

## Evaluasi Kinerja Struktur Dengan Metode Pushover Analysis Pada Gedung DPRD Bojonegoro Menggunakan SAP2000

Firna Faridatun Nisa<sup>1\*</sup>, Sujiat<sup>1</sup>, Toni Budi Santoso<sup>1</sup>, Bella Lutfhiani Al Zakina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitas Bojonegoro, Jl. Lettu Suyitno No.2, Bojonegoro

\*[firmafaridatunnisa@gmail.com](mailto:firmafaridatunnisa@gmail.com)

### ABSTRAK

Indonesia merupakan negara rawan gempa bumi. Hal ini karena Indonesia terletak di wilayah pertemuan tiga lempeng tektonik dunia yang sangat aktif. Pergerakan lempengan bumi tersebut yang menjadi faktor utama terjadinya gempa bumi, yang berpotensi besar menyebabkan kerusakan pada struktur gedung. Sehingga dengan merancang bangunan tahan gempa, hal tersebut dapat diminimalisir. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan level kinerja struktur gedung DPRD Bojonegoro dengan metode analisis pushover yang mengacu pada kriteria ATC-40. Hasil dari analisis ini menunjukkan bahwa perilaku struktur dimulai dengan munculnya sendi plastis pertama kali pada balok kemudian diikuti oleh kolom. Berdasarkan hasil Analisa spektrum kapasitas, simpangan maksimum total pada arah X sebesar 0,017 mm dan simpangan inelastic maksimum sebesar 0,015 mm. pada arah Y, simpangan maksimum total sebesar 0,013 mm dan simpangan inelastic maksimum sebesar 0,011 mm. mengacu pada ATC (1996), kinerja struktur termasuk kategori Damage Control (DC).

**Kata Kunci :** Pushover Analysis, ATC-40, SAP2000

### ABSTRACT

Indonesia is an earthquake-prone country because it is located at the meeting point of three very active world tectonic plates. The movement of the earth's plates is the main factor in the occurrence of earthquakes, which have great potential to cause damage to building structures. So that by designing earthquake-resistant buildings, this can be minimized. The purpose of this final research is to determine the structural performance level of the Bojonegoro DPRD building using the pushover analysis method that refers to the ATC-40 criteria. The results of this analysis show that the behavior of the structure begins with the appearance of plastic joints first in the beam then followed by the column. Based on the results of the capacity spectrum analysis, the total maximum deviation in the X direction is 0.017 mm and the maximum inelastic deviation is 0.015 mm. in the Y direction, the total maximum deviation is 0.013 mm and the maximum inelastic deviation is 0.011 mm. referring to ATC (1996), the performance of the structure is in the Damage Control (DC) category.

**Keywords:** Pushover Analysis, ATC-40, SAP2000

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang terletak pada wilayah pertemuan tiga lempeng tektonik dunia yang sangat aktif, yaitu Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Lempeng-lempeng tersebut sering mengalami gesekan lempengan bumi yang menjadi faktor utama terjadinya gempa bumi. Oleh karena itu, perencanaan gedung bertingkat tahan gempa adalah hal yang krusial yang perlu dilakukan. Perencanaan gedung tahan gempa ini digunakan meminimalisir korban jiwa yang disebabkan oleh keruntuhan pada bangunan. Oleh karena itu, menganalisis kemampuan bangunan terhadap beban gempa menjadi aspek yang sangat penting dalam upaya mitigasi risiko bencana. Saat ini perencanaan bangunan tahan gempa yang sering digunakan adalah perencanaan bangunan berbasis kinerja atau *performance based design*. Hal yang ditekankan dalam desain berbasis kinerja ini adalah respon struktur atau kinerja struktur. Untuk menunjukkan kondisi bangunan saat terjadi gempa, tidak cukup dengan melakukan metode evaluasi elastik, karena evaluasi elastik tidak menjelaskan respon pascakerusakan dan tidak bisa digunakan untuk menentukan level kinerja suatu bangunan. Oleh karena itu, untuk mengetahui kinerja struktur digunakan analisis statik nonlinier. Salah satu metode analisis statik non linier yang digunakan untuk mengetahui kinerja suatu struktur adalah metode analisis pushover. Analisis pushover bertujuan untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi, serta mengetahui pola terbentuknya sendi plastis yang digunakan untuk mengidentifikasi urutan kegagalan elemen-elemen struktur.

Gedung DPRD Bojonegoro merupakan gedung pemerintahan daerah di Kabupaten Bojonegoro. Menyadari pentingnya peran Gedung DPRD sebagai pusat aktivitas pemerintahan Kabupaten Bojonegoro perlu dilakukan evaluasi kinerja struktur gedung saat terjadi gempa bumi.

Dalam melakukan pemodelan struktur dan analisis pushover membutuhkan *software* SAP2000. Hasil analisis dievaluasi menggunakan kriteria level kinerja struktur yang mengacu pada pedoman ATC-40, yang mencakup *Immediate Occupancy (IO)*, *Damage Control (DC)*, *Life Safety (LS)*, dan *Structural Stability (SS)*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kinerja seismic struktur Gedung DPRD Bojonegoro menggunakan metode pushover dengan menentukan level kinerja struktur berdasarkan terbentuknya sendi plastis dan kurva kapasitas.

## 2. METODE PENELITIAN

### Data Perencanaan

Gedung DPRD Bojonegoro merupakan gedung perkantoran 3 (tiga) lantai dengan tinggi lantai 4,5 meter. Struktur atas yang digunakan adalah sistem rangka pemikul momen khusus. Material struktur yang digunakan adalah beton dengan kuat tekan K300 atau 25 MPa dengan baja tulangan ulir *Grade 42* ( $f_y = 420$  MPa) dan baja tulangan polos *Grade 28* ( $f_y = 280$  MPa).

### Metode Analisis

Analisis yang digunakan adalah analisis pushover dengan metode ATC-40. Langkah awal dalam analisis ini adalah pemodelan struktur yang dilanjutkan dengan pembebanan struktur yaitu beban gravitasi dan beban gempa. Kemudian di analisis menggunakan SAP2000. Hasil analisis di evaluasi dengan pemeriksaan jumlah ragam, pemilihan jenis ragam, perbandingan geser dasar statis dan geser dasar dinamik, pemeriksaan simpangan anatar lantai, dan control stabilitas P-Delta struktur. Setelah semua memenuhi, dilanjutkan dengan memasukkan jumlah tulangan terpasang pada elemen struktur. Kemudian di evaluasi menggunakan analisis pushover. Hasil dari analisis pushover berupa kurva kapasitas. Selanjutnya, kurva kapasitas ini digunakan untuk mengevaluasi Tingkat kinerja struktur menggunakan pedoman ATC-40.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

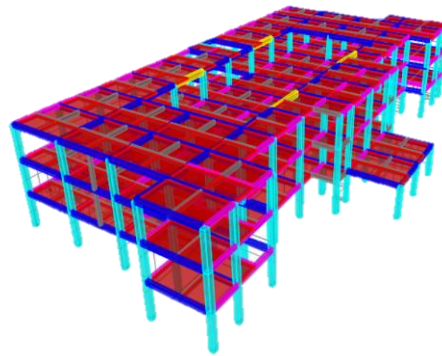
### Pemodelan Struktur

Dimensi elemen struktur yang dipakai dalam analisis ini seperti pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Dimensi elemen struktur

Elemen Struktur	Dimensi (mm)
Balok B1	300 x 600
Balok B2	300 x 500
Balok B3	250 x 500
Balok B4	200 x 500
Balok B6	200 x 400
Balok B7	350 x 700
Kolom K1	550 x 550
Kolom K2	400 x 400
Kolom K3	300 x 300
Pelat	120 (Tebal)

Pemodelan tiga dimensi struktur gedung DPRD berdasarkan dimensi elemen struktur seperti pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Tampilan 3D Gedung DPRD Bojonegoro

### **Pembebanan Struktur**

Beban yang bekerja pada struktur gedung DPRD meliputi beban gravitasi dan beban gempa. Beban gravitasi terdiri dari beban mati, beban mati tambahan dan beban hidup.

#### **A. Beban Gravitasi**

##### **1. Beban mati**

Beban mati terdiri dari berat sendiri struktur yang telah dihitung secara otomatis oleh SAP2000.

##### **2. Beban mati tambahan**

Beban mati tambahan mencakup pada semua beban selain berat sendiri struktur yang bekerja pada elemen bangunan. Beban mati tambahan berupa beban mati tambahan pada pelat lantai dan beban mati tambahan pada balok.

- Beban mati tambahan pada pelat lantai,  $Q = 224 \text{ kg/m}^2$
- Beban mati tambahan pada balok,  $Q = 554 \text{ kg/m}$

##### **3. Beban hidup**

Beban hidup terdiri beban orang yang melakukan kegiatan di atas bangunan.

- Beban hidup,  $Q = 240 \text{ kg/m}$

#### **B. Beban Gempa**

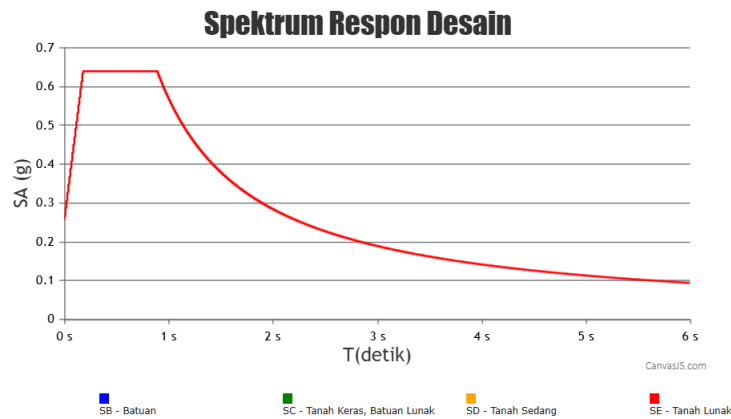
##### **1. Beban statik ekuivalen**

Perhitungan beban statik ekuivalen dilakukan secara otomatis pada *software* SAP2000.

##### **2. Beban gempa dinamik respons spektrum**

Berikut parameter yang dimasukkan ke dalam *software* SAP2000.

Kategori risiko	= II
Factor keutamaan gempa, $I_e$	= 1,0
Koefisien modifikasi respons, $R$	= 8
Factor pembesaran defleksi, $C_d$	= 5,5
Kelas situs	= Tanah Lunak
$S_s$	= 0,696 g
$S_1$	= 0,3101 g
TL	= 20,000000 detik



Gambar 2. Grafik spektrum gedung DPRD Bojonegoro

Ketika beban gravitasi dan beban gempa terjadi secara bersamaan, maka terbentuklah kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan harus dipertimbangkan agar struktur memiliki kekuatan yang mampu menahan beban terfaktor. Kombinasi pembebanan untuk metode ultimit seperti pada table 2.

Table 2. Kombinasi pembebanan

Kombinasi Pembebanan
1,4 D
1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr atau R)
1,2 D + 1,0 L + 1,0 E
0,9 D + 1,0 E

Keterangan :

DL = beban mati, termasuk SDL

LL = beban hidup

Ex = beban gempa arah x

Ey = beban gempa atah y

### Analisis Struktur

Dari hasil analisis didapatkan ratio partisipasi massa lebih dari 90% pada mode ke 6. Pada analisis dinamik respons spektrum, metode yang digunakan adalah SRSS (*Square Root of the Sum of Square*) karena terdaat waktu getar alami yang lebih dari 15%. Berdasarkan SNI Gempa 7.9.4.1 mengenai skala gaya, disebutkan bahwa gaya geser dasar dinamis harus

lebih besar 85% dari gaya geser statis. Hasil gaya geser dasar statik dan dinamik dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil gaya geser dasar statik dan dinamik

Base Shear	Dinamik Geser Dasar (kN)	Statik Geser Dasar (kN)	0,85 x Statik Geser Dasar (kN)	Faktor Skala 0,85 $V_{statik}$ $V_{dinamik}$	kontrol $V_d > 85\% V_s$
X - Direction	2146,343	2993,501	2544,476	1,185	Tidak Memenuhi
Y - Direction	2137,733	2993,396	2544,387	1,190	Tidak Memenuhi

Berdasarkan tabel 3 persyaratan gasar geser gempa dinamik belum terpenuhi ( $V_{dinamik} < V_{statik}$ ), maka besarnya  $V$  dinaik harus dikalikan nilainya dengan factor skala. Simpangan lantai terbesar yang terjadi pada struktur gedung DPRD adalah arah X, yaitu sebesar 56,02 mm. Namun, simpangan tersebut masih lebih kecil dari simpangan antar lantai ijinnya. Ketika terjadi simpangan lateral akibat beban gempa yang menghasilkan beban tambahan dari gaya gravitasi mengakibatkan deformasi bangunan dan mengalami momen guling tambahan maka terjadi efek P-Delta. Stabilitas struktur P-Delta arah x dan y pada gedung DPRD Bojonegoro yaitu stabil. Sehingga analisis selanjutnya dapat dilakukan. Stabilitas struktur P-Delta dapat dilihat pada **table 4. dan 5.**

**Tabel 4.** Stabilitas struktur P-Delta arah X

LANTAI	Hsx (mm)	$\Delta x$ (mm)	P (kN)	Vx (kN)	$\theta$ koefisien stabilitas	$\theta_{ijin}$ koefisien stabilitas ijin	Keterangan
atap	4500	40,799	9714,24	767,772	0,02	0,091	Stabil
3	4500	56,028	29436,86	1747,829	0,04	0,091	Stabil
2	4500	35,271	50087,9	2198,469	0,03	0,091	Stabil

**Tabel 5.** Stabilitas struktur P-Delta arah Y

LANTAI	Hsx (mm)	$\Delta y$ (mm)	P (kN)	Vy (kN)	$\theta$ koefisien stabilitas	$\theta_{ijin}$ koefisien stabilitas ijin	Keterangan
atap	4500	40,29	9714,24	833,223	0,02	0,091	Stabil
3	4500	50,09	29436,86	1753,419	0,03	0,091	Stabil
2	4500	30,29	50087,9	2210,407	0,03	0,091	Stabil

**Pola Keruntuhan Struktur**

Berdasarkan hasil pengolahan kurva kapasitas akibat analisis pushover arah x dan y, didapatkan 11 step pembebanan lateral yang diterapkan hingga struktur mencapai kondisi runtuh.

**Tabel 6.** Parameter hasil analisis Pushover arah x

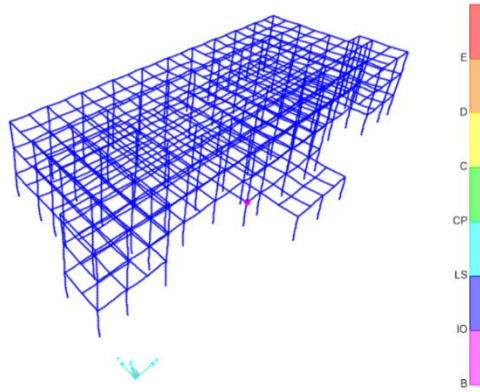
Step	$\delta$ mm	Base Force N	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	< E	Total
0	0,288	0	1068	0	0	0	0	0	0	0	1068
1	27,288	1737190	1068	0	0	0	0	0	0	0	1068
2	54,288	3474380	1068	0	0	0	0	0	0	0	1068
3	81,288	5211697	1068	0	0	0	0	0	0	0	1068
4	108,288	6948884	1067	1	0	0	0	0	0	0	1068
5	120,435	7729180	1066	2	0	0	0	0	0	0	1068
6	149,964	9600281	1050	18	0	0	0	0	0	0	1068
7	173,845	10915386	974	93	0	0	1	0	0	0	1068
8	203,436	11631800	940	125	1	0	2	0	0	0	1068
9	232,516	12217555	892	109	63	0	4	0	0	0	1068
10	261,076	12678869	841	152	71	0	4	0	0	0	1068
11	280,288	12815418	835	158	71	0	4	0	0	0	1068

**Tabel 7.** Parameter hasil analisis Pushover arah y

Step	$\delta$ mm	Base Force N	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	< E	Total
0	-0,251	0	1068	0	0	0	0	0	0	0	1068
1	26,748	2369133	1068	0	0	0	0	0	0	0	1068
2	53,748	4738262	1068	0	0	0	0	0	0	0	1068
3	80,748	7107762	1068	0	0	0	0	0	0	0	1068
4	84,078	7400007	1067	1	0	0	0	0	0	0	1068
5	112,588	9804633	1047	21	0	0	0	0	0	0	1068
6	140,876	11882233	1005	62	0	0	1	0	0	0	1068
7	169,682	13122288	951	80	16	0	21	0	0	0	1068
8	197,032	13974877	918	65	59	0	26	0	0	0	1068
9	226,685	14768867	878	98	62	0	30	0	0	0	1068
10	256,876	15384680	822	130	85	0	30	1	0	0	1068
11	269,748	15601694	809	127	101	0	30	1	0	0	1068

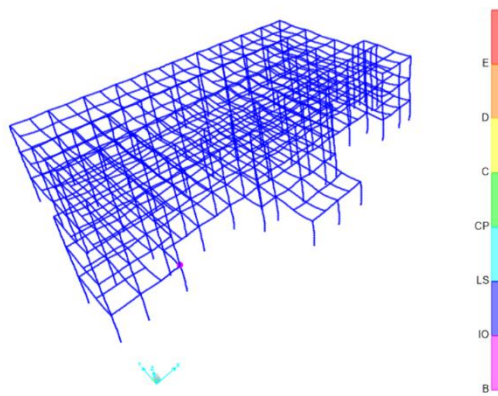
Pembentukan sendi plastis pada pushover arah x pertama kali terjadi pada step ke 4 (empat). Sendi plastis mulai terbentuk pada ujung balok B4 pada lantai ke 2 (dua)

ditunjukkan dengan adanya warna pink pada elemen balok tersebut yang berarti bahwa elemen tersebut berada pada Tingkat kinerja B ke IO.



Gambar 3. Pushover arah x step 4

Pembentukan sendi plastis pada pushover arah y pertama kali terjadi pada step ke 4 (empat). Sendi plastis mulai terbentuk pada ujung balok B3 pada lantai ke 2 (dua) ditunjukkan dengan adanya warna pink pada elemen balok tersebut yang berarti bahwa elemen tersebut berada pada Tingkat kinerja B ke IO.



Gambar 4. Pushover arah y step 4

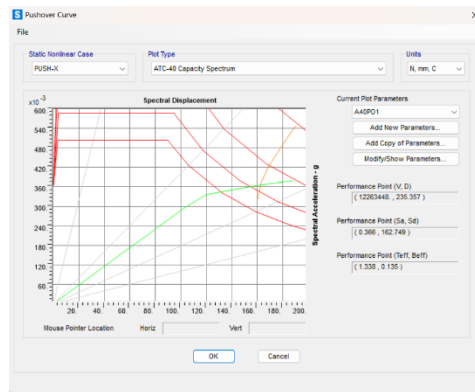
**Level Kinerja Struktur**

Level kinerja struktur ditetapkan berdasarkan pedoman ATC-40. Mengacu pada ATC-40, penentuan level kinerja struktur dapat ditentukan melalui tabel 7.

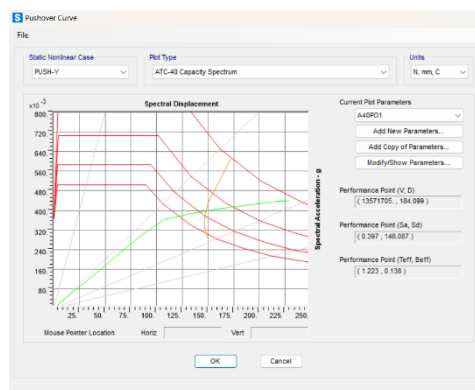
**Tabel 8.** Batasan *drift ratio*

Tingkat Kinerja Struktur				
Batas Simpangan Antar Lantai	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Struktural Stability

Tingkat Kinerja Struktur				
Simpangan Total Maksimum	0,01	0,01 – 0,02	0,02	$0,33V_i/P_i$
Simpangan Inelastis Maksimum	0,005	0,005 – 0,015	No Limit	No Limit



Gambar 5. Kurva kapasitas spektrum arah x



Gambar 6. Kurva kapasitas spektrum arah y

Dari hasil analisis pushover arah x, diperoleh target perpindahan,  $\delta_T = 235,357$  mm dan gaya geser dasar,  $V_T = 12263448$  N. Dan dari hasil analisis pushover arah y, diperoleh target perpindahan,  $\delta_T = 184,099$  mm dan gaya geser dasar,  $V_T = 13571705$  N. Dari gambar 5 dan 6

dapat dihitung simpangan total maksimum dan simpangan inelastic maksimum untuk menentukan level kinerja struktur,

- Simpangan total maksimum

$$\text{Arah x-x} = \frac{\delta_T}{H_{Total}} = \frac{235,35}{13500} = 0,017$$

Berdasarkan batasan *drift ratio*, struktur gedung DPRD termasuk kedalam kategori kinerja DC (*Damage Control*)

$$\text{Arah y-y} = \frac{\delta_T}{H_{Total}} = \frac{184,099 \text{ mm}}{13500 \text{ mm}} = 0,013$$

Berdasarkan batasan *drift ratio*, struktur gedung DPRD termasuk kedalam kategori kinerja DC (*Damage Control*)

Simpangan inelastic maksimum

$$\text{Arah x-x} = \frac{\delta_T - \delta_1}{H_{Total}} = \frac{234,35 - 27,28}{13500} = 0,015$$

Berdasarkan batasan *drift ratio*, struktur gedung DPRD termasuk kedalam kategori kinerja DC (*Damage Control*)

$$\text{Arah y-y} = \frac{\delta_T - \delta_1}{H_{Total}} = \frac{184,099 - 26,74}{13500} = 0,011$$

Berdasarkan batasan *drift ratio*, struktur gedung DPRD termasuk kedalam kategori kinerja DC (*Damage Control*)

Maka berdasarkan pedoman ATC-40, dapat disimpulkan bahwa gedung DPRD Bojonegoro memiliki level kinerja *Damage Control*. Dimana *damage control* adalah kondisi dimana bangunan tetap mampu menahan gempa yang terjadi, dengan risiko sangat kecil terhadap korban jiwa.

#### 4. KESIMPULAN

Pola terbentuknya sendi plastis ditandai dengan adanya bentuk warna dengan kategori yang menunjukkan kondisi yang berbeda-beda. Berdasarkan hasil analisis pushover gedung DPRD pada arah x dan arah y terlihat bahwa sendi plastis pertama kali muncul pada elemen balok yang artinya struktur gedung DPRD telah memenuhi prinsip desain kolom kuat dan balok lemah. Dan berdasarkan hasil analisa spektrum kapasitas, struktur gedung DPRD termasuk kedalam kategori *Damage Control*. Dengan nilai simpangan maksimum total pada arah x sebesar 0,017 dan pada arah y sebesar 0,013. Dan nilai simpangan inelastic maksimum pada arah x sebesar 0,015 dan pada arah y sebesar 0,011.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

Atc, A. (1996). 40, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. *Applied Technology*

*Council*, 1, 334.

Badan Standardisasi Nasional. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. *Sni 2847-2019*, 8, 720.

Badan Standardisasi Nasional. (2010). *RSNI 03-1726-2010 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*.

DPU. (1983). Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG). In *Departemen Pekerjaan Umum* (pp. 1–9).

Kariso, P. H., Dapas, S. O., & Pandaleke, R. E. (2018). Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). *Jurnal Sipil Statik*, 6(6), 361–372.

Kholil, A., Sundari, T., Nugroho, M. W., & Ramadhani, R. (2023). Evaluasi Kinerja Struktur Tahan Gempa Dengan Metode Pushover Analysis Pada Gedung RS. Muhammadiyah Siti Khodijah Gurah - Kediri. *Jurnal Sipil Terapan*, 1(2), 35–49.

Laresi, Y. T. (2017). *Analisis Pushover Terhadap Ketidakberaturan Gedung Universitas 9 Lantai*.

Septian, N., Turuallo, G., & Sulendra, I. K. (2022). Kinerja Portal Struktur Gedung Tahan Gempa dengan Sistem Ganda Menggunakan Metode Pushover Analysis. *REKONSTRUKSI TADULAKO: Civil Engineering Journal on Research and Development*, February, 35–42. <https://doi.org/10.22487/renstra.v3i1.405>

Wardi, S., & Ramadhani, U. (2023). Analisis Kinerja Seismik Gedung dengan Pushover Analysis (Studi Kasus: Gedung Perkantoran Tiga Tingkat yang Runtuh Akibat Gempa Palu 2018). *Cantilever: Jurnal Penelitian Dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 12(1), 49–54. <https://doi.org/10.35139/cantilever.v12i1.190>