

ANALISIS KINERJA STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN VARIASI PENEMPATAN *BRACING INVERTED V*

Julita Andrini Repadi¹, Jati Sunaryati², dan Rendy Thamrin³

ABSTRAK

Pada studi ini dilakukan analisis terhadap kinerja struktur beton bertulang 4 lantai dengan variasi penempatan bracing *inverted V*. Analisis dilakukan dengan perangkat lunak ETABS V9.7.1 Hasil analisisnya akan dibandingkan struktur beton bertulang tanpa bracing dengan struktur beton bertulang yang diberi variasi penempatan bracing. Melalui studi ini dilakukan analisis perbandingan *displacement*, daktilitas, dan kinerja struktur pada bangunan beton bertulang 4 lantai. Berdasarkan hasil analisis dapat diambil kesimpulan bahwa perkuatan dengan bracing mampu mengurangi nilai *displacement*, dan daktilitas struktur beton bertulang. Penurunan bracing mengurangi periode struktur bangunan, pengurangan nilai *displacement* pada arah X sebesar 1.328%-42.013%, arah Y sebesar 10.00% -39.394%. Nilai daktilitas struktur mengalami peningkatan dibandingkan dengan gedung tanpa perkuatan bracing. Taraf kinerja struktur bangunan aman. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan bracing dapat meningkatkan kekakuan, kekuatan dan stabilitas struktur.

Kata kunci : struktur beton bertulang, kinerja, daktilitas.

1. PENDAHULUAN

Salah satu alternatif yang diusulkan untuk meramalkan kinerja pada saat gempa besar adalah menggunakan analisis statis nonlinier yang diberi nama Analisis Beban Dorong Statik (*Static Pushover Analysis*), dimana analisisnya lebih sederhana dan mampu menggambarkan perilaku inelastis setiap komponen struktur.

Dengan menggunakan metode *pushover* analisis akan diperoleh perilaku struktur secara keseluruhan, dari elastis, leleh dan akhirnya runtuh, yaitu dengan cara struktur didorong secara bertahap dengan menaikkan faktor pengali sampai struktur tersebut leleh dan berdeformasi inelastis. Analisa menghasilkan kurva *pushover* atau kurva kapasitas yang menggambarkan hubungan antara gaya geser (*V*) dengan perpindahan titik acuan pada atap (*D*). Untuk menghindari terjadinya keruntuhan bangunan, panjang bentang diperkecil dengan cara memasang pengaku (*bracing*) pada arah sumbu lemah kolom. Batang pengaku (*bracing*) merupakan salah satu komponen struktur yang berfungsi untuk menambah kekuatan dan kekakuan struktur sehingga secara efektif dapat mengurangi simpangan pada suatu bangunan. Penggunaan *bracing* dapat mengurangi waktu getar alami struktur. Massa bangunan dan kekakuan akan berpengaruh pada waktu getar alami. Hal ini disebabkan karena massa bangunan akan bertambah besar karena adanya *bracing*, jarak antar balok atau kolom menjadi

¹ Mahasiswa Pasca Sarjana Teknik Sipil Universitas Andalas, julitaandrinirepadi@gmail.com

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas, jati@ft.unand.ac.id

³ Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas, rendy@ft.unand.ac.id

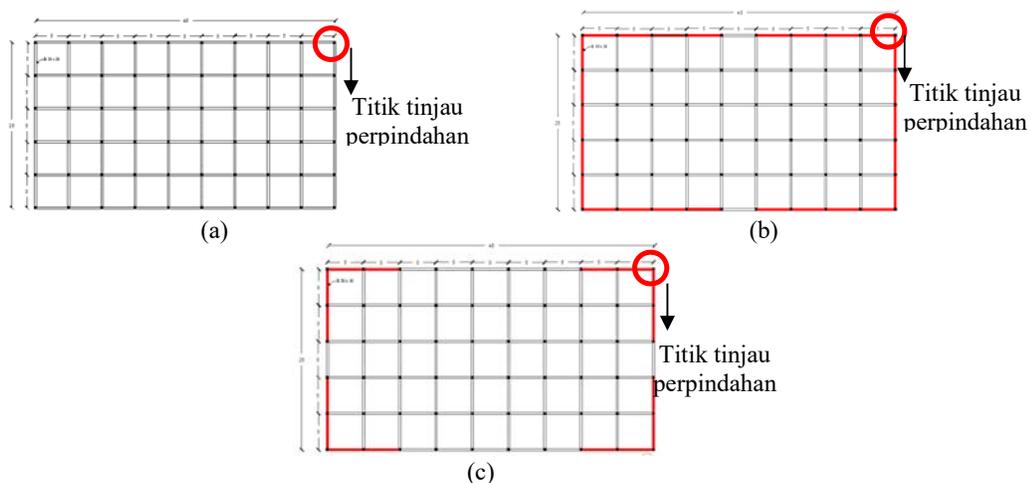
lebih kecil sehingga kekakuannya menjadi lebih besar ini akan menyebabkan waktu getar alami struktur menggunakan *bracing* akan berkurang di bandingkan struktur tanpa menggunakan *bracing*.

2. BRACING

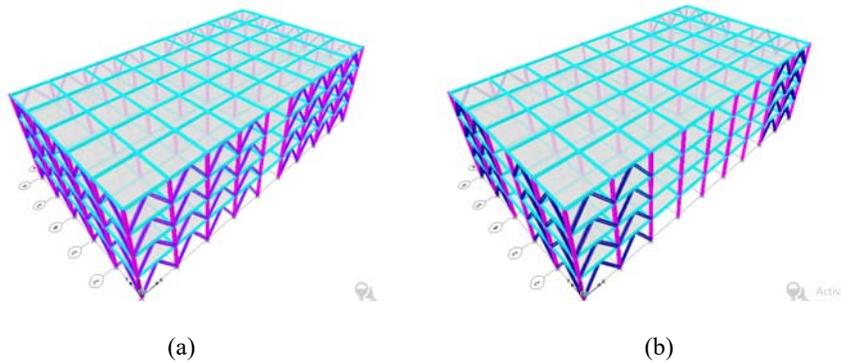
Bracing adalah metode pengaku struktur bangunan yang berfungsi menambah kekakuan bangunan, menahan beban lateral, menambah daktilitas dan kekuatan serta mampu meredam energi yang di akibatkan getaran-getaran. *Bracing* terbagi menjadi 2 macam yaitu *Bracing Vertikal Eksentrik (Eccentrically Braced Frame)*, dimana masing-masing *bracing* akan terhubung dengan balok dan *Bracing Vertikal Konsentrik (Concentrically Braced Frame)* dimana sumbu utamanya bertemu atau saling memotong dalam satu titik Struktur *Bracing*. Struktur *Bracing Inverted V* merupakan salah satu jenis dari *Bracing Vertikal Konsentrik*, kedua batang diagonal akan sama-sama menahan beban horizontal. Beban gravitasi juga mengakibatkan gaya aksial *bracing inverted V*. Ketika *bracing* ini menahan balok pada tungan bentang, akan mengurangi bentang balok efektif dan kapasitas momen yang terjadi. Kerugian *bracing inverted V* yaitu memiliki bentang yang lebih panjang bila dibandingkan dengan *bracing* diagonal, *bracing* juga harus menahan beban gravitasi. Keuntungan *bracing inverted V* yaitu kedua batang sama-sama memikul beban horizontal, Secara arsitektural memungkinkan adanya pintu, jendela atau bagian terbuka ditengah bentang, dapat mengurangi profil dimensi balok sehingga secara ekonomi lebih menguntungkan.

3. PERMODELAN STRUKTUR

Bentuk bangunan simetris dengan deskripsi sebagai berikut : Lokasi bangunan : Kota Padang, Jenis tanah : Lunak, Jenis Struktur : Beton Bertulang, Mutu Beton : 30 MPa, Mutu Baja Tulangan : 400 MPa, Fungsi bangunan : perkantoran, Jumlah lantai : 4 lantai, Tinggi lantai 1 : 4 meter, tinggi lantai 2,3, dan 4 : 3.5 meter, Tinggi total : 14,5 meter, Luas Lantai : 45 m x 25 m : 1125 m², Jarak Kolom : 5 meter, Pembebanan yang diberikan : Beban gempa Dinamis *Time History El Centro*, beban mati, dan beban hidup. Dimensi kolom lantai 1,2,3,4 : (30x30)cm, balok : (20x30)cm, plat lantai : 12 cm, Tipe *bracing* : *Inverted V*, baja profil IWF 250.250.9.14. Denah model struktur tanpa *bracing*, variasi penempatan *bracing* 1, variasi penempatan *bracing* 2 terlihat pada Gambar (3.1). Permodelan 3 dimensi model struktur dengan variasi penempatan *bracing* 1 dan variasi penempatan *bracing* 2 dapat terlihat pada Gambar (3.2)



Gambar 3.1 Denah Model Struktur (a) Tanpa Bracing (b) Dengan Variasi Penempatan *Bracing* 1 (c) Dengan Variasi Penempatan *Bracing*



Gambar 3.2 Permodelan 3 Dimensi Struktur (a) Dengan Variasi Penempatan *Bracing* 1 (b) Dengan Variasi Penempatan *Bracing* 2

Tahap-tahap pekerjaan pada studi ini adalah sebagai berikut, studi kasus dilakukan terhadap permodelan struktur bangunan bertingkat 4 lantai tanpa menggunakan *bracing*, setelah itu dilakukan analisis modal untuk menghitung waktu getar alami, ragam getar, faktor efektivitas massa dan nilai *base shear* dari permodelan struktur bangunan yang merupakan dasar struktur untuk perhitungan analisis riwayat waktu, kemudian, dilakukan permodelan struktur bangunan bertingkat 4 lantai dengan menggunakan *bracing* yaitu variasi penempatan *bracing* 1 dan variasi penempatan *bracing* 2, Running analisis (*Analisis Pushover*), pada tahap ini dilakukan perbandingan *displacement*, pengaruh *bracing* terhadap daktilitas struktur dan kinerja struktur struktur tanpa *bracing* dan dengan *bracing*. Pada tahap akhir dari penelitian ini diharapkan nantinya ada suatu kesimpulan dan saran berdasarkan hasil yang diperoleh.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur dianalisa gempa dinamik dengan menggunakan bantuan perangkat lunak komputer/Software **ETABS V.9.0** untuk mengetahui waktu getar alami.

Waktu Getar Alami Maksimum dari Struktur Gedung (T_0)

$$\begin{aligned}
 T_0 &= C_t \cdot h^x \\
 &= 0.0466 \times 14,5^{0.9} \\
 &= 0,60813 \text{ dt}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Dimana :

- T(a) = Periode pendekatan fundamental
- Ct dan x = Koefisien batas periode fundamental
- h = Ketinggian struktur, dalam m, di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

Untuk waktu getar alami hasil analisis modal untuk model struktur tanpa *bracing* menggunakan program ETABS adalah $T_0 = 1.0074$

Analisis Modal Model 1

Persyaratan :

- Periode struktur menggunakan program ETABS < Waktu getar alami maksimum dari struktur gedung (T_0)
- 1.0074 > 0.60813

Dari Tabel di atas dapat disimpulkan bahwa nilai waktu getar alami tanpa menggunakan *bracing* belum memenuhi persyaratan yang berlaku dalam SNI 1726.2012.

Perpindahan Model 1

Perpindahan pada struktur dapat ditinjau pada salah satu joint di struktur. Tabel dibawah menjelaskan tentang simpangan antar lantai pada permodelan model struktur tanpa *bracing*.

Tabel 4.1 Kontrol Simpangan Antar Lantai Gedung Model 1 Pada Arah X

Lantai	Tinggi Lantai	Drift Story (m)	X Direction	$\Delta a = 0.025H/\rho$	$\Delta s < \Delta a$
			$\Delta s = DxCd/Ie$		
1	4	0.005	0.028	0.076	OK
2	3.5	0.007	0.041	0.067	OK
3	3.5	0.009	0.050	0.067	OK
4	3.5	0.011	0.062	0.07	OK

Berdasarkan Tabel 4.1 hasil analisis simpangan antar lantai pada arah X desain pada lantai 1, 2, 3, dan 4 masih memenuhi persyaratan simpangan antar lantai izin.

Tabel 4.2 Kontrol Simpangan Antar Lantai Gedung Model 1 Pada Arah Y

Lantai	Tinggi Lantai	Drift Story (m)	X Direction	$\Delta a = 0.025H/\rho$	$\Delta s < \Delta a$
			$\Delta s = DxCd/Ie$		
1	4	0.018	0.066	0.076	OK
2	3.5	0.023	0.129	0.067	NOT OK
3	3.5	0.033	0.181	0.067	NOT OK
4	3.5	0.039	0.214	0.07	NOT OK

Berdasarkan Tabel 4.2 hasil analisis simpangan antar lantai pada arah Y desain pada lantai 1 masih memenuhi persyaratan simpangan antar lantai izin, sedangkan pada lantai 2, 3, dan 4 sudah tidak memenuhi persyaratan simpangan antar lantai izin.

Kesimpulan Analisis Model 1

Dari hasil analisis modal struktur terhadap peraturan gempa SNI 03-1726-2012, diperoleh nilai waktu getar alami yang tidak memenuhi persyaratan, sehingga struktur gedung perlu dilakukan perkuatan dengan menggunakan *bracing*. Sedangkan untuk simpangan antar lantai izin lantai 2,3 dan 4 tidak memenuhi persyaratan simpangan antar lantai izin.

Analisis Modal Model 2 dan Model 3

Persyaratan : Periode struktur < Waktu getar alami menggunakan maksimum dari struktur program ETABS gedung (To)

Model 2 : 0.256 < 0.60813

Model 3 : 0.305 < 0.60813

Dari Tabel di atas dapat disimpulkan bahwa nilai waktu getar alami dengan menggunakan *bracing* telah memenuhi persyaratan yang berlaku dalam SNI 03.1726.2012.

Perpindahan (*Displacement*) Model 2 dan Model 3

Perpindahan pada struktur dapat ditinjau pada salah satu joint di struktur. Grafik dibawah menjelaskan tentang bagaimana pengaruh perkuatan *bracing* (model 2 dan model 3) di bandingkan model 1(tanpa perkuatan *bracing*)

Tabel 4.3 Perbandingan Perpindahan Maksimum Arah X Joint 20

Lantai	Titik	Displacement (mm)			Presentase Beda Model 1 & Model 2	Presentase Beda Model 1 & Model 2
		Model 1	Model 2	Model 3		
1	20	5,27	3,50	5,20	33,586	1,328
2	20	7,55	4,70	6,21	37,748	17,748
3	20	9,14	5,30	7,56	42,013	17,287
4	20	11,3	8,00	9,89	29,204	12,478

Tabel 4.4 Perbandingan Perpindahan Maksimum Arah Y Joint 20

Lantai	Titik	Displacement (mm)			Presentase Beda Model 1 & Model 2	Presentase Beda Model 1 & Model 2
		Model 1	Model 2	Model 3		
1	20	18,00	11,00	13,00	38,889	27,778
2	20	23,50	18,00	20,90	23,404	11,064
3	20	33,00	20,00	29,70	39,394	10,000
4	20	39,00	25,00	32,70	35,897	16,154

Berdasarkan Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 Pada joint 20 arah x dari lantai 1- lantai 4 pada perbandingan struktur tanpa *bracing* (model 1) dengan perkuatan *bracing* (model 2) mengalami pengurangan nilai perpindahan pada arah x berkisar 29.204 %-42.013 % dan pada arah y berkisar 23,404%-39,394%. Sehingga dapat diketahui bahwa pengaruh perkuatan *bracing* sangat besar terhadap perpindahan struktur yang terjadi akibat adanya beban gempa. Sedangkan perbandingan (model 1) dengan perkuatan *bracing* (model 3) mengalami pengurangan nilai perpindahan pada arah x berkisar 1.328 %-12.748% dan pada arah y berkisar 10,00%-27.778%.

Untuk melihat perbandingan simpangan antar lantai struktur dengan dan tanpa perkuatan *bracing* dilakukan sebuah kontrol yang sesuai dengan peraturan gempa SNI 1726-2012.

Tabel 4.5 Kontrol Simpangan Antar Lantai Gedung Model 2 Pada Arah X

Lantai	Tinggi Lantai	Drift Story (m)	X Direction	$\Delta a = 0.025H/\rho$	$\Delta s < \Delta a$
			$\Delta s = Dx Cd/Ie$		
1	4	0.003	0.012	0.076	OK
2	3.5	0.004	0.017	0.067	OK
3	3.5	0.005	0.019	0.067	OK
4	3.5	0.008	0.029	0.07	OK

Tabel 4.6 Kontrol Simpangan Antar Lantai Gedung Model 2 Pada Arah Y

Lantai	Tinggi Lantai	Drift Story (m)	X Direction	$\Delta a = 0.025H/\rho$	$\Delta s < \Delta a$
			$\Delta s = Dx Cd/Ie$		
1	4	0.011	0.040	0.076	OK
2	3.5	0.018	0.066	0.067	OK
3	3.5	0.02	0.073	0.067	NOT OK
4	3.5	0.025	0.091	0.07	NOT OK

Tabel 4.7 Kontrol Simpangan Antar Lantai Gedung Model 3 Pada Arah X

Lantai	Tinggi Lantai	Drift Story (m)	X Direction	$\Delta a = 0.025H/\rho$	$\Delta s < \Delta a$
			$\Delta s = Dx Cd/Ie$		
1	4	0.005	0.019	0.076	OK
2	3.5	0.006	0.022	0.067	OK
3	3.5	0.007	0.027	0.067	OK
4	3.5	0.009	0.036	0.07	OK

Tabel 4.8 Kontrol Simpangan Antar Lantai Gedung Model 3 Pada Arah Y

Lantai	Tinggi Lantai	Drift Story (m)	X Direction	$\Delta a = 0.025H/\rho$	$\Delta s < \Delta a$
			$\Delta s = DxCd/Ie$		
1	4	0.013	0.047	0.076	OK
2	3.5	0.021	0.076	0.067	NOT OK
3	3.5	0.029	0.108	0.067	NOT OK
4	3.5	0.032	0.119	0.07	NOT OK

Berdasarkan Tabel 4.5 dan 4.7 analisis simpangan antar lantai desain arah x pada lantai 1,2,3 dan 4 memenuhi persyaratan simpangan antar lantai izin. Berdasarkan Tabel 4.6 dan 4.8 hasil analisis simpangan antar lantai desain arah y pada lantai 1 masih memenuhi persyaratan simpangan antar lantai izin, sedangkan pada lantai 2, 3, dan 4 sudah tidak memenuhi persyaratan simpangan antar lantai izin. Pada analisis ini dapat diketahui bahwa pada gedung tanpa perkuatan *bracing* nilai simpangan berkurang jika di bandingkan dengan model tanpa bracing.

Daktilitas adalah kemampuan struktur atau komponennya untuk melakukan deformasi inelastis bolak-balik berulang di luar batas titik leleh pertama, sambil mempertahankan sejumlah besar kemampuan daya dukung bebannya.

Nilai daktilitas aktual struktur gedung, dengan persamaan berikut :

$$\mu = \frac{\delta u}{\delta y} \tag{2}$$

Dimana :

- μ = Daktilitas struktur
- δu = Peralihan atap pada saat leleh pertama
- δy = Peralihan atap pada saat kondisi ultimit atau target peralihan

Tabel 4.9 Perbandingan Daktilitas Arah X

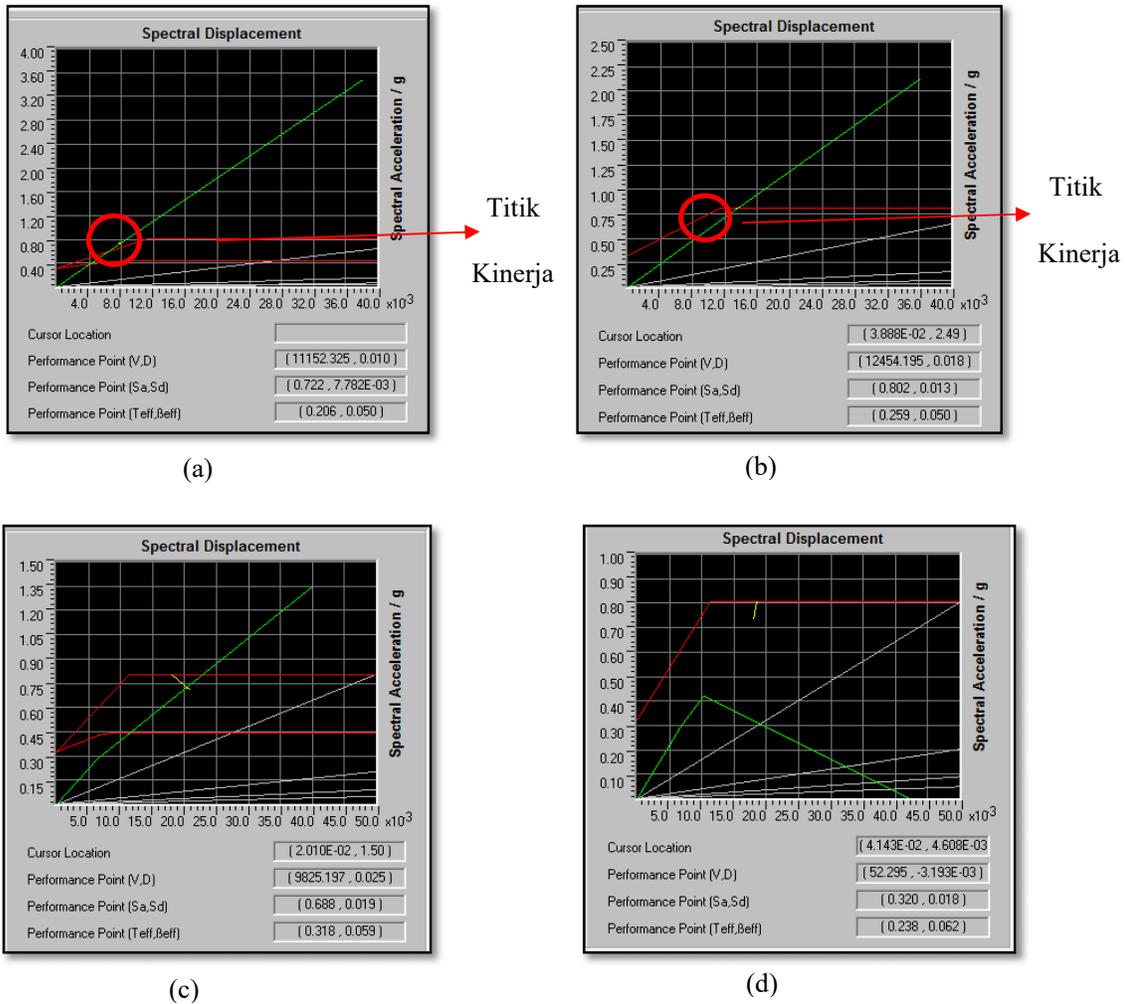
Model	Simpangan pada saat leleh (m)	Simpangan pada saat runtuh (m)	Daktilitas
1	0.003	0.0127	4.233
2	0.0028	0.0496	17.714
3	0.0084	0.0534	6.357

Tabel 4.10 Perbandingan Daktilitas Arah Y

Model	Simpangan pada saat leleh (m)	Simpangan pada saat runtuh (m)	Daktilitas
1	0.003	0.012	4.000
2	0.0091	0.057	6.297
3	0.0048	0.015	3.093

Berdasarkan tingkat kinerja struktur dapat dihitung berdasarkan perbandingan antara *roof drift* (D) maksimum dengan ketinggian gedung (H). Nilai *roof drift* ditentukan dari perpotongan antara *Demand Spectrum* dan Kurva Kapasitas.

Analisis Kinerja Struktur Beton Bertulang dengan Variasi Penempatan Bracing Inverted v



Gambar 4.1 Titik Kinerja pada struktur gedung (a) model 2 arah X, (b) model 2 arah Y, (c) model 3 arah X (d) model 3 arah Y

Hasil analisa pushover menunjukkan bahwa permodelan memiliki *roof drift* (D) model 2 arah X sebesar 0.010 m dan arah Y sebesar 0.018 m

Ketinggian gedung eksisting adalah 14,5 m sehingga nilai *drift ratio* dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Arah X } DriftRatio = \frac{D}{H} = \frac{0.01}{14,5} = 0.000689 \quad \text{Arah, Y } DriftRatio = \frac{D}{H} = \frac{0.018}{14.5} = 0.00124$$

Model 2

IO (Immediate Occupancy) dimana pada taraf kinerja ini struktur bangunan aman. Resiko korban jiwa dari kegagalan struktur tidak terlalu berat, gedung tidak mengalami kerusakan yang berarti dan dapat segera di fungsikan/beroperasi kembali setelah gedung mengalami gempa.

Model 3

Tingkat kinerja pada model 3 gedung dengan perkuatan *bracing* pada portal arah Y tidak memotong *Demand Spectrum* untuk kota Padang dengan kondisi Tanah Lunak sehingga tidak bisa diketahui kinerja struktur secara keseluruhan

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian terhadap kondisi gedung dengan perkuatan *bracing* (model 2 dan model 3) dan gedung tanpa perkuatan *bracing* dapat diambil kesimpulan :

1. Pemberian *bracing* dapat mengurangi periode struktur bangunan dan mampu mengurangi *displacement* struktur. Penurunan nilai *displacement* pada arah x sebesar 1,328% - 42.013%, arah Y sebesar 10.00%-39.394%.
2. Berdasarkan analisis pushover dapat dibuktikan bahwa nilai daktilitas struktur gedung dengan perkuatan *bracing* mengalami peningkatan dibandingkan dengan gedung tanpa perkuatan *bracing*.
3. Level kinerja struktur dengan perkuatan *bracing* model 2 adalah IO (*Immediate Occupancy*) dan model 3 dengan perkuatan *bracing* pada portal arah Y tidak memotong *demand spectrum* untuk kota Padang dengan kondisi tanah lunak sehingga tidak bisa diketahui kinerja struktur secara keseluruhan, perkuatan *bracing* pada kondisi gedung saat ini sangat membantu mengurangi besarnya respon struktur terhadap gaya gempa. Semakin banyak pemberian *bracing* maka pengaruh response *structure* juga semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002, *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung. SNI 1726 – 2002*. Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITB. Bandung 2002.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983*. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan. Bandung. 1981.
- Ediansyah, Zulkifli. 2010 “Perencanaan Bangunan Tahan Gempa” : Pelatihan Software ETABS Penerbit ITB Bandung
- Iswandi, 2010, “Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa” ITB, Bandung
- SNI 03-1726-2012. 2012. “ *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*”. BSNI : Jakarta