

Studi Perbandingan Pembebanan Gempa Statik Ekuivalen dan Dinamik *Time History* pada Gedung Bertingkat di Yogyakarta

(Comparative Study of Equivalent Static Seismic Load and Time History Dynamic Analysis on Multi-Storey Building in Yogyakarta)

RESTU FAIZAH

ABSTRACT

Time history dynamic analysis is the most accurate method in seismic load calculation, but it is quite complicated and time consuming. For practical need in the field, it used the equivalent static analysis that is the simplified dynamic analysis. The main difference between the static and dynamic concept is on the building characteristic that is calculated in analysis. Dynamic concept calculates the mass, stiffness and damping, while in static concept, only calculates the mass. It is stated in SNI 1726-2012 that equivalent static analysis can only be performed for horizontally and vertically regular structure. Irregular building design, asymmetrical floor plan, and high-rise building can use dynamic analysis. This research compared the result of equivalent static seismic load and time history dynamic analysis on the reinforced concrete frame structure of 5 levels, 10 levels, 15 levels, 20 levels, 25 levels, and 30 levels. Time history dynamic analysis is done with the assistance of Matlab program and used of accelerogram of 2006 Yogyakarta earthquake as the seismic input. The result of this study shows that the calculation result of the equivalent static seismic load is quite accurate on the 5 levels building, because it gives larger requirement in designing the structure, compared to the time history dynamic analysis of the seismic load. While on the calculation of equivalent static seismic load on the 10 or more levels structure is considered as not accurate, because it gives smaller requirements in designing the structure, compared to the time history dynamic analysis of the seismic load.

Keywords: equivalent static, dynamic time history, 2006 earthquake Yogyakarta, lateral force level, base shear force.

PENDAHULUAN

Pada tahun 2012 Pemerintah Indonesia telah mengesahkan standar baru tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, yaitu SNI 1726:2012. Disebutkan dalam standar tersebut bahwa pengaruh gempa rencana harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung. Gaya gempa rencana dapat dihitung menggunakan analisis statik ekuivalen, analisis dinamik ragam respon spektra maupun analisis dinamik *time history*.

Menurut Pawirodikromo, W. (2012), analisis dinamik *Time History* merupakan metode yang paling akurat, tetapi memerlukan hitungan yang banyak dan waktu yang lama. Oleh

karena itu, untuk keperluan praktis di lapangan digunakan analisis statik ekuivalen yang merupakan penyederhanaan dari analisis dinamik. Namun analisis statik ekuivalen hanya diperbolehkan untuk bangunan yang reguler horisontal maupun vertikal (SNI 1726:2012). Salah satu ciri bangunan reguler adalah ketinggian tidak lebih dari 40 meter atau 10 tingkat yang diukur dari taraf penjepitan lateral. Gaya gempa rencana pada bangunan dengan ketinggian lebih dari 40 meter atau 10 tingkat harus dihitung menggunakan analisis dinamik (SNI 1726-2002).

Perbedaan utama antara konsep statik dan dinamik adalah pada karakteristik bangunan yang diperhitungkan dalam analisis. Konsep dinamik memperhitungkan massa, kekakuan dan redaman, sedangkan konsep statik hanya

memperhitungkan massa saja. Selain itu, prinsip statik ekuivalen hanya memperhitungkan mode ke 1 saja, sehingga hanya cocok untuk bangunan yang cenderung kaku atau bangunan rendah (Widodo, 2001).

Nasution, F dan Teruna, DR (2013) membandingkan respons parameter berupa *base shear* dan *displacement* dari struktur beraturan dan tidak beraturan 7 tingkat, yang dianalisis secara statik ekuivalen dan analisis dinamik spektrum respons, menggunakan software SAP 2000. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *base shear* dan *displacement* tidak berbeda jauh antara hasil analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik ragam respon spektra. Kesimpulan yang diperoleh adalah analisis statik ekuivalen masih dapat digunakan pada bangunan 7 tingkat, namun lebih akurat dianalisis secara dinamik.

Kusumastuti (2010) menyimpulkan bahwa gaya geser dasar bangunan yang timbul akibat gempa yang dihitung dengan metode dinamik secara umum lebih kecil daripada gaya horisontal statik ekuivalen, kecuali pada gempa dengan frekuensi rendah memiliki gaya horisontal pada tingkat-tingkat dasar lebih besar daripada gaya horisontal statik ekuivalen, khususnya pada bangunan yang lebih tinggi.

Dari hasil penelitian yang pernah ada, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui sejauh mana perhitungan pembebanan gempa statik ekuivalen boleh dilakukan. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dibandingkan hasil analisis dinamik *time history* dan analisis statik ekuivalen, berupa gaya lateral dinamik akibat mode ke 1 saja, gaya lateral dinamik akibat mode lengkap, gaya lateral statik ekuivalen, gaya geser dasar dinamik serta gaya geser dasar statik ekuivalen. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti keakuratan perhitungan pembebanan gempa statik ekuivalen pada struktur bertingkat.

Gaya Lateral

Gempa bumi akan mengakibatkan getaran pada tiga arah yaitu arah *X*, arah *Y* dan arah *Z*, sehingga tanah bergetar dengan acak, ke depan (+) dan ke belakang (-) pada tiap arah (*X*, *Y*, *Z*). Bangunan biasanya dirancang untuk menanggung gaya grafitasi (*gravity load*) saja,

yang besarnya sama dengan massa (*m*) kali percepatan (*g*), dengan arah vertikal ke bawah (IITK-BMTPC-5). Oleh karena itu dalam perancangan struktur, harus diperhitungkan gaya horizontal/lateral akibat beban angin dan beban gempa.

Getaran gempabumi akan menimbulkan gaya lateral pada dasar struktur berupa gaya geser dasar bangunan (*base shear*, *V*), dan akan terdistribusi pada tiap lantai bangunan sebagai gaya lateral tingkat (gaya horisontal tingkat, *F*). Besarnya *V* dan *F* dapat ditinjau berdasarkan pembebanan gempa nominal statik ekuivalen maupun dinamik, yang diatur dalam SNI 1726:2012.

Struktur bertingkat banyak/tinggi harus dirancang memiliki stabilitas yang memadai dan mampu menahan gaya lateral. Sistem struktur penahan gaya lateral terletak pada kekakuan kolom yang dapat menahan gaya lateral, sehingga deformasi/simpangan yang terjadi tidak melebihi persyaratan yang ditentukan.

Metode Statik Ekuivalen

Menurut tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, SNI 1726:2012, beban geser dasar nominal statik ekuivalen *V* yang terjadi di tingkat dasar dapat dihitung dengan persamaan 1 sampai persamaan 4.

$$V = C_s \cdot W \quad (1)$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2)$$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3)$$

$$C_s = 0.044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0.01 \quad (4)$$

C_s = koefisien respon seismik, yang dihitung dengan persamaan 1, besarnya tidak perlu melebihi *C_s* persamaan 2 dan harus tidak kurang dari *C_s* persamaan 3.

W = berat seismik efektif, dijelaskan dalam SNI 1726:2012.

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons disain dalam rentang perioda pendek.

S_{D1} = parameter percepatan spektrum respons disain dalam rentang perioda 1 detik.

R = faktor modifikasi respons, sesuai dengan ketentuan dalam SNI 1726:2012.

I_e = Faktor keutamaan gempa, yang besarnya ditentukan berdasarkan kategori risiko dalam SNI 1726:2012.

Selanjutnya gaya lateral (F_x) (kN) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan 5.

$$F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \cdot V \quad (5)$$

V = gaya lateral disain total atau geser di dasar struktur (kN).

$w_i (W_x)$ = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau tingkat x

$h_i (h_x)$ = tinggi (m) dari dasar sampai tingkat i atau tingkat x

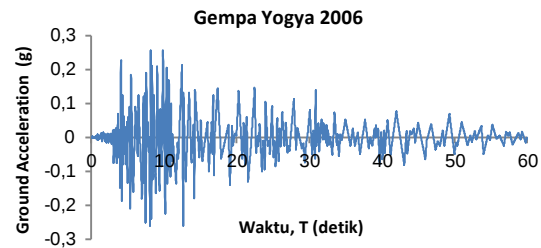
k = Eksponen yang terkait dengan perioda struktur, yang besarnya adalah:

- $k = 1$, untuk struktur yang mempunyai perioda $\leq 0,5$ detik.
- $k = 2$, untuk struktur yang mempunyai perioda $\geq 2,5$ detik.
- k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2, untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik.

Metode Dinamik Time History

Metode ini dapat digunakan sebagai analisis pada perancangan bangunan yang tidak reguler, denah tidak simetri dan bangunan tinggi (Chopra, AK. 2007).

SNI 03-1726-2002 menjelaskan bahwa analisis Dinamik *Time History* menggunakan akselerogram gempa yang diangkakan sebagai gerakan tanah masukan. Akselerogram gempa masukan tersebut harus diambil dari rekaman gerakan tanah akibat gempa yang terjadi di suatu lokasi yang memiliki kemiripan kondisi geologi, topografi dan seismotekniknya dengan lokasi tempat struktur gedung yang ditinjau berada. Untuk perancangan struktur di daerah Yogyakarta, dapat menggunakan akselerogram Gempa Yogyakarta tahun 2006 sebagai gempa masukan, ditunjukkan dalam Gambar 1.



GAMBAR 1. Akselerogram Gempa Yogyakarta 2006 (Widodo, 2013)

Untuk perencanaan struktur gedung melalui analisis dinamik *Time History* terhadap pengaruh Gempa Rencana pada taraf pembebanan gempa nominal, percepatan muka tanah asli dari gempa masukan harus diskalakan ke taraf pembebanan gempa nominal tersebut, sehingga nilai percepatan puncaknya A menjadi:

$$A = \frac{A_0 \cdot I}{R} \quad (6)$$

A_0 adalah percepatan puncak muka tanah, yang besarnya sudah ditentukan dalam Tabel 1, berdasarkan percepatan puncak batuan dasar lokasi. R adalah faktor reduksi gempa representatif dari struktur gedung yang bersangkutan, sedangkan I adalah Faktor Keutamaan.

TABEL 1. Percepatan puncak muka tanah A_0 (SNI 1726-2002)

Percepatan puncak batuan dasar ('g')	Percepatan puncak muka tanah A_0 ('g')			
	Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
0.03	0.04	0.05	0.08	evaluasi
0.10	0.12	0.15	0.20	khusus
0.15	0.18	0.23	0.30	di setiap
0.20	0.24	0.28	0.34	lokasi
0.25	0.28	0.32	0.36	
0.30	0.33	0.36	0.38	

Nilai akhir respon dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu tidak boleh diambil kurang dari 80% nilai respon ragam pertama, maka gaya geser tingkat nominal akibat pengaruh gempa rencana sepanjang tinggi struktur gedung hasil analisis harus dikalikan dengan faktor skala.

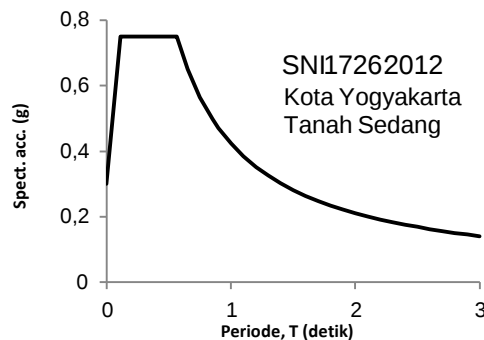
$$\text{Faktor skala} = \frac{0.8 V_1}{V_t} \geq 1 \quad (7)$$

V_l adalah gaya geser dasar nominal sebagai respon dinamik ragam pertama saja, dan V_t adalah gaya geser dasar maksimum yang diperoleh dari hasil analisis dinamik yang sudah dilakukan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi

Penelitian dilakukan di Yogyakarta pada bulan Januari – April 2015. Untuk keperluan analisis dianggap struktur berada di Yogyakarta dengan jenis tanah adalah tanah sedang. Spektrum respon kota Yogyakarta untuk tanah sedang ditunjukkan dalam Gambar 2.



GAMBAR 2. Spectrum Respon Kota Yogyakarta (SNI 1726:2012)

Model Struktur

Dalam penelitian ini digunakan model struktur berupa portal beton bertulang 2D, yang merupakan model bangunan perkantoran. Dimensi kolom berubah secara proporsional terhadap tinggi struktur. Jumlah portal yang ditinjau adalah 6 buah, dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Variasi jumlah tingkat: 5, 10, 15, 20, 25, dan 30.
2. Perbedaan elevasi tiap tingkat: 4.00 m.
3. Jumlah bentang: 4, dengan lebar bentang dibuat sama yaitu 8.00 m.
4. Kekakuan struktur dihitung dengan metode *Shear Building*.
5. Spesifikasi material yang digunakan adalah:
 - a. Beton mutu K-300 dengan $f'_c = 30$ MPa dan Modulus Elastisitas Beton, $E_c = 25700$ MPa.

- b. Tulangan pokok digunakan BJTD 40, dengan $f_y = 400$ MPa dan Modulus Elastisitas Baja, $E_s = 2.105$ MPa.
- c. Tulangan sengkang digunakan BJTP 30, dengan $f_y = 300$ MPa dan Modulus Elastisitas Baja, $E_s = 2.10^5$ MPa

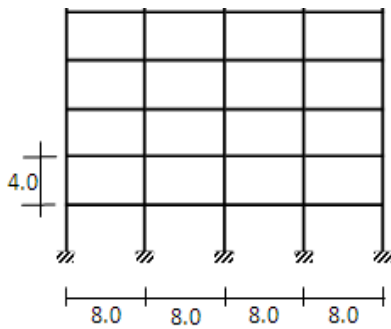
Dimensi kolom/balok berubah-ubah secara proporsional, ditentukan dengan cara *trial and error* menggunakan *software* SAP 2000, ditunjukkan pada Tabel 2. Contoh pemodelan portal 5 tingkat ditunjukkan pada Gambar 3.

TABEL 2. Dimensi Kolom/Balok

Jml Tingkat	Tingkat	Kolom tepi (cm)		Kolom tengah (cm)		balok (cm)	
		b	h	b	h	b	h
5	1-2	50	50	60	60	30	60
	3-5	40	40	50	50	25	50
10	1-4	70	70	80	80	35	70
	5-7	60	60	70	70	30	60
	8-10	50	50	60	60	25	50
15	1-6	80	80	90	90	55	80
	7-11	70	70	80	80	40	75
	12-15	60	60	70	70	35	70
20	1-5	85	85	95	95	55	80
	6-10	80	80	85	85	50	80
	11-15	70	70	80	80	40	75
	16-20	60	60	70	70	30	60
25	1-5	85	85	95	95	55	80
	6-10	80	80	85	85	50	80
	11-15	70	70	80	80	40	75
	16-25	60	60	70	70	30	60
30	1-5	100	100	110	110	60	90
	6-10	90	90	100	100	55	85
	11-17	80	80	90	90	50	80
	18-21	60	60	70	70	30	60
	22-25	60	60	70	70	35	70
	26-30	50	50	60	60	30	60

Metode Analisis

Analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah Analisis Dinamik *Time History* menggunakan program *Matlab*, dan analisis statik ekuivalen mengikuti aturan dalam SNI 1726:2012.



GAMBAR 3. Contoh pemodelan portal 5 tingkat

Akselerogram Gempa Masukan

Dalam penelitian ini digunakan akselerogram gempa Yogya 2006 sebagai gempa masukan, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1, kemudian diangkakan, dengan satuan g (gravitasi). Akselerogram Gempa Yogya 2006 ini hasil replikasi yang diperoleh dari Widodo, 2013.

Tahapan Analisis

Analisis dalam penelitian ini meliputi beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Menentukan model struktur portal beton bertulang, dengan cara *trial and error* menggunakan *Software* SAP 2000.
2. Menentukan properti struktur berupa massa dan kekakuan struktur.
3. Analisis statik ekuivalen sesuai SNI 1726-2012, meliputi tahap perhitungan:
 - Waktu getar alami struktur (T).
 - Faktor keutamaan struktur (I) dan reduksi beban gempa (R)
 - Gaya geser dasar statik ekuivalen (V).
 - Gaya horisontal tingkat/gaya lateral (F_i)
4. Analisis dinamik *Time History* dengan bantuan program *Matlab*, meliputi tahapan sebagai berikut:
 - Input data pada program *Matlab* yang meliputi data massa dan kekakuan struktur.
 - Mencari nilai *mode shape* dan frekuensi sudut ω .
 - Menghitung partisipasi mode dan *modal effective mass*.
 - Input akselerogram gempa.
 - Integrasi numerik dengan metode *central difference* untuk

menghitung gaya horisontal tingkat/gaya lateral.

- Menghitung gaya geser dasar bangunan (V).
 - Verifikasi hasil hitungan *software* *Matlab* dengan hitungan manual menggunakan *ms-excell*.
5. Membandingkan hasil analisis yang diperoleh menggunakan metode statik ekuivalen dan dinamik *time history*, berupa gaya lateral akibat mode ke-1, mode total dan gaya lateral statik ekuivalen, nilai partisipasi mode (Γ) serta *modal effective mass* (MEM).
 6. Pembahasan dan kesimpulan.

Alur penelitian dijelaskan dengan *flow chart* pada Gambar 4.

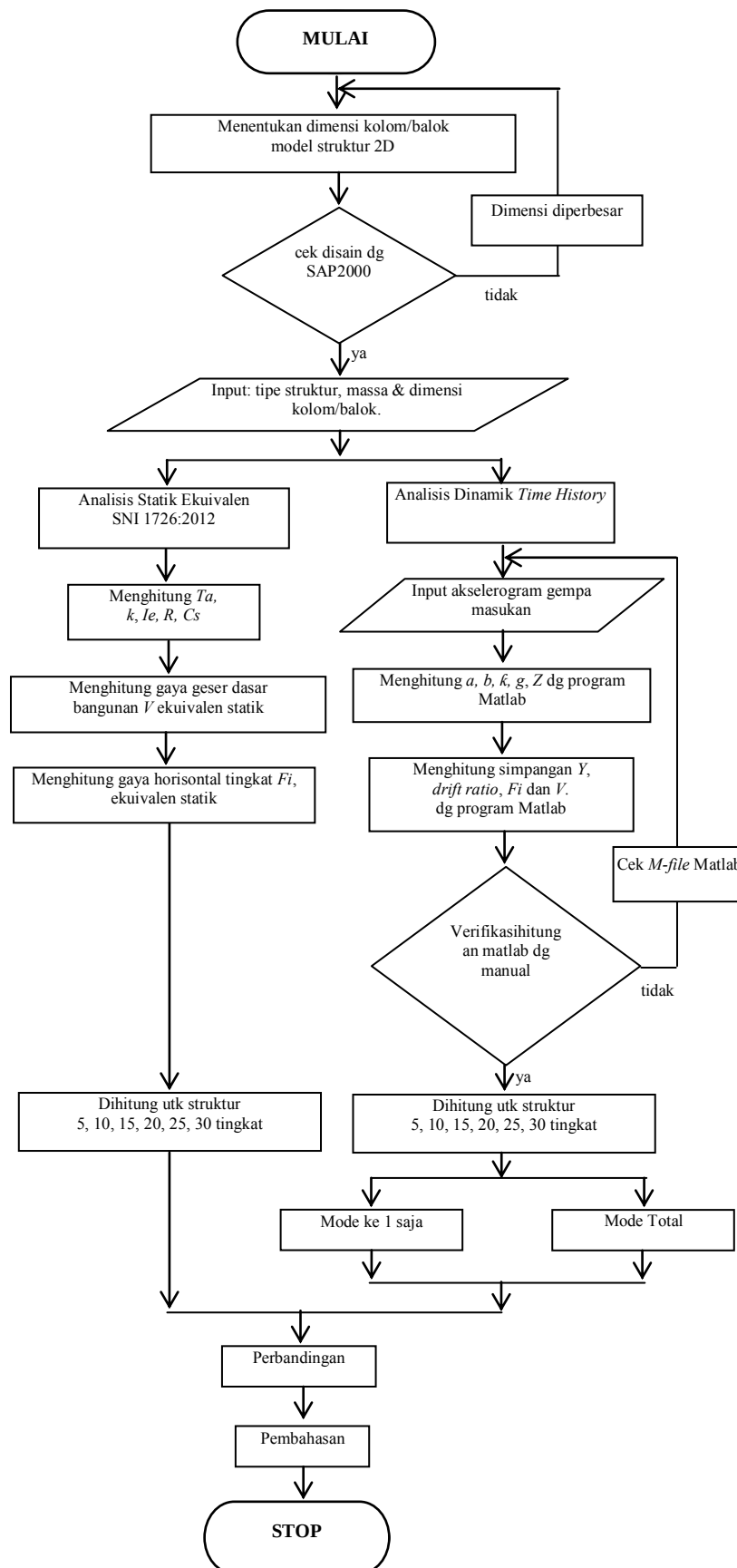
HASIL ANALISIS

Analisis Statik Ekuivalen

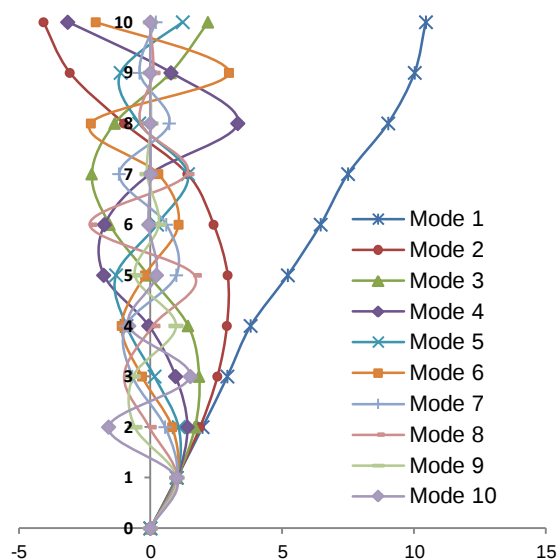
Setelah dilakukan pembebanan gempa statik ekuivalen mengikuti prosedur dari SNI 1726: 2012, diperoleh gaya lateral tingkat (F_i , ton) dan gaya geser dasar (V , ton) statik ekuivalen seperti ditunjukkan dalam Tabel 3.

TABEL 3. Gaya Lateral Statik Ekuivalen (Ton)

Tingkat ke	Jml tingkat					
	5	10	15	20	25	30
1	4.105	0.717	0.220	0.068	0.042	0.029
2	8.770	1.884	0.703	0.262	0.169	0.117
3	12.870	3.316	1.389	0.578	0.380	0.263
4	17.637	4.953	2.251	1.013	0.675	0.468
5	15.963	6.299	3.274	1.566	1.055	0.731
6		8.122	4.024	2.154	1.416	1.025
7		10.070	5.213	2.911	1.928	1.395
8		11.516	6.522	3.778	2.518	1.822
9		13.572	7.948	4.755	3.186	2.305
10		11.095	9.485	5.841	3.934	2.846
11			10.436	6.556	4.662	3.282
12			12.076	7.770	5.548	3.906
13			13.397	9.085	6.511	4.584
14			15.171	10.500	7.551	5.317
15			11.967	12.014	8.669	6.103
16				12.392	9.005	6.944
17				13.950	10.166	7.839
18				15.597	11.397	8.383
19				17.333	12.698	9.341
20				13.460	14.070	10.350
21					14.417	11.411
22					15.822	11.959
23					17.293	13.071
24					18.830	14.232
25					14.523	15.443
26						15.849
27						17.091
28						18.381
29						19.717
30						14.703
V (ton)	59.345	71.544	104.07	141.58	186.46	228.91



GAMBAR 4. Alur Penelitian



GAMBAR 5. Mode Shape struktur 10 tingkat

Analisis Dinamik Time History

Analisis dinamik *Time History* menggunakan akselerogram gempa Yogyakarta 2006 (Widodo, 2013) sebagai gempa masukan, dan diperoleh *mode shape* untuk tiap struktur. Akselerogram gempa Yogyakarta 2006 (Widodo, 2013) sudah ditunjukkan dalam Gambar 1. Dalam paper ini ditunjukkan salah satu contoh *mode shape* struktur 10 tingkat hasil perhitungan menggunakan program Matlab pada Gambar 5.

Pada Gambar 5 terlihat bahwa *mode shape* ke 1 memiliki bentuk yang berbeda dengan mode yang lainnya dan cenderung membesar pada tingkat yang lebih tinggi, sedangkan *mode shape* yang lain cenderung merata pada setiap tingkatnya.

Setelah diketahui *mode shape* dari tiap struktur, maka dapat dilakukan analisis dinamik *Time History* untuk menghitung besarnya gaya lateral dan gaya geser dasar. Perhitungan gaya lateral dan gaya geser dasar dilakukan dua analisis, yaitu analisis dengan memperhitungkan mode ke 1 saja dan analisis dengan memperhitungkan keseluruhan mode (mode total). Hal ini dilakukan untuk melihat apakah benar *trend* gaya lateral tingkat yang dihitung dengan analisis statik ekuivalen mengikuti trend gaya lateral tingkat akibat mode ke 1 saja. Menurut Widodo (2001), prinsip statik ekuivalen hanya memperhitungkan *mode* ke 1 saja, sehingga

hanya cocok untuk bangunan yang cenderung kaku atau bangunan rendah.

Hasil perhitungan gaya lateral dan gaya geser dasar *time history* menggunakan program Matlab ditunjukkan dalam Tabel 4 dan 5.

PEMBAHASAN

Perbandingan Gaya lateral Statik Ekuivalen dan Dinamik Time History

Perbandingan hasil analisis gaya lateral statik ekuivalen dan dinamik *time history* ditunjukkan dalam Gambar 6 – 8.

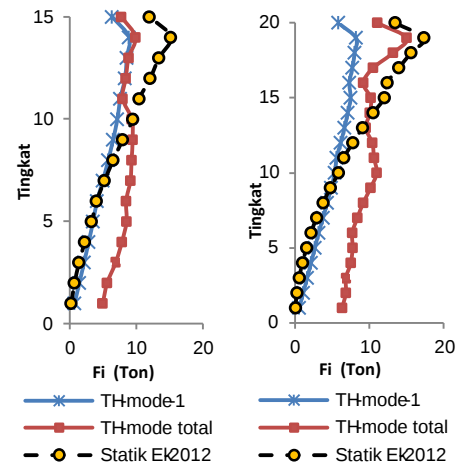
TABEL 4. Gaya Lateral Time History
Akibat Mode ke 1 (Ton)

Tingkat ke	Jml tingkat					
	5	10	15	20	25	30
1	2.763	1.593	0.728	0.542	0.528	0.436
2	5.336	3.154	1.449	1.080	1.055	0.871
3	9.491	4.654	2.157	1.613	1.579	1.304
4	12.64	6.062	2.845	2.137	2.097	1.733
5	9.940	7.743	3.507	2.650	2.609	2.158
6		9.592	4.104	3.159	3.153	2.509
7		11.13	4.977	3.744	3.860	2.911
8		12.70	5.782	4.304	4.549	3.305
9		14.14	6.509	4.835	5.217	3.690
10		10.40	7.147	5.335	5.862	4.066
11			7.586	5.575	6.300	4.304
12			8.301	6.130	6.832	4.720
13			8.566	6.632	7.337	5.121
14			8.896	7.077	7.811	5.507
15			6.346	7.461	8.253	5.876
16				7.292	8.246	6.314
17				7.699	8.898	6.727
18				8.000	9.486	6.787
19				8.192	10.01	7.133
20				5.811	10.45	7.453
21					10.32	7.822
22					10.80	7.789

23					11.16	8.073
24					11.39	8.323
25					8.163	8.536
26						8.313
27						8.482
28						8.606
29						8.685
30						6.074
V (ton)	40.17	81.19	78.90	99.27	165.9	163.6

TABEL 5. Gaya Lateral Time History Akibat Mode Total (Ton)

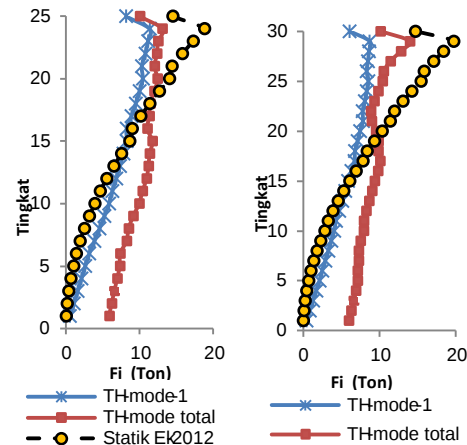
Tingkat ke	Jml tingkat					
	5	10	15	20	25	30
1	5.605	4.774	4.943	6.330	5.917	6.003
2	7.140	5.263	5.617	6.836	6.248	6.318
3	10.27	6.863	6.911	6.839	6.633	6.652
4	13.05	8.203	7.848	7.497	6.993	6.932
5	10.49	9.203	8.547	7.737	7.362	7.161
6		9.993	8.485	7.692	7.395	7.152
7		11.34	9.139	8.380	8.275	7.299
8		13.31	9.309	9.161	8.550	7.295
9		15.20	9.465	10.15	9.166	7.536
10		11.58	9.341	10.97	9.979	7.960
11			7.953	10.62	10.41	7.970
12			8.426	10.38	10.98	8.284
13			8.864	9.504	11.24	8.661
14			9.889	10.06	11.40	9.048
15			7.745	10.17	11.77	9.391
16				9.169	11.08	9.823
17				10.49	11.36	10.11
18				13.17	11.46	9.862
19				15.00	12.02	9.877
20				11.06	12.45	9.552
21					12.06	9.000
22					12.39	8.891
23					12.55	9.338
24					13.12	9.856
25					10.07	10.42
26						10.56
27						11.46
28						12.88
29						13.99
30						10.15
V (ton)	46.55	95.73	122.5	191.2	250.9	269.4



a. 15 tingkat

b. 20 tingkat

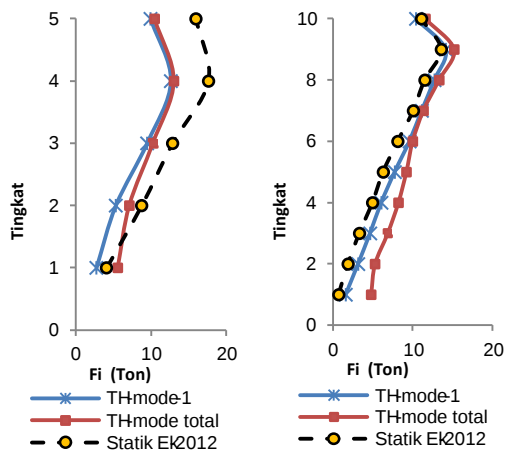
GAMBAR 7. Gaya lateral tingkat (Ton) dari struktur 15 dan 20 tingkat.



a. 25 tingkat

b. 30 tingkat

GAMBAR 8. Gaya lateral tingkat (Ton) dari struktur 25 dan 30 tingkat.



a. 5 tingkat

b. 10 tingkat

GAMBAR 6. Gaya lateral tingkat (Ton) dari struktur 5 dan 10 tingkat.

Pada Struktur 5 tingkat (Gambar 6a.) terlihat bahwa besarnya gaya lateral statik ekuivalen dan dinamik *time history* tidak berbeda jauh. Gaya lateral statik ekuivalen nilainya lebih besar dari gaya lateral dinamik *time history* kecuali pada tingkat 1. Hal ini menunjukkan bahwa pembebanan gempa menggunakan metode statik ekuivalen pada bangunan 5 tingkat terhitung sangat aman.

Pada struktur 10 tingkat (Gambar 6.b.), gaya lateral statik ekuivalen nilainya lebih kecil dari gaya lateral pada semua tingkat, dan perbedaan terbesar terjadi pada tingkat 1.

Pada Struktur 15 hingga 30 tingkat (Gambar 7 dan Gambar 8), gaya lateral statik ekuivalen pada tingkat semakin tinggi mengalami

kenaikan yang semakin besar, namun pada tingkat-tingkat bawah tidak demikian. Sedangkan gaya lateral tingkat dinamik *time history* dengan mode total terlihat bahwa nilainya tidak berbeda jauh pada semua tingkat. Akibatnya, pada tingkat-tingkat bawah, terjadi perbedaan nilai gaya lateral yang sangat besar antara hitungan menggunakan metode statik ekuivalen dan metode dinamik *time history*.

Dari analisis ini dapat difahami, bahwa metode statik ekuivalen hanya diijinkan untuk perancangan struktur dengan ketinggian tidak lebih dari 40 meter atau 10 tingkat (SNI 1726-2002). Apabila tetap dilakukan analisis statik ekuivalen pada bangunan lebih dari 10 tingkat, maka struktur pada bagian bawah cenderung tidak akan mampu menahan gaya lateral yang mungkin terjadi akibat gempa sesuai dengan gempa rencana, karena metode dinamik lebih dekat dengan keadaan yang sesungguhnya/ lebih akurat (Pawirodikromo, W. 2012).

Perbandingan Distribusi Gaya lateral Statik Ekuivalen dan Dinamik Time History

Dari Gambar 6 hingga Gambar 8, dapat diperhatikan bahwa pola distribusi gaya lateral statik ekuivalen mengikuti pola distribusi gaya lateral dinamik *time history* akibat mode ke 1 saja. Namun pada struktur yang lebih tinggi terdapat peningkatan gaya lateral statik ekuivalen yang sangat besar akibat adanya eksponensial k dalam perhitungan seperti nampak dalam persamaan 5. Nilai k sebesar 1 hingga 2 yang ditentukan berdasarkan periode fundamental struktur yang dipengaruhi oleh

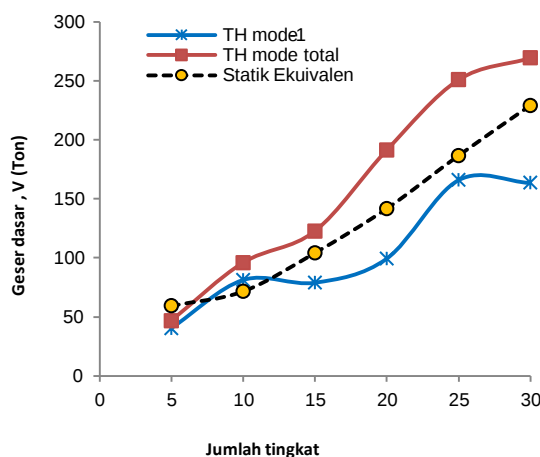
ketinggian. Semakin tinggi struktur, maka periode fundamental struktur akan semakin besar dan mengakibatkan nilai k juga semakin besar. Akibatnya gaya lateral tingkat statik ekuivalen akan semakin besar mengikuti fungsi eksponensial. Hal ini sesuai dengan prinsip statik ekuivalen yang hanya memperhitungkan *mode* ke 1 saja (Widodo, 2001).

Pola distribusi gaya lateral tingkat dinamik *time history* pada struktur bertingkat rendah (5 sampai 10 tingkat) akibat mode total hampir sama dengan akibat mode ke 1 saja. Semakin tinggi struktur maka pola akan semakin berbeda. Analisis ini menunjukkan bahwa kontribusi mode yang lebih tinggi (*higher mode*) akan semakin besar pada struktur bertingkat banyak.

Perbandingan Gaya Geser Dasar Statik Ekuivalen dan Dinamik Time History

Gaya geser dasar (V , ton) merupakan gaya lateral yang terjadi pada dasar bangunan, yang besarnya sudah ditunjukkan dalam Tabel 3 hingga Tabel 5. Apabila dibandingkan antara gaya geser dasar statik ekuivalen dengan dinamik *time history*, diperoleh Gambar 9.

Besar gaya geser dasar pada Gambar 9, menunjukkan bahwa gaya geser dasar statik ekuivalen nilainya kurang dari gaya geser dasar dinamik *time history* akibat mode total, kecuali pada struktur 5 tingkat. Namun jika dibandingkan dengan gaya geser dasar *time history* akibat mode ke 1 saja, maka gaya geser dasar statik ekuivalen cenderung lebih besar.



GAMBAR 9. Perbandingan gaya geser dasar statikekuivalen dan dinamik *time history* (Ton)

KESIMPULAN

Dengan memperhatikan perbandingan gaya lateral tingkat, pola distribusi gaya lateral tingkat dan gaya geser dasar, dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perhitungan pembebanan gempa statik ekuivalen pada struktur 5 tingkat dinilai akurat karena memberikan persyaratan yang lebih besar dalam perancangan struktur jika dibandingkan dengan pembebanan gempa dinamik *time history*.
2. Perhitungan pembebanan gempa statik ekuivalen pada struktur 10 tingkat atau lebih dinilai tidak akurat karena memberikan persyaratan yang lebih kecil dalam perancangan struktur jika dibandingkan dengan pembebanan gempa dinamik *time history*.

REKOMENDASI

Dengan melihat hasil penelitian ini, direkomendasikan bahwa perancangan struktur 10 tingkat atau lebih harus memperhitungkan pembebanan gempa dengan metode dinamik. Sedangkan analisis pembebanan gempa statik ekuivalen hanya dapat dilakukan dalam perancangan struktur kurang dari 10 tingkat.

SARAN

Model struktur yang digunakan dalam penelitian ini memiliki ketinggian 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 tingkat. Perubahan mendasar terjadi pada struktur 5 dan 10 tingkat, sebagaimana kesimpulan penelitian ini, namun tidak diketahui pada struktur berapa tingkat perubahan itu mulai terjadi, apakah pada struktur 6, 7, 8, atau 9 tingkat. Oleh karena itu pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan analisis serupa untuk struktur 5, 6, 7, 8, 9 dan 10 tingkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Chopra, AK. (2007). *Dynamics of Structure: theory and applications to earthquake engineering*, second edition. Prentice-Hall
- IITI-BMTCP. (TT) *What are The Seismic Effects on Structures*. Earthquake Tip-5.

Indian Institute of Technology Kanpur.
India

Kusumastuti (2010). *Pengaruh Tinggi Struktur dan Jumlah Bentang Terhadap Kontribusi Mode pada Struktur Beton Bertulang Bertingkat Banyak dengan Pendekatan Kekakuan Kolom Shear Building dan Cara Muto*, Tesis Magister Teknik Sipil UII. Yogyakarta.

Nasution, F dan Teruna, DR (2013). *Perbandingan analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik ragam spektrum respons pada struktur beraturan dan ketidakberaturan massa sesuai RSNI 03-1726-201X*.

Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa kegempaan*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.

SNI 1726-2002. (2002). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*, Departemen Kimpraswil PU, Bandung

SNI 1726:2012. (2012). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. Badan Standardisasi Nasional BSN, Jakarta.

Widodo. (2001). *Respon Dinamik Struktur Elastik*. UII Press. Yogyakarta

Widodo. (2013). *Assessmen Risiko Bencana Alam, ARBA*. Bahan Kuliah Magister Teknik Sipil UII. Belum dipublikasikan.

PENULIS:

Restu Faizah

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta, 55183.

Email: restufaizah06@gmail.com