

PENERAPAN ANALISIS *PUSHOVER* UNTUK MENENTUKAN KINERJA STRUKTUR PADA BANGUNAN EKSTING GEDUNG BETON BERTULANG

Oleh:

Fajar Nugroho

Dosen Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Padang

Abstrak

Salah satu faktor yang berpengaruh dalam perencanaan struktur bangunan adalah kekuatan struktur bangunan, dimana hal ini terkait dengan keamanan dan ketahanan bangunan dalam menahan atau menerima beban yang bekerja pada struktur. Pada perencanaan struktur khususnya struktur bangunan gedung beton bertulang yang umum digunakan di Indonesia, harus didesain dengan mempertimbangkan pengaruh gempa terhadap struktur sehingga bangunan dapat digunakan dengan nyaman dan aman. Analisis *pushover* pada struktur gedung adalah suatu cara analisis statik 2 dimensi atau 3 dimensi linier dan non-linier, dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur gedung. Analisis dilakukan pada struktur atas bangunan. Pada penelitian ini dilakukan analisis ulang terhadap struktur eksisting 2 lantai, kemudian dilanjutkan dengan analisis struktur untuk 3 lantai. Setelah itu dilanjutkan dengan analisis *pushover* untuk mengetahui kinerja bangunan tersebut. Hal yang akan dievaluasi adalah perpindahan ultimit pada struktur gedung dan membatasi kinerja struktur gedung dalam kondisi *Life Safety* (LS)

Kata-kata kunci : *Pushover*, kinerja, beton bertulang

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Provinsi Sumatera Barat terletak di daerah rawan bencana, khususnya bencana gempa bumi. Dengan potensi gempa bumi yang tinggi, maka pada perencanaan struktur khususnya struktur bangunan gedung beton bertulang, harus didesain dengan mempertimbangkan pengaruh gempa terhadap struktur sehingga bangunan dapat digunakan dengan nyaman dan aman. Besarnya gaya gempa yang diterima struktur dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah karakteristik struktur bangunan antara lain yaitu beban yang bekerja, bentuk bangunan, massa bangunan, kekakuan dan lain-lain.

Perencanaan struktur suatu gedung harus sesuai peruntukannya, jika pada awalnya direncanakan 2 lantai maka bangunan tersebut harus 2 lantai. Jika ada penambahan jumlah lantai maka perlu dilakukan analisis struktur yang lebih mendalam pada bangunan tersebut, salah satu

caranya adalah dengan menerapkan analisis *pushover* untuk menentukan kinerja struktur apakah dalam kondisi aman atau tidak. Analisis *pushover* adalah suatu cara analisis statik 2 dimensi atau 3 dimensi linier dan non-linier, dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur gedung.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kinerja struktur bangunan eksisting gedung beton bertulang dengan menerapkan analisis *pushover*. Hal yang akan dievaluasi adalah perpindahan ultimit pada struktur gedung dan membatasi kinerja struktur gedung dalam kondisi *Life Safety* (LS).

2. Tinjauan Pustaka

2.1. State Of The Art

Beberapa penelitian tentang kinerja struktur pada bangunan gedung telah banyak dilakukan. Dewobroto (2006) melakukan evaluasi kinerja bangunan baja tahan gempa dengan SAP 2000. Dari hasil analisis studi kasus portal baja 3D disimpulkan bahwa titik kinerja yang menentukan adalah metode Koefisien Perpindahan FEMA-356 (ASCE 2000), sedangkan metode Spektrum Kapasitas (ATC 1996) memberi nilai paling kecil (tidak konservatif). Analisa *pushover* juga menunjukkan bahwa daktilitas portal berbeda dalam arah yang lain.

Wibowo, dkk (2010) melakukan analisis untuk menentukan level kinerja struktur beton bertulang pasca gempa. Sampel yang digunakan adalah sebuah gedung perkantoran di wilayah kota Surakarta. Hasil kajian menunjukkan bahwa secara struktural, gedung yang menjadi sampel kajian, masuk kategori *Immediate Occupancy* (IO) yang berarti belum terjadi kerusakan struktur yang berarti akibat gempa terjadi, namun harus dilakukan perbaikan terhadap beberapa kerusakan agar tidak menjadi kerusakan lebih besar akibat gaya gravitasi dan beban layan gedung.

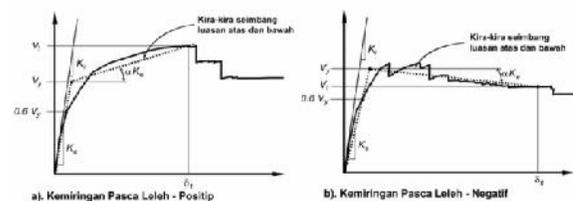
Nissa, dkk (2014) melakukan analisis kinerja struktur pada gedung bertingkat dengan analisis *pushover* menggunakan *software* etabs (studi kasus : bangunan hotel di Semarang). Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa gaya geser dari evaluasi *pushover* pada arah x sebesar 557,867 ton. Nilai *displacement* adalah 0,112 m. *Displacement* pada gedung tidak melampaui *displacement* yang diijinkan, sehingga gedung aman terhadap gempa rencana. Maksimum total *drift* adalah 0,0035 m dan maksimum *in elastic drift* adalah 0,0034 m, sehingga gedung termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy* (IO).

Aribisma, dkk (2015) melakukan evaluasi gedung MNC tower menggunakan SNI 03-1726-2012 dengan metode *pushover analysis*. Kesimpulan dari penelitian ini merekomendasikan perkuatan struktur dengan beberapa metode jika hasil akhir evaluasi gedung mengalami kelelahan di beberapa elemen.

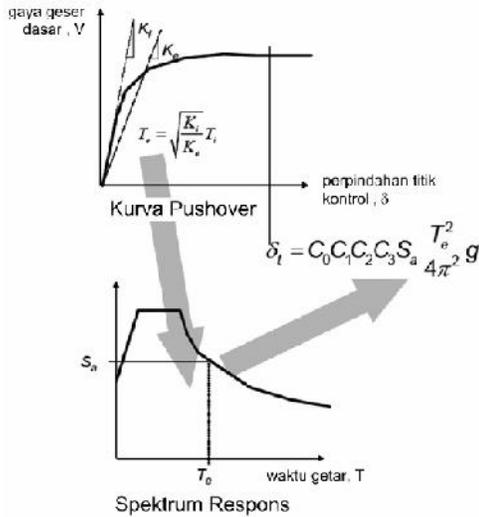
2.2. Studi Pendahuluan

Tingkat performa bangunan terhadap gempa dikenal sebagai *seismic performance level* dari suatu bangunan, yang terdiri atas kekakuan, periode getar dan partisipasi massa, kekuatan serta daktilitas. Prosedur untuk mendapatkan *seismic performance level* ini ditentukan dengan prosedur *pushover*, dimana penambahan beban diberikan secara berulang hingga komponen struktur mengalami sendi plastis atau keruntuhan pada elemen struktur. Pengetahuan tentang perilaku struktur bangunan yang mengalami beban gempa merupakan faktor penting dalam perencanaan bangunan tahan gempa. Pengetahuan perilaku tersebut bermanfaat untuk mengetahui kekuatan elemen struktur bangunan yang diperlukan untuk mengantisipasi resiko gempa yang telah ditetapkan.

Salah satu prosedur evaluasi metode analisis beban dorong adalah dengan *Displacement Coefficient Method* (DCM) dimana prosedur ini menggunakan koefisien-koefisien tertentu untuk memperkirakan peralihan maksimum dari struktur yang sedang dianalisis.



Gambar 2.1. Idealisasi Kurva *Force-Displacement* (FEMA 356)



Gambar 2.2. Skematik Prosedur Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356)

Nilai target perpindahan (δ_t) berdasarkan FEMA 356, ditentukan dari rumus berikut :

$$\delta_t = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_a \cdot \frac{T_e^2}{4} \cdot g \quad (2.1)$$

Dimana :

C_0 : Faktor modifikasi yang menghubungkan perpindahan spektral dengan peralihan lantai atap pada bangunan (Tabel. 2.1)

C_1 : Faktor modifikasi yang menghubungkan perpindahan inelastik maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastik linier

$$C_1 = 1 \quad \text{bila } T_e \geq T_s$$

$$C_1 = \frac{1 + \frac{(R-1) \cdot T_s}{T_e}}{R} \quad \text{bila } T_e < T_s$$

$$R = \frac{S_a}{V_y/W} \cdot C_m \quad (2.2)$$

Dimana :

T_e : Periode alami efektif bangunan

T_s : Periode karakteristik dari respon spektrum

R : rasio dari permintaan kekuatan elastis untuk menghitung koefisien kuat leleh

S_a : *respon spectrum acceleration* pada periode alami efektif

V_y : gaya geser dasar pada saat leleh, dari idealisasi kurva pushover menjadi bilinear

W : beban gempa efektif

C_m : faktor massa efektif (Tabel 2.2)

C_2 : Faktor modifikasi yang memperlihatkan pengaruh dari efek *pinching* pada respon peralihan maksimum (Tabel 2.3)

C_3 : Faktor modifikasi untuk menggambarkan kenaikan peralihan akibat pengaruh P-

$C_3 = 1$, untuk kemiringan pasca leleh positif

$$C_3 = 1 + \frac{|(R-1)|^2}{T_e^3}, \text{ untuk kemiringan pasca leleh negatif} \quad (2.3)$$

Dimana :

R : rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastik efektif

g : Percepatan gravitasi 9,81 m/s²

Tabel 2.1. Faktor Modifikasi C_0 Berdasarkan FEMA 356

Number of Stories	Shear Buildings ¹		Other Buildings	
	Triangular Load Pattern (T ₁ , T ₂ , T ₃)	Uniform Load Pattern (U ₁)	Any Load Pattern (A ₁)	Any Load Pattern (A ₂)
1	1.0	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.0	1.0	1.0
3	1.2	1.2	1.0	1.0
4	1.5	1.2	1.0	1.0
10+	1.5	1.2	1.0	1.0

1. Factor modification applies only to calculate inter-story drifts.
2. Additional reduction for all other stories with decrease in seismic hazard.

Tabel 2.2. Faktor Modifikasi C_m Berdasarkan FEMA 356

No. of Stories	Concrete Moment Resisting Frame		Concrete Shear Wall		Steel Moment Resisting Frame		Steel Concentric Braced Frame		Steel Eccentric Braced Frame		Other
	1-2	3 or more	1-2	3 or more	1-2	3 or more	1-2	3 or more	1-2	3 or more	
1-2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3 or more	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0

1. C_m shall be taken as 1.0 for the following period T_e in parentheses, if it occurs:

Tabel 2.3. Faktor Modifikasi C_2 Berdasarkan FEMA 356

Structural Performance Level	$T_e \leq 0.1$ second ¹		$T_e \geq 0.5$ second ¹	
	Framing Type 1 ²	Framing Type 2 ²	Framing Type 1 ²	Framing Type 2 ²
	Immediate Occupancy	1.0	1.0	1.0
Life Safety	1.5	1.3	1.1	1.0
Collapse Prevention	1.5	1.0	1.2	1.0

1. No column is allowed to have less than 30% of the moment capacity of the column it supports, or less than 40% of the moment capacity of the column it supports, for the portion of the column above the column base. For all other portions of the column, the moment capacity shall be at least 10% of the moment capacity of the column.
2. All frames are assumed to be moment-resisting frames.
3. Frame irregularities shall be used for the determination of T_e .

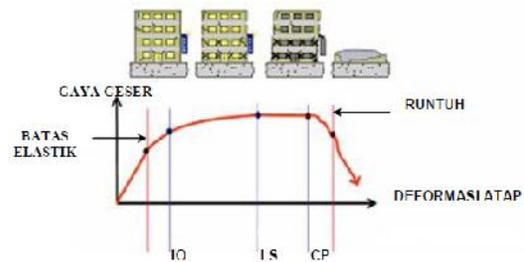
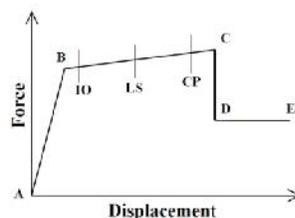
Taraf kinerja menunjukkan keadaan atau tingkat kerusakan yang terjadi pada suatu bangunan bila beban gempa rencana terjadi. Taraf kinerja dinyatakan sesuai

kriteria tingkat kerusakan fisik yang terjadi, ancaman terhadap kerusakan jiwa manusia dan kemampuan layan struktur pasca gempa.

Berikut ini beberapa macam klasifikasi taraf kinerja, yaitu:

1. *Immediate Occupancy* (IO) / taraf penghunian segera
 Pada taraf ini struktur bangunan aman. Gedung tidak mengalami kerusakan yang berarti dan dapat segera difungsikan kembali setelah mengalami gempa. Contoh bangunan yang seharusnya berada dalam kategori ini adalah rumah sakit, gedung bahan bakar/bahan berbahaya dan kantor pemadam kebakaran.
2. *Life Safety* (LS) / taraf keselamatan jiwa
 Terjadi kerusakan komponen struktur tetapi keruntuhan struktural parsial maupun total tidak terjadi. Komponen non struktur masih ada tetapi tidak berfungsi. Dapat dipakai lagi jika sudah dilakukan perbaikan. Contoh bangunan yang berada dalam kategori ini adalah gedung perkantoran, perumahan, gudang, bangunan niaga dan lainnya.
3. *Collapse Prevention* (CP) / taraf pencegahan keruntuhan
 Pada taraf ini terjadi kerusakan yang berarti pada komponen struktur dan non struktur. Kekuatan struktur dan kekakuannya berkurang banyak, hampir runtuh. Kecelakaan akibat kejatuhan material bangunan yang rusak sangat mungkin terjadi.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka bangunan yang dibahas pada penelitian ini hendaknya berada pada taraf kinerja maksimal dengan kondisi *Life Safety* (LS). Artinya bangunan dapat dikatakan mempunyai kinerja baik apabila tidak melewati kondisi LS. Taraf kinerja pada suatu bangunan dapat diketahui setelah dilakukan analisis pushover berdasarkan perpindahan ultimit yang terjadi.



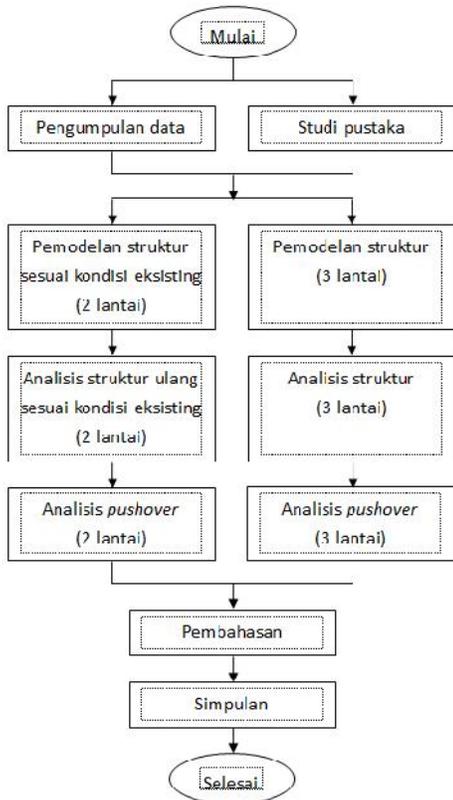
Gambar 2.3. Ilustrasi Hubungan Antara Gaya dan Perpindahan Untuk Menentukan Tingkat Kinerja Bangunan Gedung (FEMA 273)

3. Metodologi Penelitian

3.1. Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan pada bangunan gedung sekolah yang dibuat dari struktur rangka beton bertulang. Pada saat ini telah selesai pembangunannya sampai 2 lantai. Namun bangunan tersebut direncanakan untuk ditambah 1 lantai sehingga menjadi 3 lantai. Untuk mengetahui apakah struktur yang semula direncanakan 2 lantai mampu menahan beban sampai 3 lantai maka perlu dilakukan analisis untuk mengetahui kinerja struktur tersebut. Analisis dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak komputer (*software*).

Analisis dilakukan pada struktur atas bangunan. Pada langkah awal penelitian ini dilakukan analisis ulang terhadap struktur eksisting 2 lantai, kemudian dilanjutkan dengan analisis struktur untuk 3 lantai. Analisis yang dilakukan adalah analisis dinamik 3 dimensi serta pembebanan meliputi beban mati, beban hidup dan beban gempa dinamik respon spektrum. Setelah itu dilanjutkan dengan analisis *pushover* untuk mengetahui kinerja bangunan tersebut. Hal yang akan dievaluasi adalah perpindahan ultimit pada struktur gedung dan membatasi kinerja struktur gedung dalam kondisi *Life Safety* (LS). Prosedur penelitian secara singkat dapat dilihat pada bagan alir berikut :

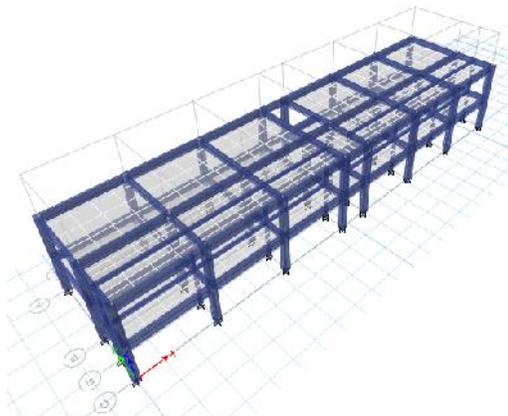


Gambar 3.1. Bagan Alir Penelitian

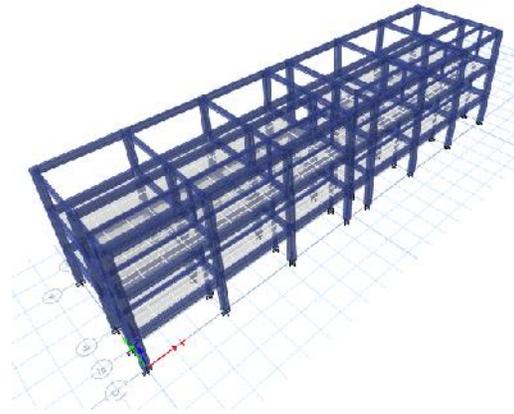
3.2. Deskripsi Bangunan

1. Luas bangunan per lantai: 397 m²
2. Jenis konstruksi beton bertulang
3. Mutu beton : $f_c' = 20,75$ MPa (K-250)
4. Mutu baja tulangan : $f_y = 400$ MPa

3.3. Pemodelan Struktur Gedung



Gambar 3.2.Pemodelan Struktur Sesuai Kondisi Eksisting 2 Lantai (Model A)



Gambar 3.3.Pemodelan Struktur 3 Lantai (Model B)

3.4. Pembebanan Pada Model Struktur Gedung

1. Pembebanan Gravitasi
 - a. Beban mati / *Dead Load* (DL)
 - b. Beban mati tambahan / *Super Impose Dead Load* (SIDL)
 - c. Beban hidup / *Live Load* (LL)
2. Pembebanan Gempa

Pembebanan gempa sesuai dengan SNI 1726:2012 dan sesuai Peta Hazard Gempa Indonesia 2010, penentuan wilayah gempa diambil pada level periode ulang gempa 2% dalam 50 tahun (periode ulang 2500 tahun).

3.5. Kombinasi Pembebanan

1. Ketahanan struktur terhadap pembebanan vertikal :
 - a. $U = 1,4 D$
 - b. $U = 1,2 D + 1,6 L$
2. Ketahanan struktur terhadap pembebanan gempa :
 - a. $U = 1,2 D + 0,5 L \pm E$
 - b. $U = 0,9 D + 0,5 L \pm E$

4. Analisis dan Pembahasan

4.1. Analisis Struktur Model A

Tabel 4.1.Perpindahan Ultimit Model A

Kriteria	Perpindahan Ultimit (cm)	
	Arah X	Arah Y
Kinerja batas ultimit SNI	0,98	0,85
Koefisien perpindahan FEMA	8,68	8,53

Sesuai dengan kriteria kinerja batas ultimit SNI, dengan perpindahan ultimit (t) arah X = 0,98 cm, kinerja yang diperlihatkan oleh struktur tidak ada yang melewati kondisi LS. Sedangkan sesuai dengan kriteria koefisien perpindahan FEMA, dengan perpindahan ultimit (t) arah X = 8,68 cm, kinerja yang diperlihatkan oleh struktur sudah ada yang melewati kondisi LS bahkan mengalami *collapse*.

Sesuai dengan kriteria kinerja batas ultimit SNI, dengan perpindahan ultimit (t) arah Y = 0,85 cm, kinerja yang diperlihatkan oleh struktur tidak ada yang melewati kondisi LS. Sedangkan sesuai dengan kriteria koefisien perpindahan FEMA, dengan perpindahan ultimit (t) arah Y = 8,53 cm, kinerja yang diperlihatkan oleh struktur sudah ada yang melewati kondisi LS bahkan mengalami *collapse*.

4.2. Analisis Struktur Model B

Tabel 4.2. Perpindahan Ultimit Model B

Kriteria	Perpindahan Ultimit (cm)	
	Arah X	Arah Y
Kinerja batas ultimit SNI	1,29	1,57
Koefisien perpindahan FEMA	13,49	14,35

Sesuai dengan kriteria kinerja batas ultimit SNI, dengan perpindahan ultimit (t) arah X = 1,29 cm, kinerja yang diperlihatkan oleh struktur tidak ada yang melewati kondisi LS. Sedangkan sesuai dengan kriteria koefisien perpindahan FEMA, dengan perpindahan ultimit (t) arah X = 13,49 cm, kinerja yang diperlihatkan oleh struktur sudah ada yang melewati kondisi LS bahkan mengalami *collapse*.

Sesuai dengan kriteria kinerja batas ultimit SNI, dengan perpindahan ultimit (t) arah Y = 1,57 cm, kinerja yang diperlihatkan oleh struktur tidak ada yang melewati kondisi LS. Sedangkan sesuai dengan kriteria koefisien perpindahan FEMA, dengan perpindahan ultimit (t) arah Y = 14,35 cm, kinerja yang diperlihatkan oleh struktur sudah ada yang melewati kondisi LS bahkan mengalami *collapse*.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

1. Pada bangunan model A (sesuai kondisi eksisting) berdasarkan kriteria SNI kinerja struktur tidak ada yang melewati kondisi LS sehingga kinerja struktur dapat dikatakan baik, sedangkan berdasarkan kriteria FEMA kinerja struktur sudah melewati kondisi LS bahkan mengalami *collapse* sehingga kinerja struktur dapat dikatakan tidak baik. Berdasarkan kriteria SNI tersebut maka bangunan eksisting yang semula 2 lantai dapat ditambah menjadi 3 lantai.
2. Pada bangunan model B (3 lantai) berdasarkan kriteria SNI kinerja struktur tidak ada yang melewati kondisi LS sehingga kinerja struktur dapat dikatakan baik, sedangkan berdasarkan kriteria FEMA kinerja struktur sudah melewati kondisi LS bahkan mengalami *collapse* sehingga kinerja struktur dapat dikatakan tidak baik.
3. Nilai perpindahan ultimit yang diperoleh berdasarkan FEMA 356 lebih besar daripada nilai perpindahan ultimit yang diperoleh berdasarkan SNI-1726-2002, hal ini disebabkan karena pada rumus untuk perhitungan pada FEMA 356 terdapat beberapa faktor modifikasi (faktor pengali) sehingga nilai perpindahan ultimit yang diperoleh lebih besar.

5.2. Saran

1. Evaluasi kinerja struktur diperlukan terutama untuk bangunan yang terletak di daerah rawan gempa dengan intensitas tinggi.
2. Pada daerah rawan gempa sebaiknya bangunan dirancang dengan bentuk struktur beraturan untuk meminimalisir kerusakan akibat terjadinya gempa.

Daftar Pustaka

- Aribisma, F., Raka, I.G.P., Tavio. 2015. Evaluasi Gedung MNC Tower Menggunakan SNI 03-1726-2012 dengan Metode *Pushover Analysis*. *Jurnal Teknik ITS*, 4 (1): 71-75.
- ASCE. 2000. *FEMA 356 – Prestandard And Commentary For The Seismic*

- Rehabilitation Of Buildings*. Virginia: ASCE.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain SNI 1727:2013*. Jakarta: Standar Nasional Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung SNI 2847:2013*. Jakarta: Standar Nasional Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012*. Jakarta: Standar Nasional Indonesia.
- Dewobroto, Wiryanto. 2006. Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP 2000. *Jurnal Teknik Sipil*, 3 (1): 7-24.
- Direktorat Pembinaan SMA. 2010. *Pedoman Teknis Bangunan Sekolah Tahan Gempa*. Jakarta: Kementerian Pendidikan Nasional.
- Nissa, Z.R., Purwanto, E., Suptiyadi, A. 2014. Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Pushover Menggunakan Software ETABS (Studi Kasus : Bangunan Hotel di Semarang). *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*: 681-687.
- Panitia Teknik Bangunan dan Konstruksi. 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI-1726-2002*. Bandung: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Permukiman.
- Panitia Teknik Standarisasi Bidang Konstruksi dan Bangunan. 2006. *Pedoman Teknis Rumah dan Bangunan Gedung Tahan Gempa*. Jakarta: Direktorat Jenderal Cipta Karya.
- Tim Revisi Peta Gempa Indonesia. 2010. *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 Sebagai Acuan Dasar Perencanaan dan Perancangan Infrastruktur Tahan Gempa*. Jakarta: Kementrian Pekerjaan Umum.
- Wibowo, Purwanto, E., Yanto, D. 2010. Menentukan Level Kinerja Struktur Beton Bertulang Pasca Gempa. *Media Teknik Sipil*, X (1): 49-54.