

**EVALUASI KINERJA STRUKTUR BANGUNAN MENGGUNAKAN *PUSHOVER*  
ANALYSIS DENGAN METODE ATC-40 DAN FEMA 356  
(Studi Kasus: Gedung RSGM UGM Prof. Soedomo)**

Hendarto Prasetyo<sup>1</sup>, Dwi Kurniati<sup>2</sup>, Bambang Kusuma Prihadi<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> Universitas Teknologi Yogyakarta  
<sup>1</sup>[elprasetyo11@gmail.com](mailto:elprasetyo11@gmail.com), <sup>2</sup>[dwi.kurniati@staff.uty.ac.id](mailto:dwi.kurniati@staff.uty.ac.id)

Diterima : 29 Januari 2020  
Direvisi :  
Diterbitkan : 30 Januari 2020  
DOI : 10.21009/jpensil.v9i1.14021

**ABSTRACT**

*Pushover analysis is a non-linear static analysis to determine the collapse behavior of a building or structure. The analysis is carried out by giving a static lateral load pattern to the structure, which is then gradually increased by a multiplier until a building movement target is reached. This final assignment research was conducted to determine the performance point based on ATC-40, to determine the performance level based on ATC-40, and to determine the performance level based on FEMA 356. The research method used the response spectrum with the SAP2000 v14 program. The result of the performance point in building with the values of  $S_a = 0,737$ , and  $S_d = 0,200$  for the push X, while the values of push Y  $S_a = 0,680$ , and  $S_d = 0,225$ . The calculation of ATC-40 in building shows the value of the drift ratio in the X direction 0,01165 and the drift ratio Y direction 0,0127 at the level of performance Immediate Occupancy (IO). The result of FEMA 356 calculation in building shows the value of the lateral displacement target structure of the X direction structure = 0,00437 (0,437 %), and the value of the lateral displacement target of the Y direction structure = 0,006 (0,6 %) and at the level of performance Immediate Occupancy (IO). Then it could be concluded that The Dental & Mouth Hospital of UGM Prof. Soedomo, was at the level of performance Immediate Occupancy (IO), meaning that the building was still safe and could be reused after the earthquake and don't occurred serious damage.*

**Keywords :** ATC-40, FEMA 356, Yogyakarta, Pushover, The Dental & Mouth Hospital.

**Pendahuluan**

Indonesia merupakan negara yang berada di wilayah jalur gempa pasifik (*Circum Pasific Earthquake Belt*) dan jalur gempa asia (*Trans Asiatic Earthquake Belt*) sehingga sangat berpotensi mengalami gempa, karena itu Indonesia termasuk dalam jalur cincin api Pasifik (*Ring of Fire*). Cincin api Pasifik merupakan rangkaian gunung aktif dunia yang menyebabkan Indonesia mengalami frekuensi gempa yang cukup sering. Selain itu, letak negara Indonesia berada dipertemuan lempeng tektonik yaitu lempeng Eurasia, Pasifik, Filipina, dan Indo-Australia.

Gempa bumi yang diakibatkan oleh pergerakan lempeng bumi merupakan penyebab terbesar dari gempa yang akan menimbulkan kerusakan pada struktur gedung. Gempa bumi yang terjadi di Indonesia sering kali memakan korban jiwa. Namun, dapat dipastikan bahwa penyebab adanya korban jiwa bukan diakibatkan secara langsung oleh gempa, tetapi diakibatkan oleh rusaknya bangunan yang menyebabkan keruntuhan pada bangunan tersebut.

Kota Yogyakarta merupakan salah satu kota besar di Indonesia, adalah kota pelajar, pendidikan, budaya dan wisata di Indonesia. Dengan jumlah penduduk yang padat, maka

kebutuhan sarana kesehatan harus dipertimbangkan dengan baik agar dapat menyediakan dan memberikan pelayanan kesehatan kepada masyarakat. Dengan dibangunnya rumah sakit diharapkan mampu menjadi rujukan bagi masyarakat Yogyakarta dan dijalkannya program pemerintah akan penyediaan layanan kesehatan khususnya rumah sakit gigi & mulut di kota Yogyakarta.

Rumah Sakit Gigi & Mulut UGM Prof. Soedomo diharapkan mampu menunjang proses peningkatan pelayanan kesehatan dan menjadi sarana praktik bagi mahasiswa kedokteran gigi Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Peningkatan pelayanan kesehatan dan sarana praktik dilakukan dengan membangun gedung baru ini. Bangunan gedung RSGM UGM Prof. Soedomo ini berada di kawasan kampus Fakultas Kedokteran Gigi UGM Yogyakarta.

Gedung RSGM UGM Prof. Soedomo merupakan bangunan baru yang pembangunannya dilaksanakan pada Agustus 2018 hingga April 2019, dan akan berfungsi sebagai layanan kesehatan gigi & mulut dan sarana praktik mahasiswa Fakultas Kedokteran Gigi UGM. Bangunan tersebut direncanakan harus tahan terhadap gempa yang berpedoman pada peraturan perencanaan bangunan tahan gempa yaitu SNI 1726-2012.

Berdasarkan SNI 1726-2012 bangunan gedung dan non gedung yang ditujukan sebagai fasilitas yang penting seperti bangunan monumental, fasilitas tanggap darurat, rumah sakit, gedung sekolah dan fasilitas pendidikan digolongkan dalam kategori resiko IV dengan nilai factor keutamaan gempa sebesar 1,5. Diharapkan bangunan berada pada level kinerja *operational* saat gempa rencana dan berada pada level *immediate occupancy* saat gempa besar terjadi. Diperlukan analisis non-linier yang sederhana tetapi cukup akurat untuk mengetahui kinerja struktur saat menerima beban gempa. Salah satu cara analisis non-linier yang dapat digunakan adalah analisis beban dorong (*pushover analysis*).

Titik kinerja (*performance point*) bangunan akan ditentukan dengan Metode Spektrum Kapasitas berdasarkan ATC-40 (1996) dan Metode Koefisien Perpindahan berdasarkan FEMA 356 (2000). Level kinerja struktur gedung ditentukan berdasarkan kriteria *drift*

*ratio* yang disyaratkan oleh ATC-40 (1996) dan FEMA 356 (2000). Perencanaan gempa pada bangunan gedung RSGM UGM Prof. Soedomo tersebut menggunakan peraturan lama SNI 1726-2012.

Dalam judul Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Menggunakan *Pushover Analysis* Dengan Metode ATC-40 dan FEMA 356 Pada Gedung RSGM UGM Prof. Soedomo, sudah dilakukan analisis secara *pushover* menggunakan metode ATC-40 dan FEMA 356. Gedung ini perlu untuk dievaluasi dengan *pushover analysis* karena gedung ini memiliki tinggi total 20 m dan difungsikan sebagai rumah sakit yang termasuk dalam kategori resiko IV dan direncanakan harus mampu menahan beban gempa, memungkinkan *pushover analysis* dapat dilakukan sesuai dengan peraturan ATC-40 dan FEMA 356 yang akan digunakan pada penelitian ini untuk mengevaluasi kinerja struktur bangunan.

## Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan penelitian ini untuk Mengetahui *performance point* berdasarkan hasil ATC-40, Mengetahui level kinerja berdasarkan hasil ATC-40, dan Mengetahui level kinerja berdasarkan FEMA 356, pada gedung RSGM UGM Prof. Soedomo, sebagai salah satu upaya mengantisipasi kerusakan gedung yang fatal.

## Metode Penelitian

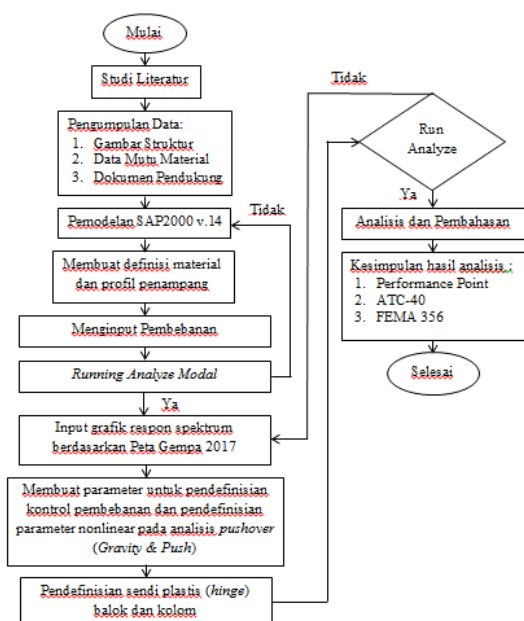
Dalam penelitian ini, yang digunakan sebagai objek penelitian adalah struktur gedung RSGM UGM Prof. Soedomo. Objek yang digunakan adalah bangunan baru atau bangunan yang baru akan difungsikan. Dalam pengerjaan tugas akhir ini akan diteliti atau dianalisis *performance point* dari objek penelitian tersebut dengan menggunakan *pushover analysis*. Perhitungan dan pemodelan akan dilakukan dengan program SAP2000 v.14 (*Structure & Analyze Program*).

Lokasi penelitian dalam tugas akhir ini adalah bangunan gedung RSGM UGM Prof. Soedomo yang beralamat di kompleks Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Waktu yang digunakan dalam

melakukan penelitian ini dimulai pada bulan September 2019 sampai Desember 2019.

Metode analisis yang digunakan untuk penelitian ini adalah metode analisis kualitatif yaitu analisis dengan mengumpulkan data-data berupa RKS, *Shop Drawing*, dan *As built Drawing* yang memuat dengan jelas gambar struktur maupun gambar arsitektur.

Studi literatur kajian ini diambil dari hasil publikasi hasil penelitian para pakar di dunia teknik sipil, jurnal maupun referensi yang berupa buku. Kemudian tidak lupa untuk peraturan yang berlaku dan resmi dari pemerintah yang berhubungan dengan tema Tugas Akhir ini. Peraturan-peraturan yang digunakan dalam analisis *pushover* ini antara lain adalah SNI 1726-2012 mengenai Tata Cara Perencanaan Gempa Untuk Gedung dan ATC-40 (*Applied Technology Council*) volume 1 mengenai evaluasi dan perbaikan struktur beton.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

### Hasil Penelitian dan Pembahasan

Setelah *running* selesai dan program SAP2000 v14 telah melakukan *iterasi* dan proses *konvers*. Kemudian pilih *close* selanjutnya adalah melihat hasil dari *running* program yang telah dilakukan. Jika analisisnya benar maka ketika memilih menu *display* maka sub menu *Static Pushover Curve*.

#### A. Output Analisis *Pushover*

Metode *pushover* adalah suatu analisis statik non-linier dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan dianggap sebagai beban-beban statik yang ada pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama didalam struktur bangunan gedung dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai kondisi plastis. Hasil analisis *pushover* yang dilakukan dengan program SAP2000 non-linier adalah kurva kapasitas (*Capacity Curve*) skema kelelahan berupa distribusi sendi plastis yang terjadi dan titik kinerja (*Performance Point*).

#### B. Kurva Kapasitas (*Capacity Curve*) Gedung RSGM UGM Prof. Soedomo

Kurva kapasitas menunjukkan hubungan antara gaya gempa dan perpindahan yang terjadi hingga struktur runtuh. Perpindahan yang ditinjau adalah perpindahan atap dan gaya geser dasar (*base shear*). Berikut nilai dari *displacement* dan *base force* push X dan push Y.

Tabel 1. *Displacement* dan *Base Force* push X

Step	Displacement m	BaseForce KN
0	-0,000471	0
1	-0,008594	512,470
2	-0,075309	3364,374
3	-0,086447	3637,464
4	-0,167416	4636,563
5	-0,248887	5374,112
6	-0,278899	5599,512

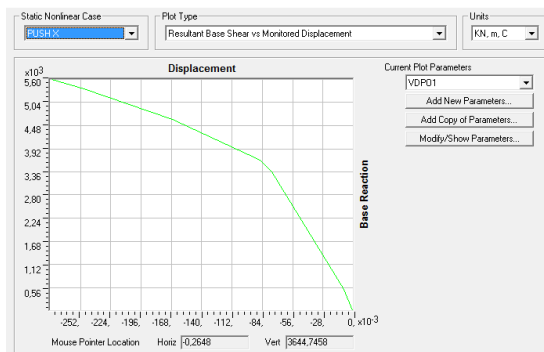
(Hasil SAP2000 v14)

Tabel 2. *Displacement* dan *Base Force* push Y

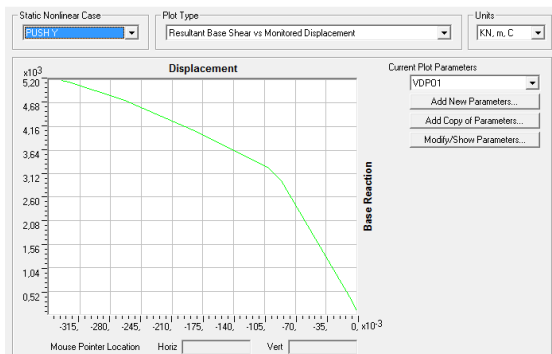
Step	Displacement m	BaseForce KN
0	0,001609	0
1	-0,005238	301,930
2	-0,085753	2965,122
3	-0,100412	3248,423
4	-0,181039	4043,339
5	-0,264173	4737,291
6	-0,327227	5148,996
7	-0,336552	5187,207

(Hasil SAP2000 v14)

Kurva Kapasitas (*Capacity Curve*) dan skema kelelahan sendi plastis dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Kurva Kapasitas Push X (Hasil SAP2000 v14)

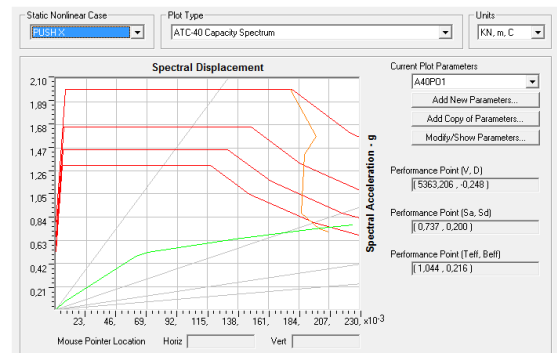


Gambar 3. Kurva Kapasitas Push Y (Hasil SAP2000 v14)

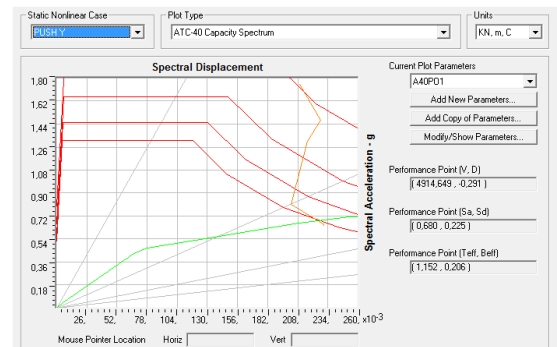
Berdasarkan hasil perhitungan analisis *pushover* besarnya gaya lateral maksimum yang mampu ditahan oleh struktur sebesar 5599,512 kN yang terjadi pada step 6, dengan *displacement* -0,278899 m pada push X. Gaya lateral yang mampu ditahan untuk push Y sebesar 5187,207 kN yang terjadi pada step 7, dengan *displacement* -0,336552 m pada push Y.

C. Titik Kinerja (*Performance Point*) berdasarkan ATC-40

Berdasarkan kurva respon spektrum rencana dari peta gempa 2010 untuk wilayah Yogyakarta dengan kondisi tanah sedang untuk nilai  $S_s = 2$  dan  $S_1 = 0,8$  sebagai input analisis *pushover* dalam format ADRS (*acceleration-displacement respons spectrum*). Hasil titik kinerja (*performance point*) pada nilai  $S_a = 0,737$  dan  $S_d = 0,200$  untuk *push* X, sedangkan nilai *push* Y  $S_a = 0,680$  dan  $S_d = 0,225$ .



Gambar 4. Kurva Respon Spektrum X (Hasil SAP2000 v14)



Gambar 5. Kurva Respon Spektrum Y (Hasil SAP2000 v14)

Hasil dari evaluasi kinerja struktur gedung dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4 dibawah ini :

Tabel 3. Evaluasi Kinerja Struktur X

Performance Point					
Vt (kN)	Dt	Sa	Sd	Beff (%)	Teff (detik)
5363,206	-0,248	0,737	0,200	0,216	1,044

(Hasil SAP2000 v14)

Tabel 4. Evaluasi Kinerja Struktur Y

Performance Point					
Vt (kN)	Dt	Sa	Sd	Beff (%)	Teff (detik)
4914,649	-0,291	0,680	0,225	0,206	1,152

(Hasil SAP2000 v14)

Berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 4 dapat diketahui batasan rasio *drift* atap yang dievaluasi pada *performance point* yang mana parameternya adalah maksimum *total drift* dan maksimum *in-elastic drift*.

Perhitungan seperti berikut :

Nilai rasio *drift push* X

$$Dt = 0,248$$

$$H_{total} = 20$$

$$\text{Maksimum total drift} = \frac{Dt}{H_{total}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,248}{20} \\
 &= 0,0124 \\
 \text{Maksimum in-elastis drift} &= \frac{Dt - D1}{H_{total}} \\
 &= \frac{0,248 - 0,015}{20} \\
 &= 0,01165
 \end{aligned}$$

Nilai rasio *drift push* Y  
 $Dt = 0,291$   
 $H_{total} = 20$

Maksimum total *drift*  

$$= \frac{Dt}{H_{total}} = \frac{0,291}{20} = 0,01455$$

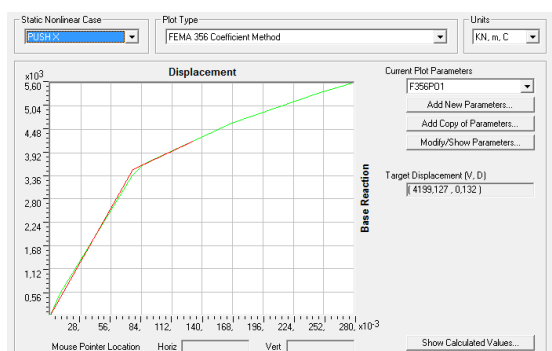
Maksimum in-elastis *drift*  

$$= \frac{Dt - D1}{H_{total}} = \frac{0,291 - 0,037}{20} = 0,0127$$

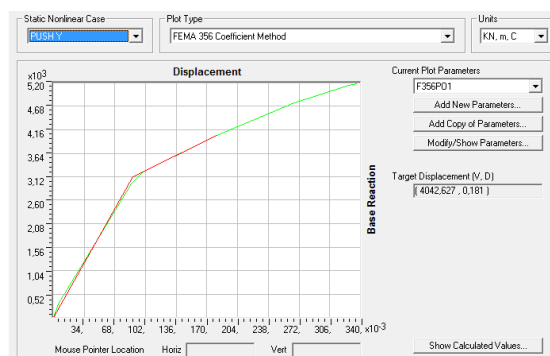
Berdasarkan batasan rasio *drift* menurut ATC-40 hasil perhitungan diatas diperoleh rasio *drift* arah X 0,01165 dan rasio *drift* arah Y 0,0127 menunjukkan bahwa gedung yang ditinjau termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy* (IO), hal ini bahwa bila terjadi gempa bumi gedung tidak mengalami kerusakan struktur dan non-struktural sehingga bangunan tersebut tetap aman digunakan.

D. Tingkat Kinerja Struktur Berdasarkan FEMA 356

FEMA menggunakan metode koefisien perpindahan dalam menentukan level kinerja struktur. Secara skematik, prosedur dari metode koefisien perpindahan dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 6. Kurva FEMA 356 Push X (Hasil SAP2000 v14)



Gambar 7. Kurva FEMA 356 Push Y (Hasil SAP2000 v14)

Tabel 5. Hasil Kurva Parameter *Pushover* X

Pushover Curve Parameter							
Vt (kN)	Dt	Sa	Te	C0	C1	C2	C3
4199,127	0,132	0,9408	0,6802	1,2313	1	1	1

(Hasil SAP2000 v14)

Tabel 6. Hasil Kurva Parameter *Pushover* Y

Pushover Curve Parameter							
Vt (kN)	Dt	Sa	Te	C0	C1	C2	C3
4042,627	0,181	0,7257	0,8819	1,3017	1	1	1

(Hasil SAP2000 v14)

Kinerja Struktur (FEMA 356)

a. Perhitungan X

Dengan nilai :

$$Te = 0,6802 ; C0 = 1,2313 ; C1 = 1 ; C2 = 1 ; C3 = 1$$

$$Sa = \frac{0,42}{T} = \frac{0,42}{0,6802} = 0,61747 \text{ g's}$$

Maka target perpindahan dapat dihitung :

$$\begin{aligned}
 \delta T &= C0 C1 C2 C3 Sa \\
 \left(\frac{Te}{2.\pi}\right)^2 9,81 &= 1,2313 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,61747 \left(\frac{0,6802}{2.\pi}\right)^2 9,81 \\
 &= 0,0875
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Drift aktual} &= \frac{\delta t}{H_{total}} \\
 &= \frac{0,0875}{20} \\
 &= 0,00437 \text{ (0,437 \%)}
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Y

Dengan nilai :

$$Te = 0,8819 ; C0 = 1,3017 ; C1 = 1 ; C2 = 1 ; C3 = 1$$

$$Sa = \frac{0,42}{T} = \frac{0,42}{0,8819} = 0,47624 \text{ g's}$$

Maka target perpindahan dapat dihitung :

$$\begin{aligned}
 \delta T &= C0 C1 C2 C3 Sa \\
 \left(\frac{Te}{2.\pi}\right)^2 9,81 &
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,3017 \times 1 \times 1 \times 1 \times \\
 &0,47624 \left(\frac{0,8819}{2, \pi}\right)^2 9,81 \\
 &= 0,11993 \\
 \text{Drift aktual} &= \frac{\delta t}{H_{\text{total}}} \\
 &= \frac{0,11993}{20} \\
 &= 0,006 \text{ (0,6 \%)}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan analisa statis non-linear, didapat nilai *drift actual* arah X sebesar 0,00437 (0,437 %) dan arah Y sebesar 0,006 (0,6 %) bahwa struktur melampaui target perpindahan struktur untuk level kinerja *Immediate Occupancy* (IO) yang disyaratkan FEMA 356.

### Simpulan

Berdasarkan hasil analisis Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Menggunakan *Pushover Analysis* Dengan Metode ATC-40 dan FEMA 356 Pada Gedung RSGM UGM Prof. Soedomo yang dilakukan pada Bab 5 Analisis dan Pembahasan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- Hasil Titik Kinerja (*Performance Point*) ATC-40 dengan nilai  $S_a = 0,737$  dan  $S_d = 0,200$  untuk Push X, sedangkan nilai push Y  $S_a = 0,680$  dan  $S_d = 0,225$ .
- Hasil perhitungan ATC-40 dengan bantuan software SAP2000 v14, evaluasi tingkat kinerja struktur menggunakan ATC-40 menunjukkan nilai *drift ratio* arah X 0,01165 dan *drift ratio* arah Y 0,0127 dan berada pada level kinerja *Immediate Occupancy* (IO).
- Hasil perhitungan FEMA 356 dengan bantuan software SAP2000 v14, evaluasi tingkat kinerja struktur menggunakan FEMA 356, menunjukkan nilai target perpindahan lateral struktur arah X = 0,00437 (0,437 %), dan nilai target perpindahan lateral struktur arah Y = 0,006 (0,6 %) dan berada pada level kinerja *Immediate Occupancy* (IO).

### Saran

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis hanya menganalisis respons struktur dengan menggunakan metode statik non-linier yaitu analisis *pushover*. Oleh karena itu penulis menyarankan beberapa hal yang dapat

digunakan untuk memperbaiki dan pengembangan studi selanjutnya, yaitu :

- Analisa *pushover* perlu dicoba dengan *time history method*.
- Parameter untuk analisis *pushover* yang digunakan sebaiknya menggunakan ETABS, TEKLA dan software lainnya.
- Untuk penelitian lebih lanjut apabila ingin mengambil studi kasus yang sama, bisa ditambahkan dengan menganalisis *engineering value* dari bangunan yang ditinjau atau perbandingan kelas tanah dari wilayah gempa atau RAB.

### Daftar Pustaka

- ASCE, FEMA 356 – Prestandard Analysis and Commentary for The Seismic rehabilitation of buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C. 2000.
- ATC-40, (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building, Volume 1*. Applied Technology Council. Redwood City. California. USA.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2013). *Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Editor.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2847:2013*, Jakarta: Editor.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012*. Jakarta: Editor.
- Bashori, Ikrom. 2019. "Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Bangunan Gedung Bertingkat Menggunakan *Pushover Analysis* Dengan *Capacity Spectrum Method*" Universitas Teknologi Yogyakarta.
- CSI America, (2013). SAP2000 v.14. CSI AMERICA: CALIFORNIA
- Dea, Sinta. (2019). *Evaluasi Kinerja Gedung RSUD Tipe B Kota Mungkid Magelang Menggunakan Pushover Analysis menggunakan Metode FEMA 356 dan ATC-40*. Yogyakarta. Universitas Teknologi Yogyakarta.

- Frick, Heinz. 1980. *Ilmu Kontruksi Bangunan I*. Kanisius. Yogyakarta.
- Hidayat, Arif. (2019). *Evaluasi Kinerja Gedung Rumah Susun Kertelan Surakarta Menggunakan Pushover Analysis*. Yogyakarta. Universitas Teknologi Yogyakarta.
- Kurniati, Dwi. (2018). *Kajian Analisis Pushover untuk Performance Based Design Pada Awana Condotel Yogyakarta*. Jurnal Teknik Sipil Vol. 6 No. 1. Februari 2018.
- Pawirodikromo, Widodo. (2012). *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*, Yogyakarta. Pustaka Pelajar.
- Prasetyo, Hendarto. 2018. *Laporan Kerja Praktik Proyek Pemabangunan Gedung RSGM UGM Prof. Soedomo "Pengamatan dan Pelaksanaan Pekerjaan Fondasi dan Sloof"* Universitas Teknologi Yogyakarta.
- Pusat Studi Gempa Nasional. (2012). *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010*. Jakarta: Editor.
- Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017*. Jakarta: Editor.
- PUSGEN, (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia*. Bandung: Editor
- SNI. 2002. 03-2847. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- SNI. 2002. 1726. *Standard Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- SNI. 1989. 03-1728. *Tata Cara Pelaksanaan Mendirikan Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- Widodo, (2012). *Rekayasa Gempa*. Yogyakarta: Pustaka Belajar.