

# EVALUASI BATASAN TINGGI MAKSIMUM BANGUNAN TINGKAT TINGGI BERATURAN UNTUK PENERAPAN METODE STATIK EKUIVALEN

Jusuf J. S. Pah ([yuserpbdaniel@yahoo.co.id](mailto:yuserpbdaniel@yahoo.co.id))  
*Dosen pada Jurusan Teknik Sipil FST Undana*  
 I Made Udiana ([made\\_udiana@yahoo.com](mailto:made_udiana@yahoo.com))  
*Dosen pada Jurusan Teknik Sipil FST Undana*  
 Deddy I. Matarohi ([deddymr17@gmail.com](mailto:deddymr17@gmail.com))  
*Penamat dari Jurusan Teknik Sipil FST Undana*

## ABSTRAK

Dalam penelitian ini dilakukan analisis atas model komputer spesimen struktur bangunan gedung tingkat tinggi menggunakan program komputer: ETABS 2013. Spesimen terbagi ke dalam dua kelompok, spesimen pada kelompok pertama menggunakan sistem rangka (spesimen 9F36) sedangkan pada kelompok kedua menggunakan sistem dinding geser (9SW36). Tinggi awal setiap spesimen adalah 36 m (9 tingkat). Atas setiap spesimen dilandakan 4 akselelogram gempa yaitu El-Centro, Kobe, Chi-Chi Taiwan dan Jepang; dan asesmen untuk mengetahui moda pergoyangan meraka dilakukan. Jika moda pergoyangan yang ditunjukkan adalah moda 1 maka satu tingkat (4 m) ditambahkan kepada spesimen dan akselelogram gempa-gempa dilandakan atasnya dengan cara yang sama seperti sebelumnya, sampai spesimen menunjukkan pergoyangan dalam moda yang lebih tinggi daripada moda 1. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa spesimen dengan sistem rangka beralih dari bergoyang dalam mode 1 ke mode 2 pada ketinggian 9 lantai (36 m) sedangkan spesimen dengan sistem dinding geser beralih dari bergoyang dalam mode 1 ke mode 2 pada ketinggian 15 lantai (60 m). Terbukti bahwa metoda statik ekivalen dapat diterapkan pada struktur bangunan tingkat tinggi dengan sistem dinding geser yang ketinggiannya melebihi 10 tingkat (40 m) sampai dengan ketinggian 14 tingkat (54 m). Dengan demikian kedalam butir 4.2.1 SNI 1726-2002 perlu integrasikan perbedaan sistem penahan lateral.

**Kata Kunci :** bangunan tingkat tinggi; moda pergoyangan; tinggi maksimum; analisis seismik

## ABSTRACT

*In this research seismic analysis upon specimens of high rise building structure was conducted using ETABS 2013. Specimens were divided into two group, one employed frame system (specimen 9F36) whereas the other employed shear wall systems (specimen 9SW36). Initial height of each specimen was 36 m (9 storeys). Upon each of the specimen was applied 4 groundshaking accelelograms of El Centro, Kobe, Chi-Chi Taiwan and Japan earthquakes, and assessment of its dominant mode of sway was conducted. At the evidence of non-mode 1, a storey of 4 m height was added, and ground -1 sway. Result of this research shows that specimen with frame system changed from swaying in mode 1 into mode 2 at 9 storey (36 m) height while that with shear wall system at 15 storey (60 m) height. It is evident that, static equivalent method can be applied upon high rise building structures with shear wall system which is higher than 10 storey (40 m) height up to 14 storey (54 m). Distinction of lateral resistant system therefore should be introduced into provision 4.2.1 of Indonesian standard for design of earthquake-resistant building-structure (SNI 1726-2002).*

**Keywords :** high-rise-building; maximum height; seismic analysis; sway mode

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Butir 4.2.1 SNI 1726-2002 memberikan batasan tinggi maksimum gedung untuk penerapan metode statik ekuivalen adalah 10 tingkat atau 40 m dan dikategorikan gedung beraturan. Ketentuan ini didasarkan pada teori bahwa struktur gedung seperti itu akan berdeformasi pada mode 1 ketika berespon terhadap gempa. Dengan demikian untuk struktur yang melebihi batasan tinggi tersebut akan berespon terhadap gempa dengan mode deformasi lebih dari mode 1 sehingga harus dianalisis dengan analisis dinamis. Penelitian ini mengasumsikan bahwa adanya dinding geser dapat menyeragamkan distribusi massa sepanjang tinggi bangunan dan kekakuan seluruh bentangnya akan cenderung untuk mencegah keseluruhan struktur bergoyang lebih dari 1 mode goyangan. Jika anggapan ini benar struktur tinggi dengan dinding geser akan bergoyang dalam mode-1 ketika berespon terhadap gempa, sehingga metode statik ekuivalen masih bisa diterapkan. Dengan demikian hal ini menjadi menarik untuk diteliti yaitu evaluasi batasan tinggi maksimum struktur gedung beraturan untuk penerapan metode statik ekuivalen pada SNI 1726-2002 butir 4.2.1.

## MATERI

### Penelitian Terdahulu

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan beberapa penelitian yang berkaitan dengan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini. Namun dari penelitian-penelitian tersebut belum ada yang menyimpulkan tentang Evaluasi Batasan Tinggi Maksimum Gedung Beraturan Untuk Penerapan Metode Statik Ekuivalen Pada SNI 1726-2002 Butir 4.2.1. Berbagai penelitian tersebut antara lain :

### Study Komparasi Antara Analisis Statis dan Dinamis 3D Pada Bangunan Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan

Dari hasil penelitian (Priastiwi, 2005) disimpulkan beberapa hal data sebagai berikut : Pada struktur bangunan gedung yang memenuhi syarat sebagai gedung beraturan dapat dianalisis dengan analisis statik ekuivalen maupun analisis dinamis, dikarenakan hasil yang diperoleh dari kedua analisis tersebut menunjukkan pola dan besaran yang hampir sama dengan angka keamanan analisis statik ekuivalen yang lebih tinggi dan Pada struktur gedung tidak beraturan dalam hal ketinggian struktur dengan ketinggian  $\geq 40$  meter dari taraf penjepitan lateral harus dianalisis dengan analisis dinamis, dikarenakan analisis dinamis lebih menggambarkan kondisi yang mendekati sebenarnya, karena pada nilai deformasi yang dihasilkan ternyata nilai yang dihasilkan dari analisis statik ekuivalen jauh lebih kecil dari nilai yang dihasilkan analisis dinamis, pembagian gaya geser tingkatpun untuk analisis statik ekuivalen menunjukkan pola yang jauh berbeda dari analisis dinamis dengan besaran yang jauh berbeda pula.

### Pengaruh Pemasangan Shearwall Terhadap Simpangan Horisontal Portal Baja Gedung Bertingkat Tinggi

Hasil penelitian (Aristyawan E, 2010) menunjukkan bahwa pemasangan dinding geser pada struktur gedung tingkat tinggi dapat meningkatkan kekakuan struktur dan juga Sebagai akibat bertambahnya kekakuan struktur, maka pemasangan dinding geser mampu mengurangi nilai simpangan horisontal. Penurunan nilai simpangan antar lantai pada arah x berkisar antara 79,41540% - 87,48125% dan pada arah y berkisar antara 96,76767% - 97,26494%. Ditinjau berdasarkan kapasitas balok-kolom, maka pemasangan dinding geser tidak mampu menaikkan kapasitas balok-kolom, tetapi mampu mereduksi beban-beban yang ada dengan merubah nilai

momen perlu menjadi lebih kecil. Hal ini membuat angka keamanannya meningkat seperti yang telah dibahas.

**Teori Dinamika Struktur**

Secara sederhana dinamik dapat diartikan sebagai variasi atau perubahan terhadap waktu dalam konteks gaya yang bekerja (eksitasi) pada struktur. Bebandinamis dapat berupa variasi besarannya (*magnitude*), arahnya (*direction*) atau posisinya (*point of application*) berubah terhadap waktu. Demikian pula respons struktur terhadap beban dinamik, yaitu lendutan dan tegangan yang dihasilkan juga perubahan-waktu, atau bersifat dinamik (Budio S. P, 2010 : 1).

Sistem struktur yang mengalami pembebanan dinamik memerlukan sejumlah koordinat bebas (*independent coordinates*) untuk menetapkan susunan atau posisi sistem yang berhubungan dengan jumlah derajat kebebasan (*degree of freedom*). Pada umumnya struktur menerus (*continous structure*) mempunyai jumlah derajat kebebasan tak berhingga. Model matematis untuk mengidealisasikan komponen-komponen sistem dengan tepat dapat mereduksi jumlah derajat kebebasan tunggal (*single Degrees of Freedom / SDOF*) atau berderajat kebebasan banyak (*Multi Degree of Freedom / MDOF*) (Priastiwi Y. A, 2005 : II-1).

**Prinsip Shear Building**

Suatu struktur bangunan bertingkat yang mengalami gaya horizontal akan mengalami goyangan. Umumnya terdapat tiga macam pola goyangan yang dapat terjadi, di mana pola tersebut dipengaruhi oleh kombinasi kelangsingan struktur, jenis struktur utama penahan beban, dan jenis beban yang dipakai. Misalnya, struktur bangunan dengan *core cantilever concrete wall* akan berbeda polanya dengan struktur *open moment resisting concrete frame*.

**Struktur dengan Derajat Kebebasan Tunggal (SDOF)**

Menurut Priastiwi, 2005 Struktur dengan derajat kebebasan tunggal (*Single Degree of Freedom / SDOF*) dapat dimodelkan sebagai komponen yang bekerja dalam sistem. Komponen yang berpengaruh penting dalam sistem yang mengalami beban dinamik adalah massa (m), kekakuan (k), redaman (c), dan gaya luar (p (t)). Dalam pemodelan diasumsikan komponen massa terkumpul pada satu titik (*lumped mass*), dan komponen kekakuan lateral tidak mempunyai massa. Dengan demikian dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$f_i(t) + f_D(t) + f_s(t) = p(t) \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan  $f_i$  adalah gaya inersia,  $t$  adalah waktu,  $f_D$  adalah gaya redaman,  $f_s$  adalah gaya pegas elastis dan  $p$  adalah beban luar.

**Struktur dengan Derajat Kebebasan Banyak (MDOF)**

Persamaan yang digunakan untuk memodelkan struktur dengan derajat kebebasan banyak (*Multi Degree of Freedom*) adalah sebagai berikut.

$$[m]\{\ddot{v}\} + [c]\{\dot{v}\} + [k]\{v\} = \{p(t)\} \dots\dots\dots (2.2)$$

$[m]$ ,  $[c]$ , dan  $[k]$  masing-masing adalah matriks massa, matriks redaman, dan matriks kekakuan, sedangkan  $\{\ddot{v}\}$ ,  $\{\dot{v}\}$ , dan  $\{v\}$  adalah vektor percepatan, vektor kecepatan dan vektor simpangan, dan  $t$  adalah waktu.

**Metode Analisis Ragam (Modal Analysis)**

Metode analisis modal mendefinisikan bahwa simpangan struktur yang terjadi adalah merupakan penjumlahan dari simpangan untuk masing-masing ragam getarnya.

1. Getaran bebas dengan redaman

Dengan mengetahui ragam getar struktur  $\Phi$  dan adanya hubungan ortogonal maka persamaan orthogonalnya sebagai berikut :

$$\{v\} = [\Phi]\{Y\} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan  $\{v\}$  adalah simpangan  $[\Phi]$  adalah vektor eigen ragam getar dan  $\{Y\}$  adalah amplitudo.

2. Getaran paksa dengan redaman

Untuk sistem dinamik dengan getaran paksa tanpa redaman, maka persamaan dinamik akan menjadi :

$$[m]\{\ddot{v}\} + [k]\{v\} = \{p(t)\} \dots \dots \dots (2.4)$$

$[m]$ , dan  $[k]$  masing-masing adalah matriks massadan matriks kekakuan sedangkan  $\{\ddot{v}\}$  dan  $\{v\}$  vektor percepatan dan vektor simpangan.

Dan untuk persamaan akhirnya adalah sebagai berikut :

$$\{v\} = \{\Phi^{(1)}\}y_1 + \{\Phi^{(2)}\}y_2 + \dots + \{\Phi^{(n)}\}y_n \dots \dots \dots (2.4)$$

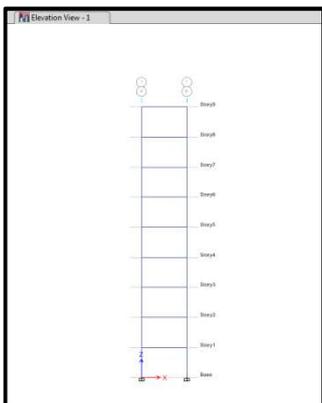
3. Getaran paksa tanpa redaman

Persamaan untuk getaran paksa dengan redaman adalah sebagai berikut :

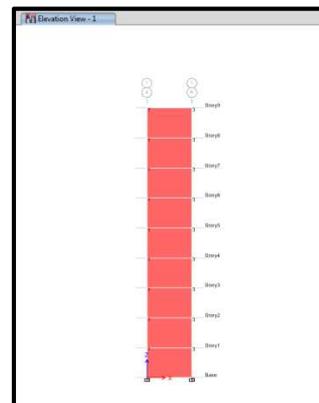
$$[m]\{\ddot{v}\} + [c]\{\dot{v}\} + [k]\{v\} = \{p(t)\} \dots \dots \dots (2.1)$$

**METODE PENELITIAN**

Dalam penelitian ini akan dimodelkan 2 model struktur yaitu struktur portal tanpa dinding geser dan struktur portal dengan dinding geser dengan tinggi tiap lantai 4 m. Kedua model struktur tersebut akan diberikan beban mati, beban hidup, dan beban gempa berdasarkan 4 rekaman gempa. *Preleminary design* tinggi struktur adalah 36 m (9 tingkat) dengan nama spesimen 9F36 untuk sistem portal dan 9SW36 untuk sistem dinding geser. Penamaan spesimen berdasarkan jumlah tingkat untuk *preleminary design* 9 tingkat, kemudian sistem struktur portal dengan kode F (*frame*) sedangkan untuk sistem dinding geser dengan kode SW (*shear wall*) dan tingginya struktur adalah 36 m dengan tinggi tiap lantai adalah 4 m. Tinggi kedua model tersebut akan ditambah 8 m (2 tingkat) apabila masih bergoyang dalam mode 1 ketika berespon terhadap beban yang diberikan. Analisis akan berhenti ketika spesimen sudah mengalami deformasi dominan mode . Pada Gambar 3.1a ditampilkan modelisasi untuk *preleminary design* dari sistem struktur portal sedangkan Gambar 3.1b ditampilkan gambar modelisasi untuk *preleminary design* dari sistem struktur dinding geser.



a. 9F36



b. 9SW36

Gambar 1. *Spesimen Penelitian*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Tinjauan Umum Analisis

Tujuan analisis ini merujuk pada tujuan penelitian ini yaitu :

1. Untuk mengetahui tinggi maksimum gedung tinggi berdeformasi dalam mode 1 ketika merespon terhadap gempa.
2. Untuk mengetahui tinggi maksimum dinding geser mampu memastikan deformasi mode 1 struktur gedung tinggi tidak beraturan ketika merespon terhadap gempa.

### Parameter-Parameter Analisis Program

Parameter-parameter analisis program adalah sebagai berikut.

1. Data material struktur

Data material struktur yang digunakan dalam penelitian ditampilkan dalam tabel berikut.

Tabel 1. Data Material Struktur

No	Material	Mutu Bahan	Modulus Elastisitas (MPa)
1	Beton	$f_c' = 35$ MPa	27805.57
2	Baja Tulangan	$f_y = 360$ MPa	200000

2. Data komponen struktur

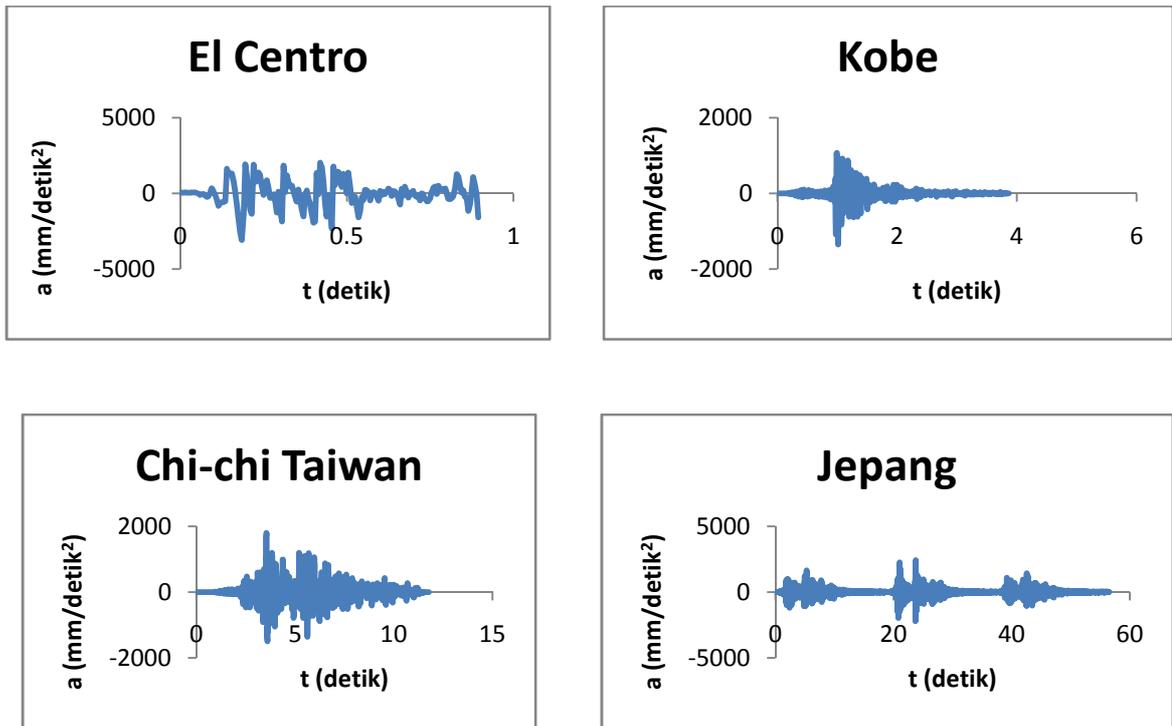
Data komponen struktur yang digunakan dalam penelitian ditampilkan dalam tabel berikut.

Tabel2. Data Komponen Struktur

No	Komponen Struktur	Dimensi		
		Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Tebal (mm)
1	Kolom	600	600	-
2	Balok	300	500	-
3	Pelat	-	-	150
4	Dinding Geser	-	-	200

3. Data beban

Beban yang digunakan untuk analisis program yaitu beban mati, beban hidup dan beban gempa, untuk beban mati dan beban hidup disesuaikan dengan PPIURG 1989 sedangkan beban gempa yang digunakan adalah akselerogram riwayat waktu, gempa El centro, gempa Kobe, gempa Chi-chi Taiwan, dan gempa Jepang. Kombinasi pembebanan yang digunakan yaitu 1.2D+L+E.



Gambar 2. Akselerogram Gempa

4. Kekakuan struktur

Nilai persentase efektifitas penampang terhadap reduksi kekakuan yang digunakan adalah Portal (rangka terbuka) sebesar 75 % dan Dinding Geser sebesar 60 %.

**Hasil Analisis**

**Spesimen dengan Sistem Portal**

Partisipasi Massa

Rasio modal partisipasi massa dan perbandingan dominasi dalam translasi dan rotasi untuk spesimen dengan Sistem Portal ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 3. Rasio Modal Partisipasi Massa Spesimen Sistem Struktur Portal

Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
1	2.451	78.12%	0	0	78.12%	0	0	0	23.79%	45.52%	0	23.79%	45.52%
2	0.759	11.35%	0	0	89.47%	0	0	0	49.17%	34.25%	0	72.95%	79.77%
3	0.403	4.26%	0	0	93.73%	0	0	0	7.93%	0.01%	0	80.89%	79.78%
4	0.257	2.46%	0	0	96.19%	0	0	0	8.16%	13.13%	0	89.05%	92.91%
5	0.178	1.58%	0	0	97.76%	0	0	0	4.08%	0.13%	0	93.13%	93.04%
6	0.132	1.06%	0	0	98.83%	0	0	0	3.37%	5.49%	0	96.50%	98.53%
7	0.104	0.69%	0	0	99.51%	0	0	0	1.98%	0.00%	0	98.48%	98.54%
8	0.087	0.37%	0	0	99.89%	0	0	0	1.18%	1.46%	0	99.66%	99.99%
9	0.078	0.11%	0	0	100%	0	0	0	0.34%	0.01%	0	100%	100%

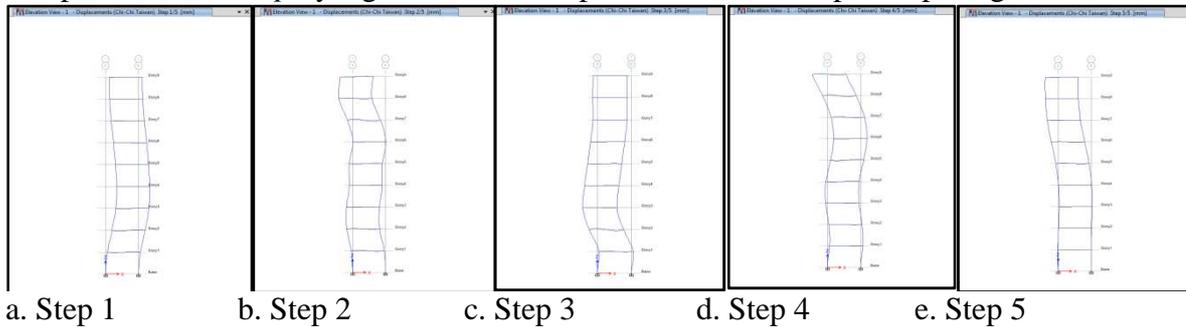
*Mode Shape*

Berdasarkan analisis dinamis dengan Program ETABS 2013 didapatkan hasil dimana spesimen 9F36 yang dilandakan akselerogram Gempa Chi-chi Taiwan dan peninjauan terhadap 5 time step menunjukkan deformasi atau *mode shape* yang dominan pada mode 2, sehingga untuk analisa terhadap spesimen dengan sistem portal hanya pada spesimen dengan ketinggian 9 tingkat atau

36 m. Berikut ini merupakan penguraian hasil analisis dinamis berdasarkan akselerogram gempa yang memberikan deformasi yang lebih dominan pada mode 2.

1. Gempa Chi-chi Taiwan

Mode shape yang terjadi pada spesimen 9F36 yang dilandakan gempa Ch-chi Taiwan didapatkan mode shape yang lebih dominan pada mode 2, ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 3. Mode Shape Spesimen 9F36 Gempa Chi-chi Taiwan

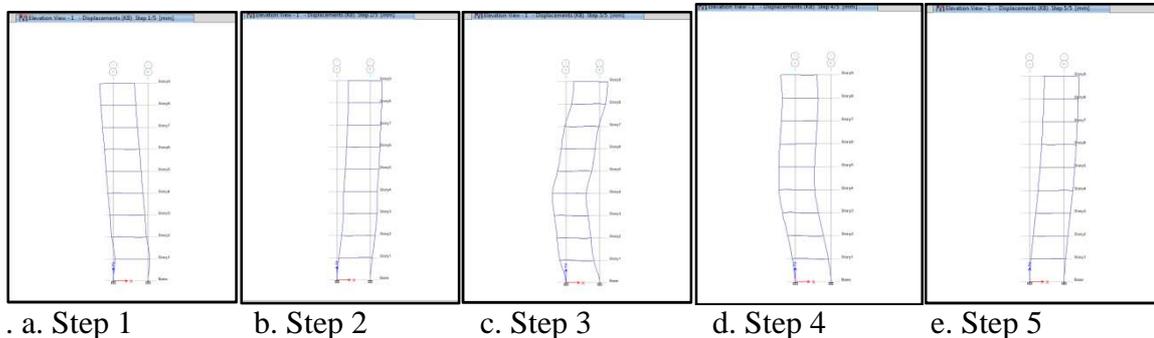
Selanjutnya nilai simpangan maksimum ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 4. Maximum Displacement 9F36 Chi-chi Taiwan

Lantai	Elevasi m	X-Dir mm
Lantai 9	36	7.85
Lantai 8	32	7.76
Lantai 7	28	6.51
Lantai 6	24	4.05
Lantai 5	20	1.35
Lantai 4	16	0.55
Lantai 3	12	0.61
Lantai 2	8	0.28
Lantai 1	4	0.11
Base	0	0

2. Gempa Kobe

Mode shape yang terjadi pada spesimen 9F36 yang dilandakan gempa Kobe didapatkan mode shape yang lebih dominan pada mode 1, ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 4. Mode Shape Spesimen 9F36 Gempa Kobe

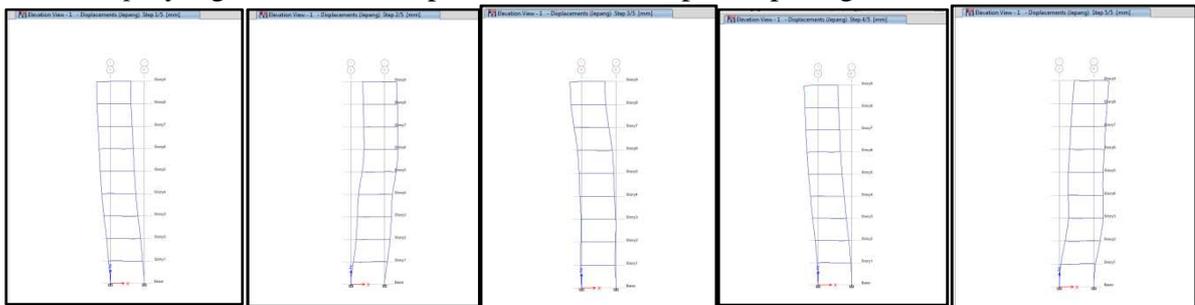
Selanjutnya nilai simpangan maksimum ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 5. *Maximum Displacement* 9F36 Kobe

Lantai	Elevasi m	X-Dir mm
Lantai 9	36	0.427
Lantai 8	32	0.409
Lantai 7	28	0.384
Lantai 6	24	0.349
Lantai 5	20	0.303
Lantai 4	16	0.247
Lantai 3	12	0.179
Lantai 2	8	0.106
Lantai 1	4	0.038
Base	0	0

3. Gempa Jepang

Mode shape yang terjadi pada spesimen 9F36 yang dilandakan gempa Jepang didapatkan *mode shape* yang lebih dominan pada mode 1, ditampilkan pada gambar berikut.



a. Step 1                      b. Step 2                      c. Step 3                      d. Step 4                      e. Step 5

Gambar 5. *Mode Shape Spesimen 9F36 Gempa Jepang*

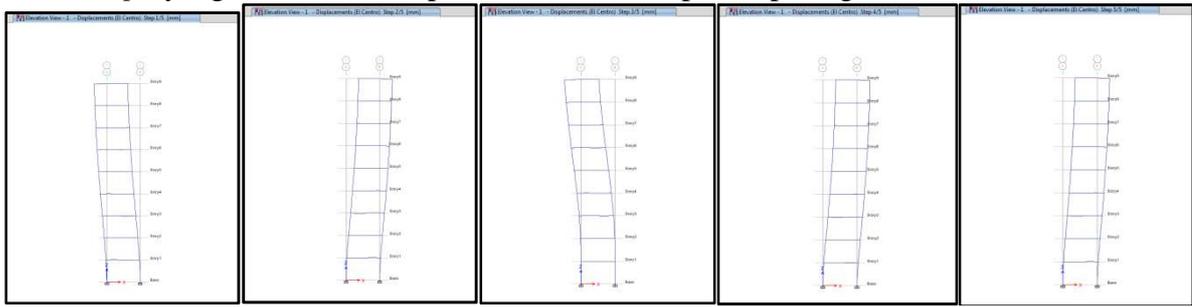
Selanjutnya nilai simpangan maksimum ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 6. *Maximum Displacement* 9F36 Jepang

Lantai	Elevasi m	X-Dir mm
Lantai 9	36	4.335
Lantai 8	32	3.825
Lantai 7	28	3.370
Lantai 6	24	3.002
Lantai 5	20	2.622
Lantai 4	16	2.604
Lantai 3	12	2.647
Lantai 2	8	1.746
Lantai 1	4	0.475
Base	0	0

4. Gempa El Centro

Mode shape yang terjadi pada spesimen 9F36 yang dilandakan gempa Jepang didapatkan *mode shape* yang lebih dominan pada mode 1, ditampilkan pada gambar berikut.



a. Step 1      b. Step 2      c. Step 3      d. Step 4      e. Step 5

Gambar 6. *Mode Shape Spesimen 9F36 Gempa El Centro*

Selanjutnya nilai simpangan maksimum ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 7. *Maximum Displacement 9F36 El Centro*

Lantai	Elevasi m	X-Dir mm
Lantai 9	36	1122.4
Lantai 8	32	1063.4
Lantai 7	28	980.6
Lantai 6	24	872.2
Lantai 5	20	739.8
Lantai 4	16	586.8
Lantai 3	12	418.5
Lantai 2	8	244.1
Lantai 1	4	84.7
Base	0	0

**Spesimen dengan Sistem Dinding Geser**

Partisipasi Massa

Rasio modal partisipasi massa dan perbandingan dominasi dalam translasi dan rotasi untuk spesimen dengan Sistem Dinding Geser ditampilkan pada tabel berikut

Tabel 8. Rasio Modal Partisipasi Massa Sistem Struktur Dinding Geser

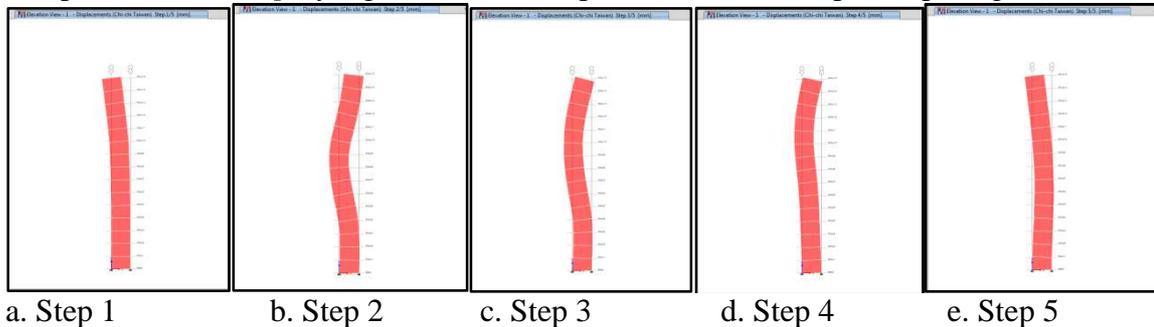
Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
1	3.544	63.47%	0	0.00%	63.47%	0	0	0	38.11%	39.31%	0	38.11%	39.31%
2	0.577	19.76%	0	0.00%	83.23%	0	0	0	23.28%	38.10%	0	61.39%	77.40%
3	0.212	6.89%	0	0.00%	90.13%	0	0	0	13.18%	4.10%	0	74.57%	81.50%
4	0.113	3.57%	0	0.00%	93.69%	0	0	0	8.22%	5.09%	0	82.79%	86.59%
5	0.072	2.15%	0	0.00%	95.84%	0	0	0	5.47%	2.79%	0	88.26%	89.38%
6	0.051	1.40%	0	0.00%	97.25%	0	0	0	3.78%	1.07%	0	92.04%	90.45%
7	0.039	0.95%	0	0.00%	98.20%	0	0	0	2.66%	1.41%	0	94.70%	91.86%
8	0.031	0.65%	0	0.00%	98.85%	0	0	0	1.87%	0.94%	0	96.58%	92.79%
9	0.026	0.44%	0	0.00%	99.29%	0	0	0	1.31%	0.06%	0	97.88%	92.86%
10	0.023	0.30%	0	0.00%	99.59%	0	0	0	0.89%	1.97%	0	98.77%	94.83%
11	0.02	0.19%	0	0.00%	99.79%	0	0	0	0.58%	0.41%	0	99.35%	95.24%
12	0.019	0.12%	0	0.00%	99.90%	0	0	0	0.35%	2.57%	0	99.70%	97.81%
13	0.018	0.06%	0	0.00%	99.97%	0	0	0	0.19%	0.82%	0	99.90%	98.63%
14	0.017	0.03%	0	0.00%	99.99%	0	0	0	0.08%	1.20%	0	99.98%	99.83%
15	0.016	0.01%	0	0.00%	100.00%	0	0	0	0.02%	0.17%	0	100.00%	100.00%

Mode Shape

Berdasarkan analisis dinamis dengan Program ETABS 2013 didapatkan hasil dimana spesimen dengan sistem dinding geser berdeformasi atau *mode shape* dominan dalam mode 2 pada spesimen 15SW60, sehingga untuk analisa terhadap spesimen dengan sistem dinding geser berhenti pada spesimen dengan ketinggian 15 tingkat atau 60 m. Berikut ini merupakan penguraian hasil analisis dinamis berdasarkan akselerogram gempa yang memberikan deformasi yang paling dominan dalam mode 2

1. Gempa Chi-chi Taiwan

*Mode shape* yang terjadi pada spesimen 15SW60 yang dilandakan gempa Ch-chi Taiwan didapatkan *mode shape* yang lebih dominan pada mode 2, ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 7. Mode Shape Spesimen 15SW60 Gempa Chi-chi Taiwan

Simpangan maksimum yang terjadi akibat akselerogram Gempa Chi-chi Taiwan ditampilkan dalam tabel berikut.

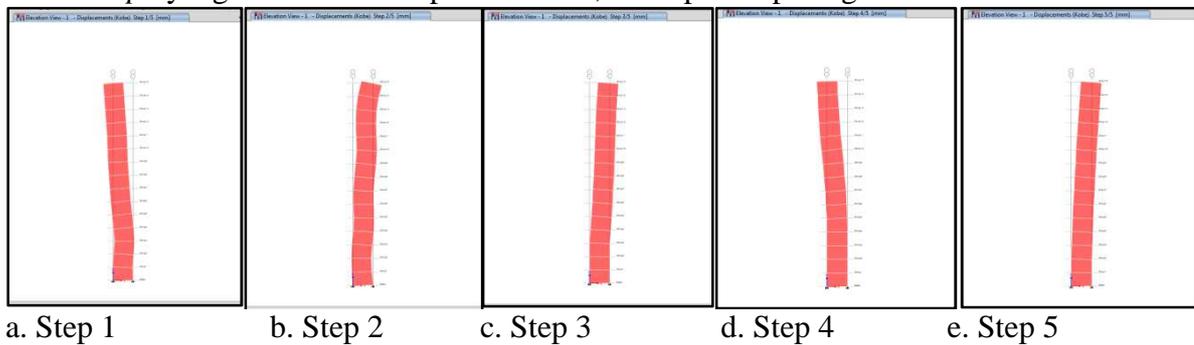
Tabel 9. Maximum Displacement 15SW60 Chi-chi Taiwan

Lantai	Elevasi m	X-Dir mm
Lantai 15	60	11.59
Lantai 14	56	9.11
Lantai 13	52	6.65
Lantai 12	48	4.27
Lantai 11	44	2.06
Lantai 10	40	1.17
Lantai 9	36	1.03

Lantai	Elevasi m	X-Dir mm
Lantai 8	32	0.82
Lantai 7	28	0.61
Lantai 6	24	0.45
Lantai 5	20	0.34
Lantai 4	16	0.27
Lantai 3	12	0.21
Lantai 2	8	0.14
Lantai 1	4	0.05
Base	0	0

2. Gempa Kobe

Mode shape yang terjadi pada spesimen 15SW60 yang dilandakan gempa Kobedidapatkan mode shape yang lebih dominan pada mode 1, ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 8. Mode Shape Spesimen 15SW60 Gempa Kobe

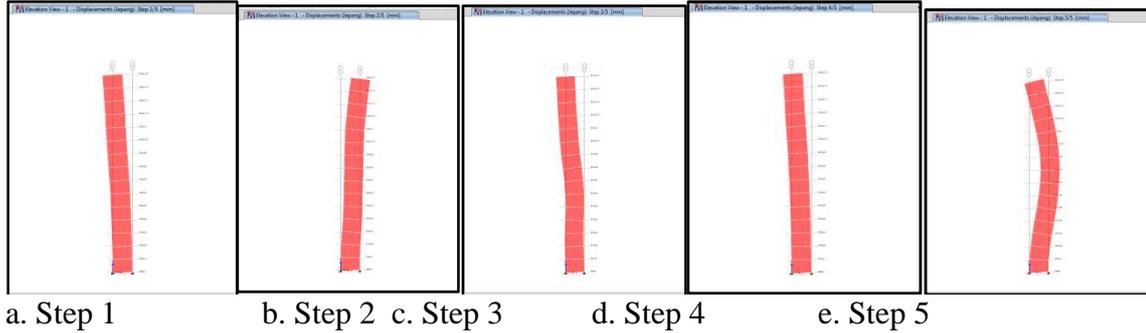
Simpangan maksimum yang terjadi akibat akselerogram Gempa Kobe ditampilkan dalam tabel berikut.

Tabel 10. Maximum Displacement 15SW60 Kobe

Lantai	Elevasi m	X-Dir mm
Lantai 15	60	0.309
Lantai 14	56	0.279
Lantai 13	52	0.249
Lantai 12	48	0.220
Lantai 11	44	0.192
Lantai 10	40	0.164
Lantai 9	36	0.144
Lantai 8	32	0.127
Lantai 7	28	0.105
Lantai 6	24	0.080
Lantai 5	20	0.053
Lantai 4	16	0.033
Lantai 3	12	0.038
Lantai 2	8	0.011
Lantai 1	4	0.002
Base	0	0

3. Gempa Jepang

Mode shape yang terjadi pada spesimen 15SW60 yang dilandakan gempa Jepang didapatkan mode shape yang lebih dominan pada mode 1, ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 9. Mode Shape Spesimen 15SW60 Gempa Jepang

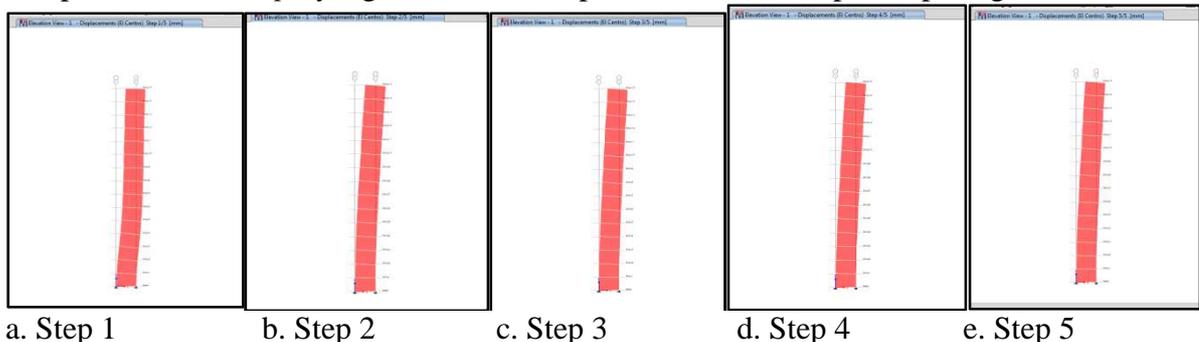
Simpangan maksimum yang terjadi akibat akselerogram Gempa Jepang ditampilkan dalam tabel berikut.

Tabel 11. Maximum Displacement 15SW60 Jepang

Story	Elevasi m	X-Dir mm
Lantai 15	60	6.717
Lantai 14	56	6.034
Lantai 13	52	5.355
Lantai 12	48	4.683
Lantai 11	44	4.027
Lantai 10	40	3.395
Lantai 9	36	2.797
Lantai 8	32	2.235
Lantai 7	28	1.718
Lantai 6	24	1.261
Lantai 5	20	0.876
Lantai 4	16	0.566
Lantai 3	12	0.325
Lantai 2	8	0.151
Lantai 1	4	0.042
Base	0	0.000

4. Gempa El Centro

Mode shape yang terjadi pada spesimen 15SW60 yang dilandakan gempa El Centro didapatkan mode shape yang lebih dominan pada mode 1, ditampilkan pada gambar berikut



Gambar 10. *Mode Shape Spesimen 15SW60 Gempa El Centro*

Simpangan maksimum yang terjadi akibat akselerogram Gempa El Centro ditampilkan dalam tabel berikut.

Tabel 12. *Maximum Displacement 15SW60 El Centro*

Lantai	Elevation m	X-Dir mm
Lantai 15	60	1291.3
Lantai 14	56	1175.2
Lantai 13	52	1059.3
Lantai 12	48	943.9
Lantai 11	44	829.6
Lantai 10	40	717.2
Lantai 9	36	607.7
Lantai 8	32	502.2
Lantai 7	28	402.1
Lantai 6	24	309
Lantai 5	20	224.4
Lantai 4	16	150.3
Lantai 3	12	88.6
Lantai 2	8	41.5
Lantai 1	4	11.2
Base	0	0

**Pembahasan**

**Perbandingan Hasil Analisis Sistem Portal Vs Sistem Dinding Geser**

Berdasarkan analisis struktur yang dilakukan terhadap 2 jenis spesimen yang berbeda sistem struktur yaitu Sistem Portal dan Sistem Dinding Geser didapatkan hasil dimana spesimen dengan sistem portal pada ketinggian 9 tingkat atau 36 m telah mengalami deformasi yang dominan dalam mode 2, sedangkan untuk spesimen dengan sistem dinding geser mengalami mode 2 ketika ketinggian 15 tingkat atau 60 m.

Pada Tabel 4.21 berikut ini ditampilkan tinggi maksimum spesimen sudah mengalami mode 2 akibat akselerogram gempa Chi-chi Taiwan. Untuk spesimen yang dilandakan akselerogram gempa yang lain tidak ditampilkan karena hanya ditinjau spesimen yang terlebih dahulu mengalami mode 2 atau memiliki tinggi paling minimum mengalami mode 2.

Tabel 13. *Mode Dominan Akibat Akselerogram Chi-chi Taiwan*

Spesimen	Sistem	Tinggi (m)	Mode Dominan
9F36	Portal	36	Mode 2
9SW36	Dinding Geser	36	Mode 1
11SW44	Dinding Geser	44	Mode 1
13SW52	Dinding Geser	52	Mode 1
15SW60	Dinding Geser	60	Mode 2

Berdasarkan tabel tersebut terlihat bahwa Pasal 4.2.1 SNI 1726-2002 tidak berlaku untuk Sistem Struktur Dinding Geser. Karena pasal tersebut menyiratkan bahwa bangunan dengan tinggi

maksimal 10 tingkat atau 40 m harus ditinjau sebagai pengaruh beban gempa statik ekuivalen, dengan dasar teori bangunan dengan tinggi melebihi 10 tingkat atau 40 akan bergoyang lebih dari mode 1, sedangkan hasil yang terlihat pada tabel tersebut menunjukkan bahwa spesimen dengan Sistem Dinding Geser masih mampu berdeformasi dalam mode 1 meskipun memiliki jumlah tingkat yang melebihi 10 tingkat.

### **Rekomendasi Pasal 4.2.1 SNI 1726-2002**

Setelah dilakukan penelitian dengan melakukan analisis program diperoleh hasil yang sesuai dengan hipotesis awal yaitu adanya dinding geser sepanjang bentang struktur akan menyeragamkan distribusi massa dan kekakuan seluruh bentangnya (tinggi bangunan), dan cenderung untuk mencegah keseluruhan struktur berdeformasi lebih dari 1 mode deformasi, bahkan pada bentang yang tingginya melebihi 40 atau jumlah lantai melebihi 10 tingkat. Oleh karena itu metode statik masih bisa diterapkan pada bangunan dengan Sistem Dinding Geser yang memiliki tinggi melebihi 10 tingkat atau 40 m yang disyaratkan SNI 1726-2002, sedangkan hasil yang diperoleh untuk bangunan dengan Sistem Portal menunjukkan sistem portal telah berdeformasi dominan dalam mode 2 pada ketinggian 9 tingkat atau 36 m. Ketinggian tersebut masih dibawah batasan tinggi maksimum gedung untuk penerapan metode statik ekuivalen, hal tersebut dikarenakan pemodelan untuk spesimen dengan sistem portal merupakan gedung langsing sehingga lebih cepat berdeformasi dalam mode 2.

## **PENUTUP**

### **Kesimpulan**

Berdasarkan analisa program dan pembahasan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Analisis dinamis pada pemodelan spesimen dengan Sistem Portal dan peninjauan dikhususkan pada subsistem penahan lateral didapat tinggi struktur yang telah berdeformasi dalam mode 2 ketika berespon terhadap beban gempa adalah 9 tingkat atau 36 m, dengan kata lain tinggi tersebut lebih rendah dibanding tinggi yang disyaratkan pada SNI 1726-2002. Hal tersebut dikarenakan pemodelan spesimen merupakan struktur langsing sehingga struktur lebih cepat berdeformasi dalam mode 2. Akselerogram gempa yang lebih cepat memberi respon struktur portal bergoyang lebih dari mode 1 adalah akselerogram Gempa Chi-chi Taiwan. Oleh karena itu untuk Sistem Portal analisis Statik Ekuivalen hanya berlaku pada bangunan dengan tinggi 10 tingkat atau 40 m.
2. Analisis dinamis pada pemodelan spesimen dengan Sistem Dinding Geser pada dan peninjauan dikhususkan pada subsistem penahan lateral didapatkan hasil di mana struktur masih berdeformasi dalam mode 1 meskipun tinggi struktur telah melebihi 10 tingkat atau 40 m. Analisis tersebut didapatkan struktur mengalami deformasi yang dominan pada ketinggian 15 tingkat atau 60 m. Berdasarkan hasil tersebut, maka untuk struktur dengan Sistem Dinding Geser masih dapat dianalisa dengan metode statik ekuivalen meskipun memiliki tinggi melebihi 10 tingkat atau 40 m, atau dengan kata lain Butir 4.2.1 SNI 1726-2002 tidak berlaku untuk bangunan dengan sistem Dinding Geser.

### **Saran**

Berdasarkan hasil dari analisis program dalam penelitian maka untuk dipelajari lagi pada penelitian lanjutan maka diberikan saran sebagai berikut :

1. Dalam analisis gempa untuk mengetahui mode goyangan struktur perlu dicoba dengan pemodelan spesimen dengan sistem struktur interaksi portal dengan dinding geser agar dapat diketahui tinggi maksimum struktur bergoyang dalam mode 1.

2. Dalam analisis gempa untuk mengetahui mode goyangan struktur perlu dicoba dengan pemodelan spesimen yang tidak simetris, karena bangunan yang tidak simetris bisa terjadi torsi akibat eksentrisitas pusat massa terhadap pusat kekakuan.
3. Perlu juga dilakukan analisis gempa riwayat waktu dengan akselerogram yang dapat merepresentasi gempa yang terjadi di Indonesia.
4. Perlu juga dilakukan analisis yang berkaitan dengan tinggi maksimum struktur berdeformasi dalam mode 1 dengan analisis dinamis respon spektrum.

### **Daftar Pustaka**

- Aristiyawan, E. 2010. Pengaruh Pemasangan Shearwall Terhadap Simpangan Horizontal Portal Baja Gedung Bertingkat Tinggi, FT USM, Surakarta.
- Budio, S. 2010. Buku Ajar Dinamika, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- Computer and Structure Inc, 2013. Welcome to ETABS 2013 Integrated Building Design Software, CSI, Berkeley.
- Chopra A. K., 1995. Dinamik of Structures : Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1983. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2002. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI-1726-2002), Bandung.
- Iswandi, I. dkk. 2008. Aplikasi Metoda Desain Kapasitas pada Perancangan Struktur Dinding Geser Beton Bertulang, Materi Seminar HAKI 2008 : Pengaruh Gempa dan Angin Terhadap Struktur.
- Manalip, H. dkk. 2014. Analisis Pushover Pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium, Jurnal Sipil Statik Vol. 2 No. 4, FT USR, Manado.
- Park R., Paulay, R. 1974. Reinforce Concrete Struktur, John Wiley & Sons, Toronto.
- Priastiw, Y. A. 2005. Studi Komparasi Antara Analisis Statis dan Dinamis 3D pada Bangunan Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan, UNDIP, Semarang.
- Standar Nasional Indonesia. 2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002), Bandung.
- Wibowo, A. 2011. Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Banyak Tidak Beraturan Dengan Analisis Dinamik Menggunakan Metode Analisis Riwayat Waktu, FT USM, Surakarta.

