

Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Metode *Pushover*

Subur Siswanto¹, Prijasambada²
Program Studi Teknik Sipil, Universitas Persada Indonesia Y.A.I
Email : subursiswanto07@gmail.com

ABSTRAK

Hotel X terletak di wilayah Jakarta pusat dan terdiri dari 2 bangunan yaitu gedung utama dan gedung parkir. Karena Indonesia merupakan wilayah yang terletak pada cincin api Pasifik dan pertemuan lempeng dunia. Sehingga Indonesia sering terjadi gempa bumi baik itu gempa tektonik maupun gempa vulkanik. Dalam hal ini perlunya suatu analisis guna untuk mengetahui level kinerja struktur bangunan tersebut untuk meminimalisir terjadinya korban jiwa dan materi ketika terjadi gempa bumi. Salah satu metode analisis beban gempa yang dapat digunakan yaitu analisis *pushover*.

Analisis *pushover* berfungsi untuk mengetahui level kinerja struktur yang menghasilkan besaran gaya geser (*base shear*) maksimum dan perpindahan atap (*displacement*) sehingga diketahui titik performa struktur bangunan tersebut berdasarkan acuan yang digunakan yaitu *drift ratio* pada ATC-40.

Hasil dari analisis *pushover* pada gedung parkir yaitu *base shear* yang bekerja sebesar 12894,72 Kn dan *displacement* yang terjadi yaitu 190,1 mm dengan *drift ratio* sebesar 0,0127, sehingga level kinerja gedung parkir adalah *Damage Control*.

Kata Kunci : *Analisis Pushover, Drift Ratio, Level Kinerja.*

ABSTRACT

Hotel X is located in the Central Jakarta area and consists of 2 buildings, namely the main building and the parking building. Because Indonesia is an area that lies on the Pacific Ring of Fire and the meeting of the world's plates. So that Indonesia often experiences earthquakes, both tectonic earthquakes and volcanic earthquakes. In this case the need for an analysis in order to determine the level of performance of the building structure to minimize the loss of life and material when an earthquake occurs. One of the seismic load analysis methods that can be used is pushover analysis.

Pushover analysis serves to determine the level of performance of the structure that produces the maximum base shear and displacement of the roof (*displacement*) so that the performance point of the building structure is known based on the reference used, namely the drift ratio at ATC-40.

The results of the pushover analysis in the parking building are the base shear that works at 12894.72 Kn and the displacement that occurs is 190.1 mm with a drift ratio of 0.0127, so that the performance level of the parking building is *Damage Control*.

Keywords : *Pushover Analysis, Drift Ratio, Performance Level.*

1. PENDAHULUAN

Gempa bumi merupakan salah satu peristiwa alam yang tidak dapat ditolak dan tidak dapat dicegah. Gempa bumi tidak dapat diperkirakan waktu pasti terjadinya namun dapat dilihat dari jalur

kegempaanannya. Sebagaimana kita ketahui bahwasanya seluruh wilayah Indonesia terletak pada wilayah Cincin Api Pasifik (*The Pasific Ring of Fire*) dan berada pada wilayah pertemuan 3 lempeng besar yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia dan Lempeng Pasifik. Sehingga tidak dipungkiri bahwa Indonesia sering terjadi gempa bumi, baik itu gempa vulkanik ataupun gempa tektonik. Oleh sebab itu, Indonesia akan selalu berhadapan dengan ancaman gempa bumi akibat dari aktivitas gunung berapi ataupun pergeseran lempeng tektonik. Sehingga gempa merupakan salah satu bencana alam terbesar di wilayah Indonesia sebab dampak yang ditimbulkan sangatlah besar seperti runtuhnya bangunan yang menyebabkan kerugian materi bahkan terjadinya korban jiwa.

Oleh sebab itu struktur bangunan gedung dan non gedung dalam setiap perencanaan dan pembangunan haruslah tahan gempa. Yaitu apabila terjadi gempa, bangunan tidak menimbulkan kerusakan/dampak yang besar. Oleh karena itu diperlukannya suatu analisis pada gedung yang sudah ada maupun dalam perencanaan, untuk mengetahui level kinerja struktur bangunan ketika mengalami penerimaan beban, sebab untuk menjamin keselamatan manusia dan gedungnya. Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, munculnya suatu gagasan dalam sebuah perencanaan gedung tahan gempa yaitu *Performance Based Earthquake Engineering (PBEE)*. PBEE dibagi atas dua macam yaitu berbasis kinerja (*Performance Based Seismic Evaluation*) dan berbasis desain (*Performance Based Seismic Design*). Analisis yang berbasis Evaluasi pada PBSE yaitu analisis *Pushover*.

Analisis *pushover* yaitu komponen dari *performance based design* yang digunakan untuk menghitung kapasitas dari struktur bangunan. Prosedur metode ini, ialah menunjukkan target struktur mencapai *displacement* atau keruntuhan atap dengan cara meningkatkan beban statik secara bertahap ke arah lateral pada struktur bangunan tersebut. *Output* dari analisis,

digambarkan dalam bentuk kurva yaitu kurva hubungan antara gaya geser dasar dan keruntuhan atap, hasil dari kurva gaya geser dasar dan keruntuhan atap tersebut selanjutnya diubah menjadi kurva kapaitas struktur. Dari hasil analisis *pushover* dapat menunjukkan kondisi struktur ketika dalam keadaan elastis, plastis dan *collaps* atau terjadinya keruntuhan pada struktur tersebut.

Studi kasus ini dilakukan pada bangunan hotel yang terdiri dari 16 lantai yang berada di wilayah Jakarta, karena wilayah Jakarta termasuk zona gempa 4. Dimana dalam wilayah gempa 4 merupakan wilayah dengan intensitas gempa yang cukup besar. Dalam penelitian ini, analisis yang digunakan yaitu analisis *pushover* yang berpedoman pada SNI 1726:2019 tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, SNI 1727:2020, SNI 2847:2019 dan *Applied Technology Council (ATC-40)*.

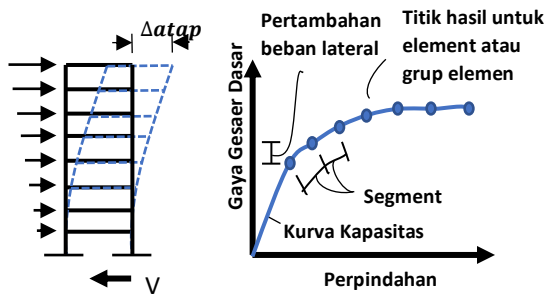
2. LANDASAN TEORI

Analisis *pushover* adalah suatu analisis yang berfungsi untuk mengetahui level kinerja struktur bangunan yang ditinjau akibat adanya beban gempa yang terjadi. Analisis *pushover* digunakan untuk mengetahui letak struktur yang terjadi lelehan atau keruntuhan akibat adanya beban gempa sehingga dapat menjadi pedoman untuk perkuatan struktur yang membutuhkan.

Analisis *pushover* dikenal juga dengan analisis *nonlinear* yang digunakan untuk rekayasa gempa berbasis kinerja. Analisis *pushover* disajikan dalam bentuk kurva kapasitas (*capacity*) dan kurva kebutuhan (*demand*). Kebutuhan (*demand*) merupakan visualisasi dari pergerakan tanah atau gempa dan kapasitas merupakan kekuatan struktur dalam menerima beban gempa yang terjadi. Oleh karena itu kinerja (*performance*) diartikan kapasitas struktur bangunan dalam memenuhi kebutuhan (*demand*). Maka dari itu struktur harus mampu bertahan terhadap kapasitas yang

diberikan, sehingga kinerja bangunan tersebut sesuai apa yang telah direncanakan.

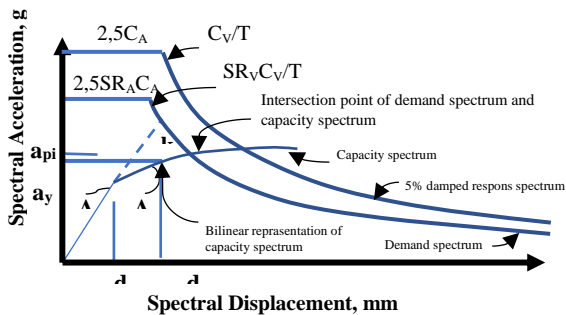
Hasil dari analisis *pushover* yaitu kurva kapasitas yang menggambarkan hubungan antara simpangan atap (*roof displacement*) dan gaya geser dasar (*base shear*).



Gambar 1. Ilustrasi *Pushover* dan Kurva Kapasitas
(Sumber : ATC-40, 1996)

Titik Kinerja Struktur

Performance Point merupakan titik perpotongan kurva kapasitas dengan kurva respon spektrum. Pada perhitungan manual titik performa didapat dari iterasi dan tidak dapat diperoleh secara langsung.



Gambar 2. Penentuan Titik Kinerja
(Sumber : ATC 40:1996)

ATC 40 menentukan batasan-batasan *drift ratio* dan batasan-batasan pada tipe bangunan yang di evaluasi pada titik performannya. Titik performa berguna untuk mengetahui level kinerja struktur dengan analisis statik *nonlinear*. Parameter yang ditetapkan yaitu maksimum total drift

dan maksimum inelastik drift. Batasan-batasan tipe bangunan dan *drift ratio* menurut ATC 40. Batasan dapat dilihat pada tabel 1

Tabel 1. Batasan *Drift Ratio* sesuai ATC 40

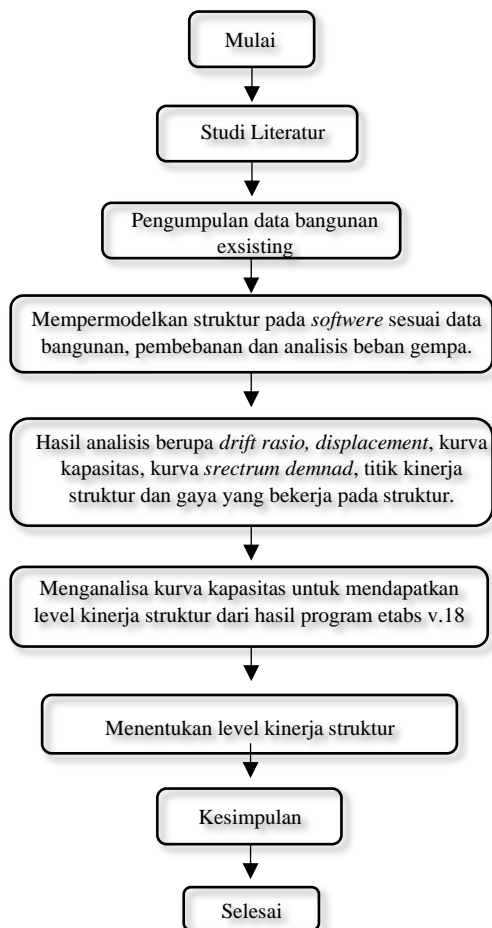
Parameter	Level Kinerja			
	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Structural Stability
Maksimum Total Drift	0,01	0,01 – 0,02	0,02	0,033
Maksimum Inelastik Drift	0,005	0,005 – 0,015	Tidak Dibatasi	Tidak dibatasi

(Sumber : ATC 40:1996)

3. METODOLOGI

Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan analisis statik nonlinear yaitu analisis *pushover* dan dilakukan dengan bantuan *software* ETABS V.18. Dalam pelaksanaan tugas akhir ini terdapat tahapan-tahapan yang dilakukan yaitu



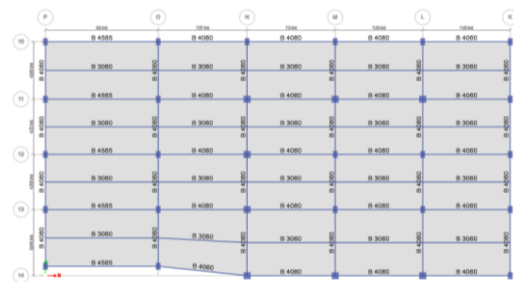
Gambar 3 Diagram Alur Penelitian

Data Umum Gedung

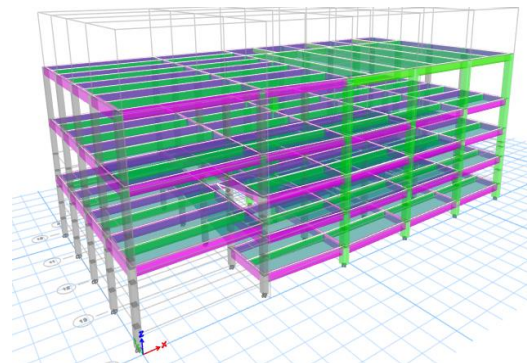
Gedung yang dianalisis adalah bangunan gedung 4 lantai dengan data sebagai berikut :

- Nama Gedung : Gedung Hotel X
- Alamat : Jakarta Pusat
- Fungsi Bangunan : Gedung Hotel
- Jumlah Lantai : 4 Lantai
- Tinggi Bangunan struktur : 15 m
- Panjang Bangunan : 39,57 m
- Lebar Bangunan : 19,975 m
- Tebal Pelat Lantai : 13 cm
- Mutu Beton :
 - Kolom dan Dinding Geser : 30 MPa
 - Balok dan Pelat : 24 Mpa
- Mutu Baja Tulangan :
 - Diameter < 10mm → BJTP 24, fy = 240 MPa

- Diameter ≥ 10mm → BJTD 42, fy = 360 MPa
- Dimensi kolom:
 - K3 40x60 cm
 - K10 60x60 cm
- Dimensi Balok:
 - 20/35
 - 20/40
 - 30/55
 - 30/60
 - 40/60



Gambar 4. Denah Lantai 3



Gambar 5. Permodelan 3D

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Percepatan Gempa

- $S_S = 0,78 g.$
- $S_1 = 0,38 g.$
- $F_a = 1,27$
- $F_v = 2,47$
- $S_{MS} = 1,27 \times 0,78 = 0,99$
- $S_{M1} = 2,47 \times 0,38 = 0,94$
- $S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = 0,66$
- $S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$

$$= 0,63$$

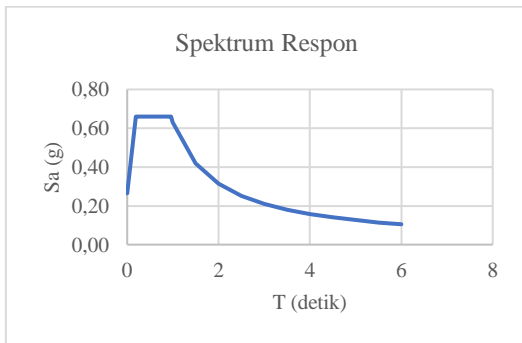
$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS}$$

$$= 0,19 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS}$$

$$= 0,95 \text{ detik}$$

Grafik respon spektrum gempa Jakarta Pusat dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar 6. Spektrum respons desain berdasarkan SNI 1726-2019

$$T_a = C_t h_n^x$$

$$= 0,0466 \times 15^{0,9}$$

$$= 0,53 \text{ detik}$$

$$T_{\max} = C_u \times T_a$$

$$= 1,4 \times 0,53$$

$$= 0,742 \text{ detik}$$

$$R = 8$$

$$C_d = 5,5$$

$$\Omega_0 = 3$$

Tabel 2. Berat Bangunan Per Lantai Gedung Parkir

Story	Mass X	Mass Y
	kn	kn
Lantai 4	10384,00	10384,00
Lantai 3	9436,10	9436,10
Lantai 2'	4096,08	4096,08
Lantai 2	3365,82	3365,82
Meeting room	2425,93	2425,93
P4	2270,80	2270,80
P3	2236,30	2236,30
P2	2267,57	2267,57
Σ	36482,60	36482,60

$$V = C_s \cdot W_t$$

$$= 0,103 \times 36482,60 \text{ Kn}$$

$$= 3757,71 \text{ Kn}$$

Tabel 3. Analisa Gempa Statik

Story	Statik			
	VX (kn)	VY (kn)	FX (kn)	FY (kn)
Lantai 4	1797,05	1797,05	1797,05	1797,05
Lantai 3	2897,13	2897,13	1100,08	1100,08
Lantai 2'	3223,05	3223,05	325,92	325,92
Lantai 2	3431,59	3431,59	208,54	208,54
Meeting room	3562,39	3562,39	130,79	130,79
P4	3664,30	3664,30	101,91	101,91
P3	3728,01	3728,01	63,71	63,71
P2	3757,71	3757,71	29,70	29,70

Tabel 4. Analisa Gempa Dinamik

Story	Dinamik	
	V spek x	V spek y
Lantai 4	1326,08	1409,63
Lantai 3	2083,85	2217,28
Lantai 2'	2317,65	2467,96
Lantai 2	2473,75	2628,61
Meeting room	2574,96	2733,85
P4	2654,39	2816,46
P3	2703,89	2865,11
P2	2721,76	2883,32

Evaluasi arah gempa sesuai SNI 1726-2019 :

$$V_X \text{ Statik} = V_X \text{ Dinamik}$$

$$3757,71 \text{ Kn} = 2721,76 \text{ Kn}$$

Jadi skala respon spektrum arah x harus diperbesar :

$$\frac{3757,71}{2721,76} = 1,38$$

$$V_Y \text{ Statik} = V_Y \text{ Dinamik}$$

$$3757,71 \text{ Kn} = 2883,32 \text{ Kn}$$

Jadi skala respon spektrum arah y harus diperbesar :

$$\frac{3757,71}{2883,32} = 1,3$$

Tabel 5. Perbandingan Gaya

Story	Statik		Dinamik	
	VX (kn)	VY (kn)	V spek x	V spek y
Lantai 4	1797,05	1797,05	1830,80	1837,11
Lantai 3	2897,13	2897,13	2877,00	2889,69
Lantai 2'	3223,05	3223,05	3199,78	3216,38
Lantai 2	3431,59	3431,59	3415,30	3425,75
Meeting room	3562,39	3562,39	3555,03	3562,91
P4	3664,30	3664,30	3664,69	3670,57
P3	3728,01	3728,01	3733,04	3733,98
P2	3757,71	3757,71	3757,71	3757,71

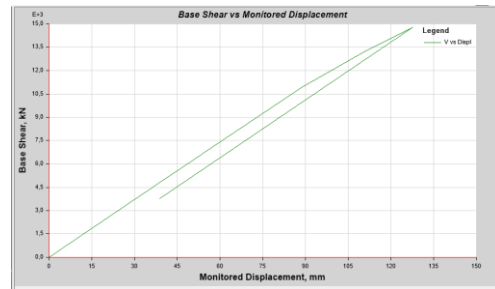
Hasil Analisis Pushover

Kurva Kapasitas

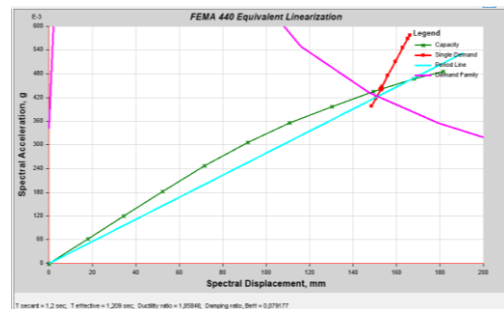
Dari hasil analisis didapatkan kurva kapasitas yang merupakan hubungan antara perpindahan titik acuan pada atap (D) dengan gaya geser dasar (V).

Tabel 6. Data *pushover* curve arah X

Base Shear vs Monitored Displacement		
Step	Monitored Displ mm	Base Force kN
0	0	0
1	22,50	1810,40
2	42,86	3448,31
3	65,36	5258,37
4	89,36	7145,01
5	114,14	8920,81
6	138,07	10399,33
7	162,25	11664,15
8	185,87	12743,12
9	208,68	13562,28
10	225,00	14043,73



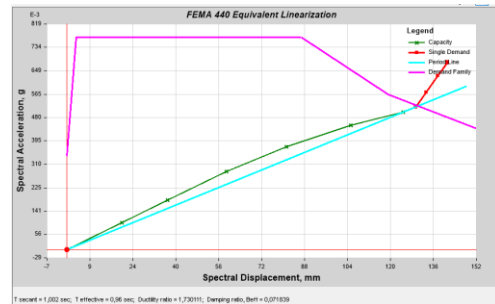
Gambar 8. Kurva *base shear* vs *displacement* arah Y



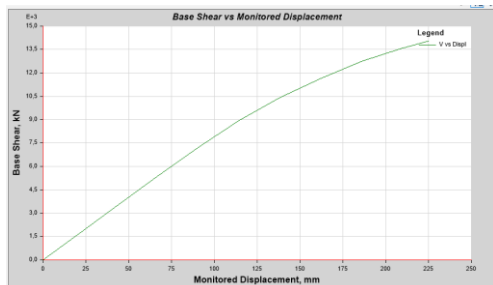
Gambar 9. *Performance point* arah X

Tabel 7. Data *pushover* curve arah Y

Base Shear vs Monitored Displacement		
Step	Monitored Displ mm	Base Force kN
0	0	0
1	22,50	2789,65
2	41,37	5129,23
3	65,69	8130,40
4	88,87	10954,94
5	111,44	13322,16
6	127,61	14804,04
7	38,82	3792,82



Gambar 10. *Performance point* arah Y



Gambar 7. Kurva *base shear* vs *displacement* arah X

Tabel 8. Nilai *Performance Point*

Type	Push. X	Push. Y
Displacement (mm)	190,1	127,608
Base Shear (Kn)	12894,7	14804
Sa (g)	0,4	0,5
Sd (mm)	152,764	105,11
Teff (s)	1,14	0,96
βeff	0,07	0,07

1,5 % H = 0.015 x 15000 mm =225 mm > D = 190,1 mm, maka kinerja *displacement* Gedung baik.

Maximum Total Drift arah X =

$$\frac{Dt}{H} = \frac{190,1}{15000} = 0,0127$$

Maximum Total Drift arah Y =

$$\frac{Dt}{H} = \frac{127,608}{15000} = 0,0085$$

Sehingga level kinerja Gedung adalah **Damage Control**

5. KESIMPULAN

Kesimpulan

Dari hasil analisis yang dilakukan terhadap kinerja gedung parkir pada Hotel X Jakarta, maka dapat disimpulkan yaitu :

1. Nilai performa point kinerja struktur pada Gedung Parkir yaitu pada arah x dengan nilai *displacement* 190,1 mm dan *base shear* sebesar 12894,72 kn. Sedangkan untuk arah y nilai performa point dengan besaran *displacement* 127,61 mm dan *base shear* sebesar 14804,04 kn.
2. Level kinerja bangunan Hotel X Jakarta dengan nilai *Maximum Total Drift* = 0,0127 pada arah x dan 0,0085 pada arah y. Menurut metode ATC-40 adalah **Damage Control**, yaitu kondisi bangunan dimana kerusakan akibat gempa yang terjadi pada daerah sendi plastis element-element struktur pada kondisi yang masih diperbaiki.

Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan penulis terkait Tugas Akhir ini antara lain:

1. Dalam melakukan analisis atau perencanaan suatu struktur bangunan hal yang harus diutamakan adalah penggunaan peraturan yang berlaku, karena sebuah peraturan yang digunakan akan memberikan dampak langsung pada kualitas yang dihasilkan.
2. Sebagai perbandingan Hasil dari ATC-40, Metode FEMA 440 dapat digunakan sebagai pembanding hasil yang didapat.
3. Perlu melakukan analisis pada gedung lainnya agar dapat membandingkan hasil analisis dan kesalahan yang mungkin kita lakukan pada analisis pertama.

4. Untuk analisis pada *software*, memerlukan peralatan komputer yang mumpuni karena ketika *running* memakan waktu yang cukup lama.

DAFTAR PUSTAKA

Standar Nasional Indonesia. (2019). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan SNI 2847:2019*. Jakarta.

Standar Nasional Indonesia (2019). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 03-1726-201*. Jakarta.

Standar Nasional Indonesia (2020). *Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain SNI 1727:2020*. Jakarta.

Marianda, D. (2016). *EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG "ASRAMA MAHASISWI UGM" YOGYAKARTA MENGGUNAKAN ANALISA PUSHOVER SESUAI PEDOMAN ATC-40*.

P, A. B. (2011). *EVALUASI KINERJA SEISMIC STRUKTUR BETON DENGAN ANALISIS PUSHOVER PROSEDUR A MENGGUNAKAN PROGRAM ETABS V9.50*.

SRIWAHYUNINGSIH, Y. (2019). *ANALISIS KINERJA STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG TERHADAP BEBAN GEMPA DENGAN METODE BEBAN DORONG (PUSHOVER)*.

Lesmana, Y. (2021). *Handbook Analisa Dan Desain Struktur Tahan Gempa Beton Bertulang (SRPMB, SRPMM & SRPMK)*.