

EVALUASI KINERJA STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN *PUSHOVER ANALYSIS*

*Yogi Oktapianto*¹
*Relly Andayani*²

^{1,2}*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Gunadarma*

Jalan Margonda Raya No.100 Pondok Cina Depok

¹*yogi_oktapianto@student.gunadarma.ac.id*

²*rellyand@staff.gunadarma.ac.id*

Abstrak

Perencanaan gedung tahan gempa di Indonesia sangat penting karena sebagian besar wilayahnya merupakan wilayah gempa yang mempunyai intensitas sedang hingga tinggi. Untuk itu dilakukan studi evaluasi kinerja pada struktur gedung beton bertulang. Metode yang digunakan adalah Analisis Pushover atau analisis beban dorong statik yaitu analisis yang digunakan untuk mengetahui perilaku keruntuhan struktur terhadap gempa. Analisis dan evaluasi kinerja dengan menggunakan analisis pushover dilakukan dengan menggunakan program SAP2000 (Built-in). Titik kinerja evaluasi struktur ditentukan dengan metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356). Hasil perencanaan gedung struktur beton bertulang pada tugas akhir ini menyimpulkan bahwa titik kinerja yang menentukan adalah metode Koefisien Perpindahan FEMA 356 dengan target perpindahan sebesar 0,200 m kinerja yang diperlihatkan oleh struktur adalah LS (life safety). Sedangkan SNI 03-1726-2002 memberi nilai target perpindahan sebesar 0,011 m.

Kata Kunci : *Beton bertulang, analisis pushover, titik kinerja, perencanaan tahan gempa, simpangan.*

PENDAHULUAN

Fenomena gempa merupakan gejala alam yang sangat berpengaruh terhadap bangunan, terutama pada bangunan tinggi. Perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa sangat penting di Indonesia, mengingat sebagian besar wilayahnya terletak dalam wilayah gempa dengan intensitas sedang hingga tinggi. Bangunan pada daerah rawan gempa harus direncanakan mampu bertahan terhadap gempa. Trend perencanaan yang terkini yaitu performance based seismic design, yang memanfaatkan teknik analisis non-linier berbasis komputer untuk menganalisa perilaku inelastis struktur dari berbagai macam intensitas gerakan tanah (gempa), sehingga dapat diketahui kinerjanya pada kondisi kritis. Selanjutnya dapat dilaku-

kan tindakan bilamana tidak memenuhi persyaratan yang diperlukan (Dewobroto, 2006).

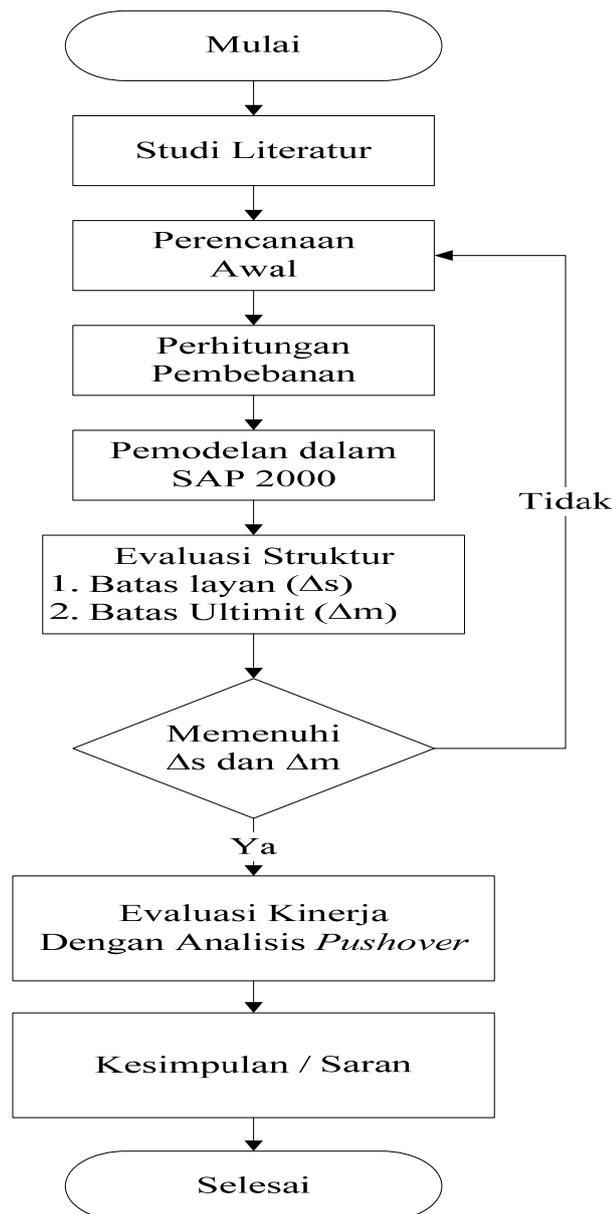
Analisis pushover digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur bangunan pada saat terjadi gempa dengan direpresentasikan menggunakan level kinerja sesuai aturan, sehingga perencanaan ini biasa disebut dengan perencanaan tahan gempa berbasis kinerja. Level kinerja akan memberitahukan perilaku keruntuhan bangunan pada saat terjadi gempa sesuai dengan kondisi yang ada.

Tujuan dari penelitian ini yaitu mengevaluasi kinerja struktur beton bertulang terhadap gempa. Metode yang digunakan adalah Analisis Pushover atau analisis beban dorong statik yaitu analisis yang digunakan untuk mengetahui perilaku keruntuhan struktur terhadap gempa,

dan untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya.

METODE PENELITIAN

Evaluasi struktur gedung tahan gempa dengan menggunakan analisis pushover dengan Metode Koefisien Perpindahan FEMA 356, dan Kinerja Batas Ultimit menurut SNI 03-1726-2002.

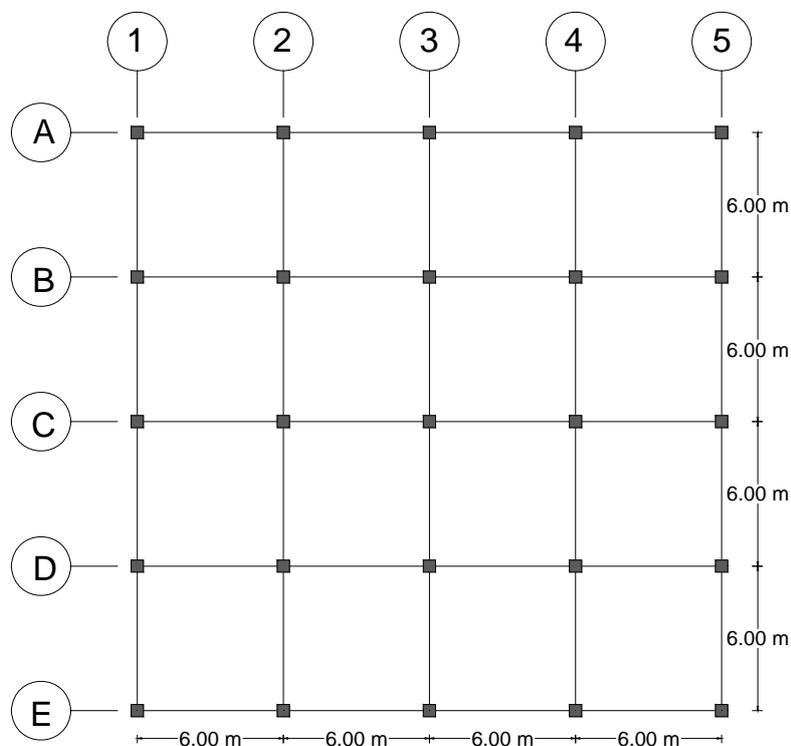


Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

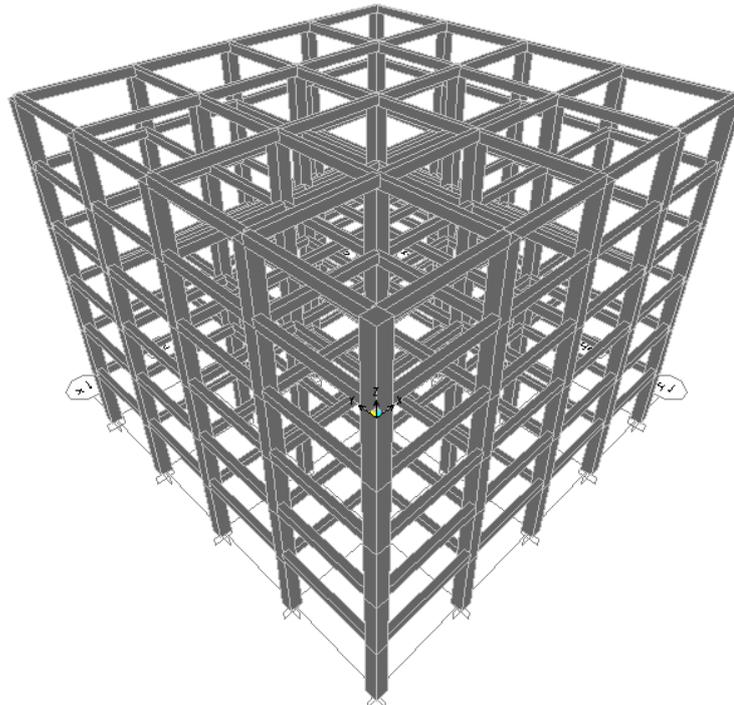
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Penelitian

Jenis Struktur	: Gedung Struktur Beton Bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
Material Utama Struktur	: Beton Bertulang
Kategori Bentuk Bangunan	: Beraturan
Fungsi Bangunan	: Perkantoran
Jumlah Lantai	: 6 Tingkat
Tinggi Bangunan Keseluruhan	: 21,5 m
Tinggi Lantai Dasar	: 4,00 m
Tinggi Lantai Tipikal	: 3,50 m
Dimensi Penampang	
Tebal Pelat	: 0,12 m



Gambar 2. Denah Bangunan



Gambar 3. Struktur 3 Dimensi

Tabel 1.
Distribusi Gaya Geser Dasar Akibat Gempa Sepanjang Tinggi Gedung

Lantai	Zi (m)	Wi (kg)	Wi.Zi (kg.m)	Fix= Fiy (kg)
Atap	21.5	403,818.00	8,682,087.00	61,846.88
5	18	503,508.00	9,063,144.00	64,561.35
4	14.5	503,508.00	7,300,866.00	52,007.75
3	11	503,508.00	5,538,588.00	39,454.16
2	7.5	503,508.00	3,776,310.00	26,900.56
1	4	585,258.00	2,341,032.00	16,676.35
Σ		3,003,108.00	36,702,027.00	261,447.05

Analisis Data

Analisis Gempa Statik Ekuivalen ditinjau terhadap 2 arah yaitu arah x dan arah y, karena bangunan simetris dimana nilai $F_x = F_y$ maka untuk perhitungan hanya akan meninjau arah x.

Berdasarkan hasil perhitungan di atas maka didapatkan besarnya gaya gempa untuk analisis statik ekuivalen 3D kemudian dilakukan pengecekan waktu

getar alami fundamental Rayleigh dimana hasilnya menunjukkan nilai menyimpang lebih dari 20% $T_{empiris} = 0,73$ detik sedangkan waktu getar bangunan dengan cara T-Rayleigh adalah sebesar 1,102 detik.

Sehingga distribusi gempanya perlu dihitung kembali menggunakan waktu getar Rayleigh.

Tabel 2.
Distribusi Beban Gempa Berdasarkan Waktu Getar T-Rayleigh

Lantai	Zi (m)	Wi (kg)	Wi.Zi (kg.m)	Fix= Fiy (kg)
Atap	21.5	403,818.00	8,682,087.00	40,952.67
5	18	503,508.00	9,063,144.00	42,750.08
4	14.5	503,508.00	7,300,866.00	34,437.56
3	11	503,508.00	5,538,588.00	26,125.05
2	7.5	503,508.00	3,776,310.00	17,812.53
1	4	585,258.00	2,341,032.00	11,042.45
Σ		3,003,108.00	36,702,027.00	173,120.34

Dari data distribusi beban gempa berdasarkan waktu getar T-Rayleigh pada Tabel.2 diatas maka waktu getar

bangunan dengan cara T-Rayleigh adalah sebagai berikut:

$$T_x = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot d_i^2}{g \cdot \sum_{i=1}^n F_i \cdot d_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{1,200,075,676.76}{9810 \times 3,678,625.751}} = 1.149 \text{ detik}$$

Maka didapatkan nilai $T_x = 1,149$ detik, (meyimpang 4,26% dari 1,102 detik OK)

Setelah analisis waktu getar T-Rayleigh dilakukan dan memenuhi persyaratan dalam SNI 03-1726-2002 yaitu menyimpang tidak lebih dari 20% waktu getar sebelumnya, maka akan diperiksa syarat kinerja batas layan (Δs) pada struktur gedung. Tabel 3 adalah tabel analisis kinerja batas layan.

Dari tabel 3 Δx merupakan kinerja batas layan struktur pada arah yang ditinjau dimana arah yang ditinjau adalah arah x. Berdasarkan hasil analisis, kinerja batas layan yang diperlihatkan pada setiap lantai telah memenuhi syarat yang harus dipenuhi yaitu tidak melebihi 14,12 mm pada lantai 1 dan 12,35 mm pada lantai 2 sampai atap.

Tabel 3.
Analisis Kinerja Batas Layan (Δs)

Lantai	Zi (m)	Arah x			Keterangan
		x (mm)	Δx (mm)	Syarat Δs (mm)	
Atap	21.5	27.29	1.89	12.35	OK
5	18	25.40	3.38	12.35	OK
4	14.5	22.02	4.73	12.35	OK
3	11	17.29	5.73	12.35	OK
2	7.5	11.57	6.21	12.35	OK
1	4	5.35	5.35	14.12	OK

Tabel 4.
Analisis Kinerja Batas Ultimit (Δm)

Lantai	Zi (m)	Arah x			Keterangan
		Δx (mm)	Δm (mm)	Δm izin (mm)	
Atap	21.5	1.89	11.25	70	OK
5	18	3.38	20.11	70	OK
4	14.5	4.73	28.14	70	OK
3	11	5.73	34.09	70	OK
2	7.5	6.21	36.95	70	OK
1	4	5.35	31.83	80	OK

Setelah menentukan kinerja batas layan (Δs), selanjutnya adalah memeriksa kinerja batas ultimit (Δm). Kinerja batas ultimit struktur dihitung berdasarkan simpangan antar tingkat struktur akibat pembebanan nominal dikalikan dengan suatu faktor pengali ξ dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel.4 berikut:

Pada Tabel.4 diatas Δx merupakan simpangan antar tingkat, sedangkan Δm merupakan kinerja batas ultimit struktur. Untuk memenuhi persyaratan, kinerja batas ultimit (Δm) tidak boleh lebih besar dari $0,02 \times h_i$. Dimana h_i adalah tinggi lantai yang ditinjau.

Berdasarkan hasil analisis, kinerja batas ultimit yang diperlihatkan pada setiap lantai telah memenuhi syarat yang harus dipenuhi yaitu tidak melebihi 80 mm pada lantai 1 dan 70 mm pada lantai 2 sampai atap.

Analisis Pushover

Untuk menentukan target perpindahan mengacu pada metode koefisien perpindahan FEMA 356.

Target perpindahan pada titik kontrol δT , ditentukan sebagai berikut:

$$T_e = 1,074 \text{ detik}$$

$C_0 = 1,42$ (Tabel 3.2 dari FEMA 356 untuk bangunan 6 lantai)

$T_s = 0,73$ (Adalah waktu getar karakteristik dari kurva respons spektrum Wilayah 6 dengan tanah sedang)

$$C_1 = 1,0 \text{ untuk } T_e \geq T_s$$

$$C_2 = 1,0 \text{ untuk prosedur Nonlinear}$$

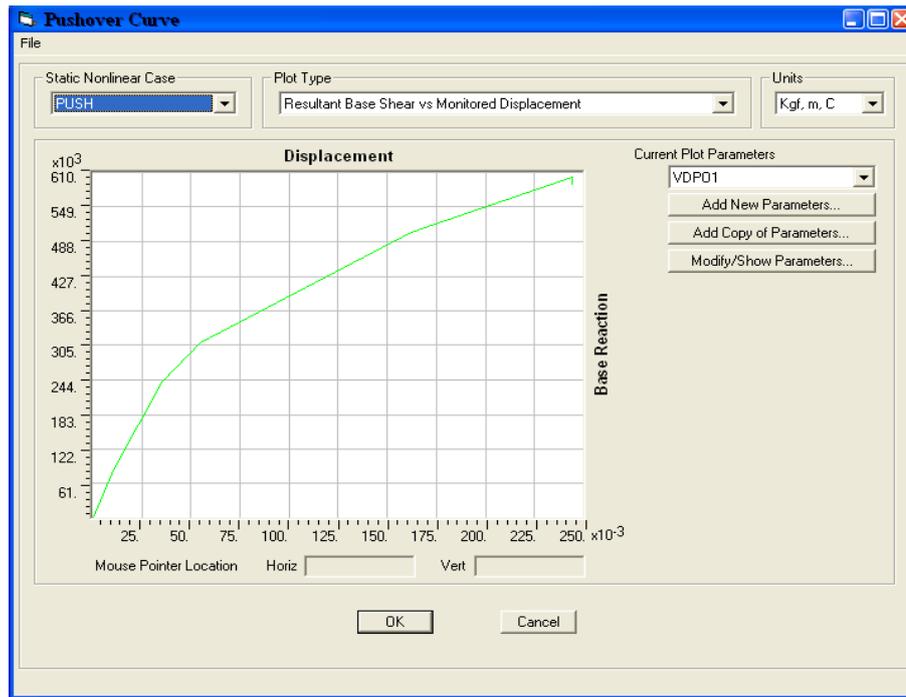
$C_3 = 1,0$ (Kekakuan pasca leleh adalah positif)

$S_a = 0,54/T_e = 0,50$ (peta gempa Wilayah 6, dengan tanah sedang)

Maka target perpindahan dapat dihitung, sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_T &= c_0 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot S_a \left(\frac{T_e}{2\pi} \right)^2 \cdot g \\ &= 1,42 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,50 \left(\frac{1,074}{2\pi} \right)^2 \cdot 9,81 \\ &= 0,2 \text{ m} \end{aligned}$$

Analisis pushover menghasilkan suatu kurva yang menggambarkan hubungan antara beban total (gaya geser dasar) versus perpindahan (*displacement*). Kurva ini disebut sebagai kurva pushover. Kurva ini menunjukkan perilaku struktur secara global terhadap pembebanan lateral.



Gambar 4. Kurva Pusover

Tabel 5.
Tabel Kurva Pushover

TABLE: Pushover Curve – PUSH

Step	Displacement M	BaseForce Kgf	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPToC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
0	2.76E-17	0	780	0	0	0	0	0	0	0	780
1	0.010958	88393.12	778	2	0	0	0	0	0	0	780
2	0.035759	241174.47	672	108	0	0	0	0	0	0	780
3	0.054826	310348.79	618	162	0	0	0	0	0	0	780
4	0.162369	504732.32	517	225	38	0	0	0	0	0	780
5	0.243916	602179.63	418	257	80	24	0	0	0	0	780
6	0.243926	589869.94	417	258	80	20	0	4	1	0	780
7	0.243627	587416.57	417	258	80	20	0	4	1	0	780

Kurva diatas menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar terhadap perpindahan yang terjadi akibat beban gempa pada struktur bangunan. Untuk melihat hasil yang lebih detail bisa dilihat pada Tabel.5.

Dengan target perpindahan $\delta T = 0.2$ m terlihat bahwa dalam step 5 dimana perpindahan mencapai $0.243916 \text{ m} > \delta T$, kinerja yang diperlihatkan oleh struktur adalah LS (*life safety*), yang artinya

menunjukkan bahwa target perpindahan telah terpenuhi dan bangunan aman untuk dihuni.

Pada kondisi tersebut, terdapat 80 sendi plastis di tingkat *Immediate Occupancy (IO)*, 24 sendi plastis di tingkat *Life Safety (FS)*, dan 0 sendi plastis di tingkat *Collapse Prevention (CP)* yang artinya terhindar dari kereuntuhan.

Tabel 6.
Evaluasi Kinerja Struktur

Kriteria	Target Perpindahan (m)	Nilai Batas 0,02 H (m)
Koefisien Perpindahan FEMA 356	0,20	0,43
Kinerja Batas Ultimit SNI 1726	0,011	

Dari kedua kriteria didapatkan target perpindahan menurut FEMA 356 yang lebih menentukan dengan nilai 0,20 dibandingkan dengan SNI 1726 sebesar 0,011 m.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Koefisien Perpindahan FEMA 356 dan persyaratan Kinerja Batas Ultimit SNI 1726 menghasilkan nilai δT yang berbeda.
2. Hasil perencanaan gedung struktur beton bertulang pada tugas akhir ini menyimpulkan bahwa titik kinerja yang menentukan adalah metode Koefisien Perpindahan FEMA 356, berdasarkan target perpindahan $\delta T = 0,200$ m dengan perpindahan sebesar 0,243916m kinerja yang diperlihatkan oleh struktur adalah LS (*life safety*) dimana gedung hanya mampu menahan gaya gempa sebesar 602.179,63kg . Sedangkan SNI 03-1726-2002 memberi nilai target perpindahan sebesar 0,011m.
3. Kesimpulan akhir yang dapat diperoleh dari tulisan ini adalah bahwa perencanaan berbasis kinerja dapat memberikan informasi sejauh mana suatu gempa akan mempengaruhi struktur. Dengan demikian sejak awal pemilik bangunan, perencana maupun pemakai mendapat informasi bagaimana bangunan tersebut berperilaku bila ada gempa.

Saran

Perlu diteliti kembali tingkat kinerja struktur berdasarkan metode-metode lain untuk mendapatkan hasil yang lebih baik mengenai perilaku struktur terhadap gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- BSN. 2002. SNI 03 – 2847 – 2002. *Tata Cara Perhitungan Beton untuk Struktur Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- BSN. 2002. SNI 03 – 1726 – 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Dewobroto, W. 2006. *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000*. Vol 3 , No 1. Universitas Pelita Harapan.
- Fada, I. 2011. *Pushover Analysis Of Jacket Structure With 800 Years Earthquake*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Federal Emergency Management Agency .2000. *Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings (FEMA 356)*. Washington, USA.
- Pamungkas, A. dan Erny Harianti. 2009. *Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*. ITS Press, Surabaya.
- Pradika,R. 2012. *Perencanaan Dan Evaluasi Kinerja Gedung A Rusunawa Gunungsari Menggunakan Konstruksi Baja Berbasis Konsep Kinerja Dengan Metode Pushover Analysis*. Institut

- Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Priambodo, A. 2012. *Studi Pengaruh Kelangsingan Gedung Terhadap Analisis Pushover Pada Gedung Bertingkat Beton Bertulang*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Ridwan. 2011. *Studi Komparasi Analisis Pushover Portal Beton Bertulang Dinding Pengisi Bata Menggunakan Model Fema 273 Dan Saneinejad-Hobbs*. Vol 10 , No 1. Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau.
- Risdanareni, P. 2010 *.Analisis Pengaruh Variasi Hubungan Tegangan Regangan Beton Dan Bentang Bangunan Terhadap Kinerja Struktur Rangka Tiga Dimensi Dengan Metode Nonlinier Pushover*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Tajunnisa, Y 2012. *Earthquake-Resistant Design Of Building With Pushover Analysis*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.