu getar alami yang berdekatan, yaitu selisihnya kurang dari 15%.

Untuk nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu berdasarkan SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.4.1, tidak boleh kurang dari 85% nilai gaya lateral statik ekuivalen.

c. Kota Yogyakarta

Analisis spektrum respons ragam dilakukan dengan metode kombinasi kuadrat lengkap (*Complete Quadratic Combination / CQC*) dengan input $S_s = 1,212$; $S_I = 0,444$ sesuai pada subbab 4.2.1. Penggunaan metode CQC karena memiliki waktu getar alami yang berdekatan, yaitu selisihnya kurang dari 15%.

Untuk nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu berdasarkan SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.4.1, tidak boleh kurang dari 85% nilai gaya lateral statik ekuivalen.

d. Kota Padang

Analisis spektrum respons ragam dilakukan dengan metode kombinasi kuadrat lengkap (*Complete Quadratic Combination / CQC*) dengan input $S_s = 1,398$; $S_I = 0,600$ sesuai pada subbab 4.2.1. Penggunaan metode CQC karena memiliki waktu getar alami yang berdekatan, yaitu selisihnya kurang dari 15%.

Untuk nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu berdasarkan SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.4.1, tidak boleh kurang dari 85% nilai gaya lateral statik ekuivalen.

3.4 Hasil Analisis

Hasil analisis dari analisis gempa dengan cara statik ekuivalen yang akan ditinjau adalah *displacement*/simpangan antar lantai dan gaya geser tiap lantai akibat gempa.

1. Simpangan Antar Lantai (*Displacements*)

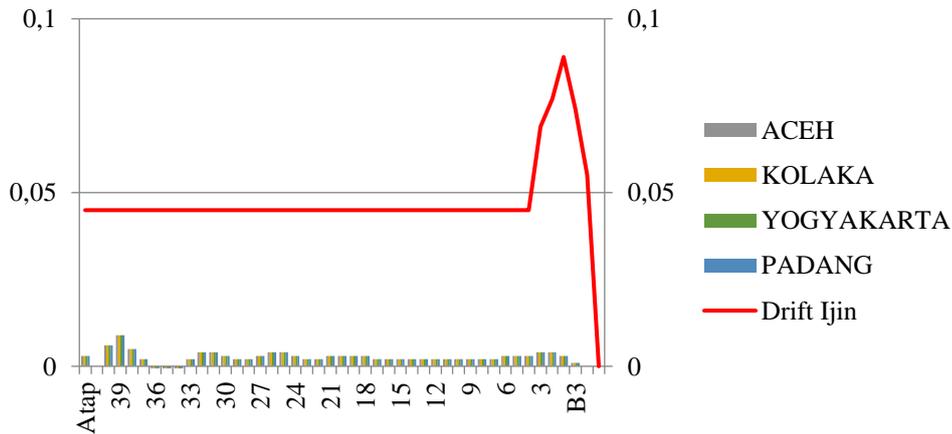
a. Arah X

Tabel 1. Hasil Analisis *Displacements* Bangunan 41 Lantai Arah X

TABLE: Joint Displacements				Simpangan Antar Lantai Tiap Kota (Δ)				Simpangan Antar Lantai Ijin (Δ_a)
Joint	Lantai	Output Case	Z	Kota Aceh	Kota Kolaka	Kota Yogyakarta	Kota Padang	
Text	Text	Text	m	m	m	m	m	m
1451	Atap	COM.MAX	122,55	0,003	0,003	0,003	0,003	0,045
1450	41	COM.MAX	119,65	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045
1449	40	COM.MAX	116,75	0,006	0,006	0,006	0,006	0,045
1448	39	COM.MAX	113,85	0,009	0,009	0,009	0,009	0,045
1447	38	COM.MAX	110,95	0,005	0,005	0,005	0,005	0,045

1446	37	COM.MAX	108,05	0,002	0,002	0,002	0,002	0,045
1445	36	COM.MAX	105,15	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	0,045
1444	35	COM.MAX	102,25	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	0,045
1443	34	COM.MAX	99,35	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	0,045
1442	33	COM.MAX	96,45	0,002	0,002	0,002	0,002	0,045
1441	32	COM.MAX	93,55	0,004	0,004	0,004	0,004	0,045
1440	31	COM.MAX	90,65	0,004	0,004	0,004	0,004	0,045
1439	30	COM.MAX	87,75	0,003	0,003	0,003	0,003	0,045
1438	29	COM.MAX	84,85	0,002	0,002	0,002	0,002	0,045
1437	28	COM.MAX	81,95	0,002	0,002	0,002	0,002	0,045
1436	27	COM.MAX	79,05	0,003	0,003	0,003	0,003	0,045
1435	26	COM.MAX	76,15	0,004	0,004	0,004	0,004	0,045
1434	25	COM.MAX	73,25	0,004	0,004	0,004	0,004	0,045
1433	24	COM.MAX	70,35	0,003	0,003	0,003	0,003	0,045
1432	23	COM.MAX	67,45	0,002	0,002	0,002	0,002	0,045
1431	22	COM.MAX	64,55	0,002	0,002	0,002	0,002	0,045
1430	21	COM.MAX	61,65	0,003	0,003	0,003	0,003	0,045
1429	20	COM.MAX	58,75	0,003	0,003	0,003	0,003	0,045
1428	19	COM.MAX	55,85	0,003	0,003	0,003	0,003	0,045
1427	18	COM.MAX	52,95	0,003	0,003	0,003	0,003	0,045
1426	17	COM.MAX	50,05	0,002	0,002	0,002	0,002	0,045
1425	16	COM.MAX	47,15	0,002	0,002	0,002	0,002	0,045
1424	15	COM.MAX	44,25	0,002	0,002	0,002	0,002	0,045
1423	14	COM.MAX	41,35	0,002	0,002	0,002	0,002	0,045
1422	13	COM.MAX	38,45	0,002	0,002	0,002	0,002	0,045
1421	12	COM.MAX	35,55	0,002	0,002	0,002	0,002	0,045
1420	11	COM.MAX	32,65	0,002	0,002	0,002	0,002	0,045
1419	10	COM.MAX	29,75	0,002	0,002	0,002	0,002	0,045
1418	9	COM.MAX	26,85	0,002	0,002	0,002	0,002	0,045
1417	8	COM.MAX	23,95	0,002	0,002	0,002	0,002	0,045
1416	7	COM.MAX	21,05	0,002	0,002	0,002	0,002	0,045
1415	6	COM.MAX	18,15	0,003	0,003	0,003	0,003	0,045
1414	5	COM.MAX	15,25	0,003	0,003	0,003	0,003	0,045
1413	4	COM.MAX	12,35	0,003	0,003	0,003	0,003	0,045
1412	3	COM.MAX	9,45	0,004	0,004	0,004	0,004	0,069
1411	2	COM.MAX	4,95	0,004	0,004	0,004	0,004	0,077
1410	1	COM.MAX	-0,05	0,003	0,003	0,003	0,003	0,089
1409	B3	COM.MAX	-5,85	0,001	0,001	0,001	0,001	0,074
16	B2	COM.MAX	-10,65	0,000	0,000	0,000	0,000	0,055
1408	B1	COM.MAX	-14,25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

**Simpangan Antar Lantai
Arah X Tiap Kota**



Gambar 3. Simpangan Antar Lantai Arah X Bangunan 41 Lantai

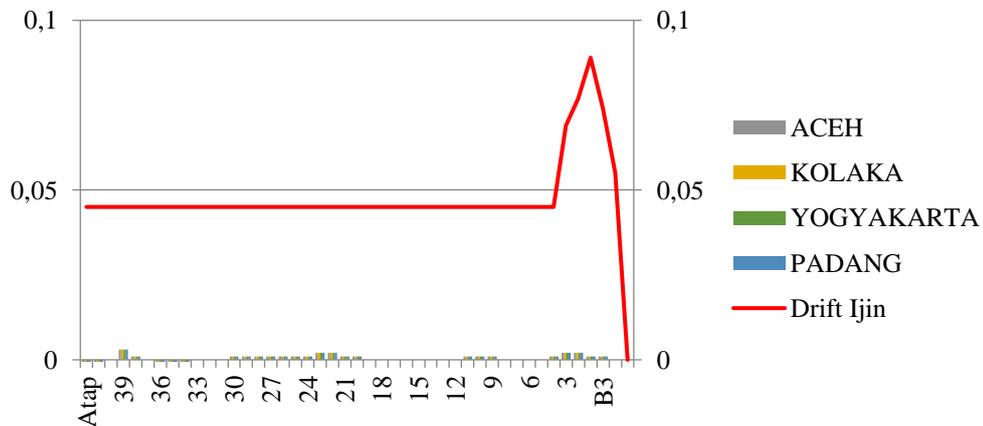
b. Arah Y

Tabel 2. Hasil Analisis *Displacements* Bangunan 41 Lantai Arah Y

TABLE: Joint Displacements				Simpangan Antar Lantai Tiap Kota (Δ)				Simpangan Antar Lantai Ijin (Δ_a)
Joint	Lantai	Output Case	Z	Kota Aceh	Kota Kolaka	Kota Yogyakarta	Kota Padang	
Text	Text	Text	m	m	m	m	m	m
1451	Atap	COM.MAX	122,55	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	0,045
1450	41	COM.MAX	119,65	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	0,045
1449	40	COM.MAX	116,75	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045
1448	39	COM.MAX	113,85	0,003	0,003	0,003	0,003	0,045
1447	38	COM.MAX	110,95	0,001	0,001	0,001	0,001	0,045
1446	37	COM.MAX	108,05	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045
1445	36	COM.MAX	105,15	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	0,045
1444	35	COM.MAX	102,25	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	0,045
1443	34	COM.MAX	99,35	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	0,045
1442	33	COM.MAX	96,45	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045
1441	32	COM.MAX	93,55	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045
1440	31	COM.MAX	90,65	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045
1439	30	COM.MAX	87,75	0,001	0,001	0,001	0,001	0,045
1438	29	COM.MAX	84,85	0,001	0,001	0,001	0,001	0,045
1437	28	COM.MAX	81,95	0,001	0,001	0,001	0,001	0,045
1436	27	COM.MAX	79,05	0,001	0,001	0,001	0,001	0,045
1435	26	COM.MAX	76,15	0,001	0,001	0,001	0,001	0,045
1434	25	COM.MAX	73,25	0,001	0,001	0,001	0,001	0,045
1433	24	COM.MAX	70,35	0,001	0,001	0,001	0,001	0,045
1432	23	COM.MAX	67,45	0,002	0,002	0,002	0,002	0,045
1431	22	COM.MAX	64,55	0,002	0,002	0,002	0,002	0,045
1430	21	COM.MAX	61,65	0,001	0,001	0,001	0,001	0,045
1429	20	COM.MAX	58,75	0,001	0,001	0,001	0,001	0,045
1428	19	COM.MAX	55,85	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045

1427	18	COM.MAX	52,95	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045
1426	17	COM.MAX	50,05	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045
1425	16	COM.MAX	47,15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045
1424	15	COM.MAX	44,25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045
1423	14	COM.MAX	41,35	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045
1422	13	COM.MAX	38,45	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045
1421	12	COM.MAX	35,55	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045
1420	11	COM.MAX	32,65	0,001	0,001	0,001	0,001	0,045
1419	10	COM.MAX	29,75	0,001	0,001	0,001	0,001	0,045
1418	9	COM.MAX	26,85	0,001	0,001	0,001	0,001	0,045
1417	8	COM.MAX	23,95	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045
1416	7	COM.MAX	21,05	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045
1415	6	COM.MAX	18,15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045
1414	5	COM.MAX	15,25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045
1413	4	COM.MAX	12,35	0,001	0,001	0,001	0,001	0,045
1412	3	COM.MAX	9,45	0,002	0,002	0,002	0,002	0,069
1411	2	COM.MAX	4,95	0,002	0,002	0,002	0,002	0,077
1410	1	COM.MAX	-0,05	0,001	0,001	0,001	0,001	0,089
1409	B3	COM.MAX	-5,85	0,001	0,001	0,001	0,001	0,074
16	B2	COM.MAX	-10,65	0,000	0,000	0,000	0,000	0,055
1408	B1	COM.MAX	-14,25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

**Simpangan Antar Lantai
Arah Y Tiap Kota**



Gambar 4. Simpangan Antar Lantai Arah X Bangunan 41 Lantai

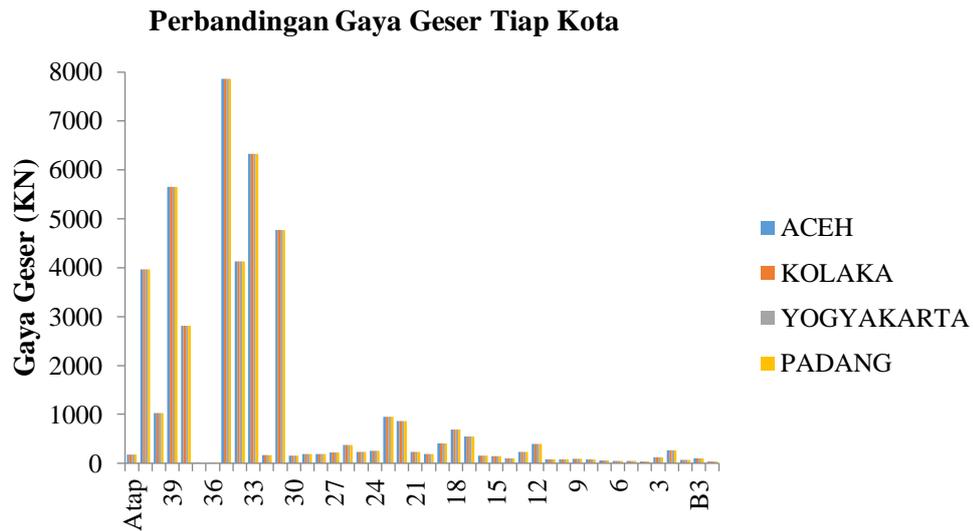
c. Gaya Geser Tingkat (*Base Shear*)

Gaya geser dasar merupakan penjumlahan gaya geser (V_2) kolom yang berada di tingkat yang sama untuk masing-masing tingkat.

Tabel 3. Hasil Analisis *Base Shear* Bangunan 41 Lantai

TABLE: Element Forces		Gaya Geser Tiap Kota			
Lantai	Output Case	Kota Aceh	Kota Kolaka	Kota Yogyakarta	Kota Padang
Text	Text	KN	KN	KN	KN
Atap	COM.MAX	182,119	182,119	182,119	182,119

41	COM.MAX	3963,774	3963,774	3963,774	3963,774
40	COM.MAX	1029,029	1029,029	1029,029	1029,029
39	COM.MAX	5657,990	5657,990	5657,990	5657,990
38	COM.MAX	2817,070	2817,070	2817,070	2817,070
37	COM.MAX	12,551	12,551	12,551	12,551
36	COM.MAX	12,653	12,653	12,653	12,653
35	COM.MAX	7860,586	7860,586	7860,586	7860,586
34	COM.MAX	4133,208	4133,208	4133,208	4133,208
33	COM.MAX	6332,353	6332,353	6332,353	6332,353
32	COM.MAX	165,492	165,492	165,492	165,492
31	COM.MAX	4777,328	4777,328	4777,328	4777,328
30	COM.MAX	161,100	161,100	161,100	161,100
29	COM.MAX	192,978	192,978	192,978	192,978
28	COM.MAX	191,304	191,304	191,304	191,304
27	COM.MAX	219,855	219,855	219,855	219,855
26	COM.MAX	376,698	376,698	376,698	376,698
25	COM.MAX	237,809	237,809	237,809	237,809
24	COM.MAX	258,327	258,327	258,327	258,327
23	COM.MAX	950,330	950,330	950,330	950,330
22	COM.MAX	866,718	866,718	866,718	866,718
21	COM.MAX	237,161	237,161	237,161	237,161
20	COM.MAX	185,623	185,623	185,623	185,623
19	COM.MAX	407,619	407,619	407,619	407,619
18	COM.MAX	686,657	686,657	686,657	686,657
17	COM.MAX	546,930	546,930	546,930	546,930
16	COM.MAX	157,881	157,881	157,881	157,881
15	COM.MAX	141,639	141,639	141,639	141,639
14	COM.MAX	99,528	99,528	99,528	99,528
13	COM.MAX	227,564	227,564	227,564	227,564
12	COM.MAX	392,152	392,152	392,152	392,152
11	COM.MAX	76,550	76,550	76,550	76,550
10	COM.MAX	81,793	81,793	81,793	81,793
9	COM.MAX	86,348	86,348	86,348	86,348
8	COM.MAX	83,663	83,663	83,663	83,663
7	COM.MAX	62,663	62,663	62,663	62,663
6	COM.MAX	44,952	44,952	44,952	44,952
5	COM.MAX	45,532	45,532	45,532	45,532
4	COM.MAX	37,561	37,561	37,561	37,561
3	COM.MAX	128,897	128,897	128,897	128,897
2	COM.MAX	262,792	262,792	262,792	262,792
1	COM.MAX	68,128	68,128	68,128	68,128
B3	COM.MAX	98,394	98,394	98,394	98,394
B2	COM.MAX	37,104	37,104	37,104	37,104



Gambar 5. Gaya Geser Tingkat Bangunan 41 Lantai

3.5 Pembahasan Hasil Analisis

Berdasarkan hasil analisis, didapatkan bahwa untuk tipe bangunan 41 lantai yang ditinjau dari 4 kota memenuhi kapasitas ketahanan gempa berdasarkan metode analisis dinamik ragam respons spektrum. Perbedaan terjadi pada kontrol simpangan antar lantai baik arah x maupun arah y, hal ini disebabkan karena data bangunan yang ditinjau sama untuk tiap kota namun bangunan ditinjau di 4 kota yang memiliki intensitas gempa berbeda.

Perbedaan simpangan antar lantai untuk arah x terbesar di 4 kota yang ditinjau yaitu pada lantai 39. Untuk Kota Aceh memiliki nilai simpangan antar lantai 0,009 m, Kota Kolaka memiliki nilai simpangan antar lantai 0,009 m, Kota Yogyakarta memiliki nilai simpangan antar lantai 0,009 m, dan Kota Padang memiliki nilai simpangan antar lantai 0,009 m. Sedangkan nilai simpangan antar lantai yang diijinkan tidak melebihi dari 0,045 m.

Perbedaan simpangan antar lantai untuk arah y terbesar di 4 kota yang ditinjau yaitu pada lantai 2. Untuk Kota Aceh memiliki nilai simpangan antar lantai 0,003 m, Kota Kolaka memiliki nilai simpangan antar lantai 0,003 m, Kota Yogyakarta memiliki nilai simpangan antar lantai 0,003 m, dan Kota Padang memiliki nilai simpangan antar lantai 0,003 m. Sedangkan nilai simpangan antar lantai yang diijinkan tidak melebihi dari 0,045 m.

Perbedaan gaya geser tingkat terbesar di 4 kota yang ditinjau yaitu pada lantai 2. Untuk Kota Aceh memiliki nilai gaya geser 7680,586 KN, Kota Kolaka memiliki nilai gaya geser 7680,586 KN, Kota Yogyakarta memiliki nilai gaya geser 7680,586 KN, dan Kota Padang memiliki nilai gaya geser 7680,586 KN.

Karena nilai simpangan antar lantai baik arah x maupun arah y memenuhi simpangan antar lantai yang diijinkan maka bangunan aman untuk dibangun di 4 kota yang tinjau. Semakin banyak jumlah tingkat, semakin besar perbedaannya. Nilai gaya geser pada pada bangunan yang ditinjau berpengaruh pada intensitas gempa. Semakin besar intensitas gempa pada masing-masing kota maka semakin besar nilai gaya geser. Nilai gaya geser maupun simpangan antar lantai ditinjau memiliki nilai yang sama akibat nilai beban gaya gempa lebih kecil dibanding beban mati maupun beban yang lainnya.

Rekapitulasi hasil desain yang ekonomis untuk bangunan yang ditinjau dengan peninjauan di 4 kota Indonesia adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Desain Bangunan 41 Lantai

Nama Kota	Mutu Beton (MPa)	Ket.	Mutu Beton Ekonomis (MPa)	Ket.
Kota Aceh	55	Aman	55	Aman
Kota Kolaka	55	Aman	55	Aman
Kota Yogyakarta	55	Aman	55	Aman
Kota Padang	55	Aman	55	Aman

Adapun detail gambar gaya geser dan simpangan antar lantai terlampir pada masing-masing kota yang ditinjau

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, didapatkan bahwa untuk tipe bangunan 41 lantai yang ditinjau dari 4 kota memenuhi kapasitas ketahanan gempa berdasarkan metode analisis dinamik ragam respons spektrum. Perbedaan terjadi pada kontrol simpangan antar lantai baik arah x maupun arah y, hal ini disebabkan karena data bangunan yang ditinjau sama untuk tiap kota namun bangunan ditinjau di 4 kota yang memiliki intensitas gempa berbeda. Nilai gaya geser maupun simpangan antar lantai yang ditinjau memiliki nilai sama akibat nilai beban gaya gempa lebih kecil dibanding beban mati maupun beban yang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriadi Y, Satyarno I. 2013. Perbandingan spektra desain beberapa kota besar di Indonesia dalam SNI 2012 Gempa dan SNI 2002. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7, 24-26 Oktober 2013. Surakarta (ID) Universitas Sebelas Maret. hlm 299-305.
- Agus Hariyanto. 2011. "Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Tidak Beraturan Dengan Analisis Dinamik Menggunakan Metode Analisis Respon Spektrum," Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2012. SNI 03-1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung. Jakarta (ID): BSN.
- Budiono B, Supriatna L. 2011. *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726-201X*. Bandung (ID): ITB Pr.
- Bowles, Joseph E. Johan K. Helnim. 1991. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika tanah)*. PT. Erlangga. Jakarta. (Hal. 6) Craig, R.F. 1991. *Mekanika Tanah*. PT. Erlangga. Jakarta.
- Christiawan I, Triwiyono A, Christady H. 2008. "Evaluasi kinerja dan perkuatan struktur gedung guna alih fungsi bangunan. Studi kasus: perubahan fungsi ruang kelas menjadi ruang perpustakaan pada lantai II gedung G Universitas Semarang,". *Forum Teknik Sipil*. vol. 18(1), pp. 725-738.
- Elliza, Ismailah Nur. 2013. "Evaluasi Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Respon Spektrum Menggunakan Software ETABS V 9.50 (Studi Kasus : Gedung Solo Center Point), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Helmy, Iskandarsyah. 2009. "Analisis Respon Spektrum pada Bangunan yang Menggunakan Yielding Damper Akibat Gaya Gempa", Departemen T Sipil Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, Medan.

- Purnomo W. 2015. "Perencanaan Struktur Gedung Bank 4 Lantai Tahan Gempa dengan Sistem Daktail Penuh di Wilayah Gempa 3". Universitas Muhamadiyah Surakarta.
- Sayed A.F., Erizal, Asep S. 2018. "Evaluasi Ketahanan Gempa pada Struktur Gedung X di Jakarta Berdasarkan SNI 03-1726-2012," *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 3(1), pp. 11-24.