

## Desain Kinerja Struktur dengan Menggunakan Analisis *Pushover* pada Bangunan Gedung di Kota Palu

Arzal M. Zain

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palu  
Jl. Hangtuah No. 29 Telp 0451-426504 Palu 94118, e-mail achal1808@gmail.com

### ABSTRAK

*Resiko gempa pada gedung seringkali menjadi faktor utama pada keruntuhan gedung terutama pada daerah-daerah dengan tingkat resiko gempa yang tinggi. Kota Palu sesuai dengan peraturan gempa yang berlaku masih merupakan salah satu daerah dengan tingkat resiko gempa yang tinggi di Indonesia. Saat ini telah ada beberapa metode untuk menilai kinerja bangunan terhadap pengaruh gempa kuat, di antaranya adalah analisis pushover. Sehingga pada penelitian ini dicoba menganalisis suatu bangunan gedung yang diasumsikan terletak di Kota Palu kemudian dilakukan analisis pushover pada bangunan tersebut. Hasil analisa pushover dengan metode spektrum kapasitas yang sesuai dengan ATC-40 memeberikan titik kinerja dengan target perpindahan (displacement target) sebesar 41.327 mm. Berdasarkan perpindahan tersebut maka diketahui rasio perpindahan sebesar 0.0021 yang berarti tingkat kinerja gedung masih berada pada tingkat kinerja Immediate Occupancy Level.*

**Kata Kunci :** gempa, desain kinerja struktur, pushover

## 1. Pendahuluan

### 1.1. Latar Belakang

Tingkat kegempaan yang tinggi di Kota Palu tentunya memberikan pertanyaan-pertanyaan tersendiri pada bidang rekayasa tentang perilaku struktur terutama bangunan di Kota Palu. Telah ada beberapa metode untuk mengukur kinerja bangunan yang diakibatkan oleh beban gempa yang besar. Konsep untuk menentukan perilaku struktur seperti ini disebut dengan *Performance Based Design* atau Desain Kinerja Struktur.

Salah satu metode untuk menentukan Desain Kinerja Struktur adalah *Pushover Analysis*. Pada *Pushover Analysis* sistem struktur diberikan perpindahan lateral sampai dengan batas tertentu dengan *increment* tertentu untuk memperlihatkan perilaku keruntuhan dari sistem struktur. Dari hasil *pushover* bisa diperoleh grafik-grafik *capacity*, *demand* dan *elastic response spectrum* untuk mengetahui *performance point* dari sistem struktur tersebut.

### 1.2. Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku suatu bangunan yang diasumsikan terletak di Kota Palu dengan menggunakan Desain Kinerja Struktur analisis *Pushover*.

### 1.3. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Bangunan yang ditinjau diasumsikan terletak di Kota Palu Provinsi Sulawesi Tengah.

2. Studi ini hanya meninjau elemen-elemen struktur tertentu yaitu kolom dan balok.
3. Program yang digunakan untuk analisis struktur adalah SAP2000 v.17.
4. Peraturan yang digunakan untuk analisis dan desain adalah :
  - SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung
  - SNI 1726-2002 Standar Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung
  - Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983
5. Peraturan yang digunakan untuk *Pushover Analysis* adalah ATC-40

## 2. Tinjauan Pustaka

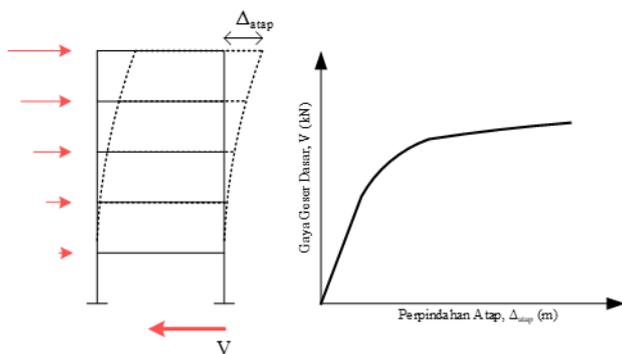
Analisa *Pushover* adalah suatu cara untuk menganalisis struktur dengan beban statik monotonik yang diaplikasikan sepanjang ketinggian struktur dan ditingkatkan sampai simpangan pada puncak atas struktur mencapai simpangan target. Dalam proses *pushover*, satu sendi plastis akan mencapai kondisi leleh pertama kemudian diikuti dengan kondisi leleh pada sendi-sendi plastis lainnya. Hal ini terus berlanjut sampai akhirnya, simpangan pada puncak struktur mencapai simpangan target atau struktur memasuki kondisi tidak stabil. Proses *pushover* bisa dilakukan dengan prosedur *load-controlled* atau *displacement-controlled*. Prosedur *load-controlled* digunakan jika beban yang diaplikasikan telah diketahui nilainya. Misalnya, beban gravitasi bisa diaplikasikan

dalam *pushover load-controlled*. Prosedur *displacement-controlled* biasanya digunakan jika beban yang bisa ditahan oleh suatu struktur belum diketahui dengan pasti. Sehingga, beban tersebut ditingkatkan sampai struktur mencapai suatu nilai simpangan target.

Tujuan analisa *pushover* adalah 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. Cukup banyak studi menunjukkan bahwa analisa statik *pushover* dapat memberikan hasil mencukupi (ketika dibandingkan dengan hasil analisa dinamik nonlinear) untuk bangunan regular dan tidak tinggi (Dewobroto, 2006).

### 2.1. Kurva Kapasitas

Kurva kapasitas (**Gambar 1**) menunjukkan hubungan antara Gaya Geser Dasar (*base shear*) terhadap peralihan atap (*roof displacement*). Kurva berbentuk nonlinier, yang mana menunjukkan peningkatan beban pasca-elastik sampai dengan kondisi plastis. Analisis *pushover* relevan dilakukan pada model struktur dengan klasifikasi beraturan, karena beban statis diaplikasikan pada pusat massa tiap lantai.



**Gambar 1. Kurva Kapasitas**

### 2.2. Titik Kinerja dengan Metode Kapasitas Spektra (ATC-40)

Sesuai dengan *The Applied Technology Council* (ATC-40) (1996), *performance point* atau Titik Kinerja adalah titik di mana *capacity curve* (Kurva Kapasitas) berpotongan dengan *response spectrum curve* (Kurva Respon Spektra) seperti yang digunakan dalam *capacity spectrum method* (Metode Kapasitas Spektrum).

Pada Titik Kinerja dapat diperoleh informasi mengenai periode bangunan dan redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadi sendi plastis. Berdasarkan informasi tersebut respon-respon struktur lainnya seperti nilai simpangan tingkat dan posisi sendi plastis dapat diketahui.

Metode Kapasitas Spektra merupakan teknik analisis berbasis kinerja seismik, dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti evaluasi cepat kapasitas bangunan, verifikasi desain baru konstruksi bangunan,

evaluasi struktur yang ada untuk mengidentifikasi suatu kerusakan, dan suatu korelasi yang menyatakan kerusakan bangunan untuk amplitudo berbagai gerakan tanah. Prosedur membandingkan kapasitas struktur (dalam bentuk kurva *pushover*) dengan *demand* (tuntutan kinerja) dalam bentuk respon spektra. Perpotongan grafis dari dua kurva mendekati respon struktur. Untuk menjelaskan perilaku nonlinear elastik dari sistem struktur, nilai redaman viskos untuk respon spektra linear elastis mirip dengan respon spektra inelastis.

Spektra kapasitas didapat dari kurva kapasitas (*capacity curve*) yang diperoleh dari analisis *pushover*. Karena kurva kapasitas merupakan hubungan antara gaya dorong total yang diberikan ke suatu struktur berderajat kebebasan banyak (*multi degree of freedom system*, MDOF) terhadap perpindahan yang dipilih sebagai referensi (umumnya puncak bangunan) sedangkan spektra *demand* dibuat untuk struktur dengan derajat kebebasan tunggal (*single degree of freedom system*, SDOF), maka kurva kapasitas dengan cara tertentu harus diubah menjadi spektra kapasitas dengan satuan yang sama dengan spektra *demand*. Spektra *demand* didapatkan dengan merubah respon spektra yang biasanya dinyatakan dalam spectral kecepatan ( $S_a$ ) dan periode ( $T$ ) menjadi format spectral kecepatan ( $S_a$ ) dan spectral perpindahan ( $S_d$ ). Format yang baru ini disebut *Acceleration-Displacement Response Spectra* (ADRS). Kurva kapasitas yang merupakan hasil dari *pushover* dinyatakan dalam satuan gaya (kN) dan perpindahan (m), sedangkan spektra *demand* memiliki satuan percepatan ( $m/detik^2$ ) dan perpindahan (m). Satuan dari kedua kurva tersebut perlu diubah dalam format yang sama, yaitu spectral percepatan ( $S_a$ ) dan spectral perpindahan ( $S_d$ ) agar dapat ditampilkan dalam satu tampilan.

Langkah-langkah perhitungan *performance point* dengan menggunakan ATC-40 :

- Plot respon spektrum elastis (5%) sesuai dengan kondisi tanah setempat (*demand spectrum*).
- Transformasikan Respon Spektra Standar ke kurva ADRS dengan **Persamaan 1**.

$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} S_a g \quad \text{Pers. 1}$$

- Plot spektra kapasitas hasil analisis *pushover* dengan dengan *response spectra* yang telah di konversi ke format ADRS.
- Pilih asumsi titik kinerja (*Performance Point*)  $a_p, d_p$ .
- Ubah spektrum kapasitas menjadi kurva bilinear.
- Hitung faktor reduksi spektra sesuai dengan **Persamaan 2, 3 dan 4** dengan syarat minimum seperti diperlihatkan pada **Tabel 1** kemudian plot *demand spectrum* sesuai dengan faktor reduksi spektra bersamaan dengan kurva kapasitas.

$$SRA = \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eff})}{2.12} \quad \text{Pers. 2}$$

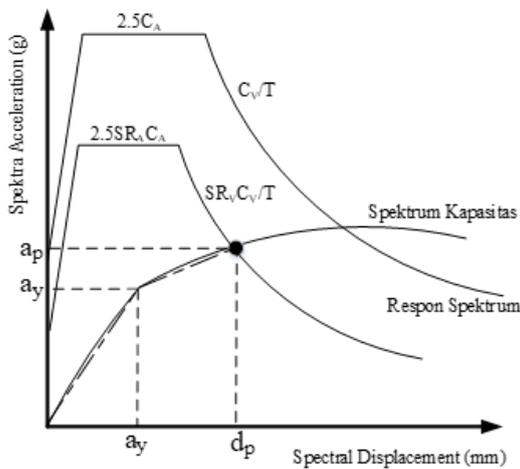
$$SRV = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}{1.65} \quad \text{Pers. 3}$$

$$\beta_{eff} = \frac{63.7\kappa(a_y d_p - d_y a_p)}{a_p d_p} + 5 \quad \text{Pers. 4}$$

Tabel 1. Reduksi Spektra Minimum

Tipe Struktur	SRA	SRV
A	0.33	0.5
B	0.44	0.56
C	0.56	0.67

- g) Tentukan apakah *demand spectrum* memotong spektrum kapasitas pada titik kinerja ( $a_p, d_p$ ) yang ditinjau seperti diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Penentuan Titik Kinerja atau *Performance Point*

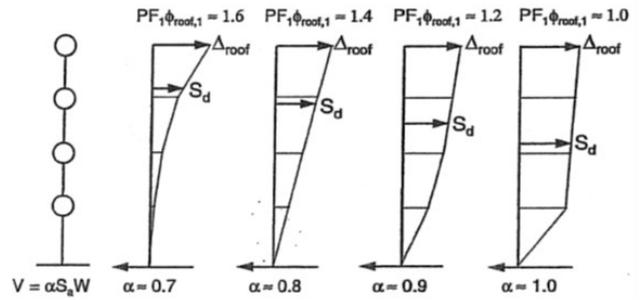
- h) Bila titik kinerja yang ditinjau belum berpotongan maka mulai lagi dengan asumsi titik kinerja yang baru sesuai dengan langkah pada point (d).
- i) Bila *demand spectrum* memotong spektrum kapasitas pada titik kinerja yang ditinjau maka  $a_p, d_p$  tersebut adalah titik kinerja atau *performance point*.
- j) Hitung perpindahan struktur atap ( $X_{roof}$ ) sesuai dengan Persamaan 5. Tingkat keamanan struktur pada saat gempa kuat terjadi ditentukan oleh batasan pada ATC-40.

$$X_{roof} = MPF \phi_{roof} S_d \quad \text{Pers. 5}$$

Dengan asumsi  $MPF \phi_{roof}$  secara tipikal sebagaimana pada Gambar 3.

2.3. Kriteria Kerentanan Gedung

Kerentanan bangunan adalah faktor-faktor yang dapat menyebabkan suatu bangunan rusak atau tidak dapat memenuhi kinerja yang diharapkan apabila terjadi gempa. Kerusakan yang terjadi pada bangunan akibat gempa bumi bisa bermacam-macam tingkatannya tergantung pada jenis



Gambar 3. Tipikal *Modal Participation Factor*

bangunan dan besaran gempa yang terjadi.

Dari hasil analisa *Pushover* dapat dilihat level kerusakan elemen struktur yang terjadi akibat deformasi yang diterima oleh bangunan. Sehingga dapat dilakukan evaluasi dan pengelompokkan terhadap kategori kerusakan dan tingkat kinerja gedung yang terjadi pada tiap perubahan nilai *displacement* yang terjadi. Batasan deformasi tingkat kinerja dan spektra kapasitas berdasarkan ATC-40 secara berturut-turut dapat dilihat pada Tabel 2, Tabel 3 dan Gambar 4.

Tabel 3. Tingkat Kinerja Struktural Berdasarkan ATC-40

No.	Tingkat Kinerja	Uraian
1	SP-1	<i>Immadiate Occupancy</i> (Penggunaan Sedang)
2	SP-2	<i>Damage Control</i> (Kontrol Kerusakan)
3	SP-3	<i>Life Safety</i> (Aman untuk Dihuni)
4	SP-4	<i>Limited Safety</i> (Kemanan Terbatas)
5	SP-5	<i>Structural Stability</i> (Stabilitas Struktural)
6	SP-6	<i>Not Considered</i> (Tidak Diperhitungkan)

3. Pembahasan

3.1. Sistem Struktur dan Material

Sistem struktur yang dianalisis merupakan Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus dengan material beton bertulang. Mutu beton yang digunakan adalah  $f_c' 30$  MPa dan penulangan utama arah memanjang adalah  $f_y 400$  MPa. Gedung terdiri dari 3 lantai dengan dimensi balok berkisar mulai dari  $30 \times 60$  cm<sup>2</sup> sampai dengan  $70 \times 140$  cm<sup>2</sup> dan kolom juga cukup beragam mulai dari  $60 \times 60$  cm<sup>2</sup> sampai dengan  $100 \times 100$  cm<sup>2</sup> dan ukuran pelat digunakan seragam dengan tebal 14 cm.

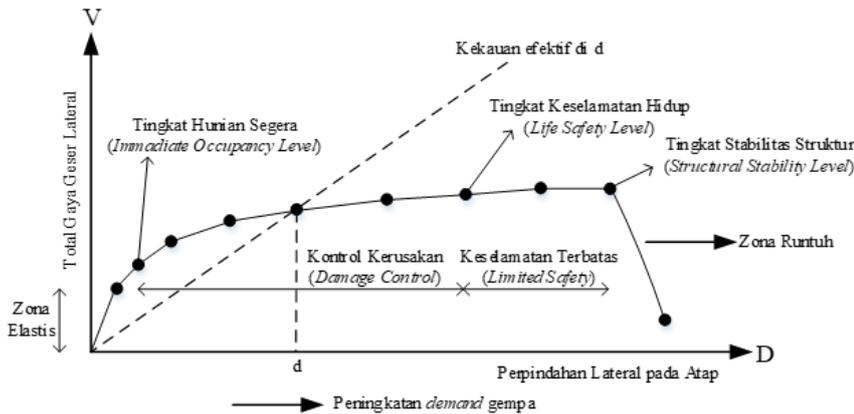
3.2. Pembebanan

Beban gravitasi baik beban mati maupun beban hidup ditetapkan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983.

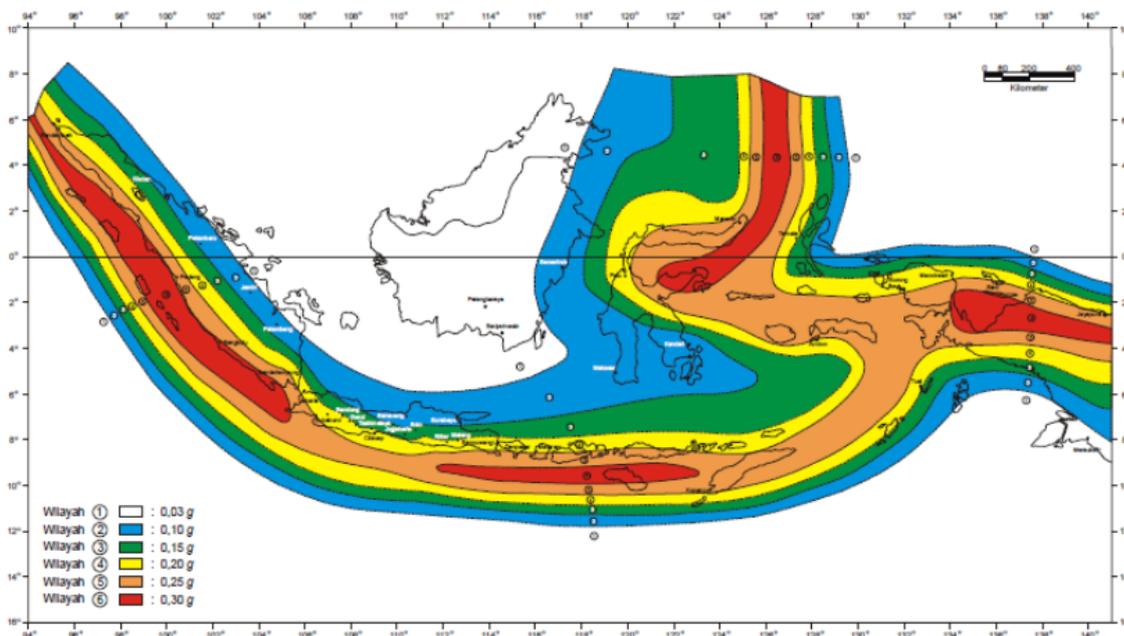
Untuk menganalisis beban gempa digunakan analisa Respon Spektrum berdasarkan SNI 1726-2002 Standar Perencanaan Bangunan Tahan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung. Berdasarkan SNI 1726-2002 Indonesia dibagi dalam beberapa wilayah gempa. Pembagian wilayah gempa ini didasarkan pada percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh Gempa Rencana dengan periode ulang 500 tahun dan penelitian ini

Tabel 2. Batas Deformasi Bangunan Gedung Berdasarkan ATC-40

Tingkat Kinerja				
Interstorey Drift Limit (Batas Simpangan Antar Lantai)	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Structural Stability
Maximum Total Drift (Simpangan Total Maksimum)	0.01	0.01-0.02	0.02	$0.33 \frac{V_i}{P_i}$
Maximum Inelastic Drift (Simpangan Inelastis Maksimum)	0.005	0.005-0.015	No Limit	No Limit



Gambar 4. Spektra Kapasitas



Gambar 5. Wilayah Gempa Indonesia dengan Percepatan Puncak Batuan Dasar Periode Ulang 500 Tahun

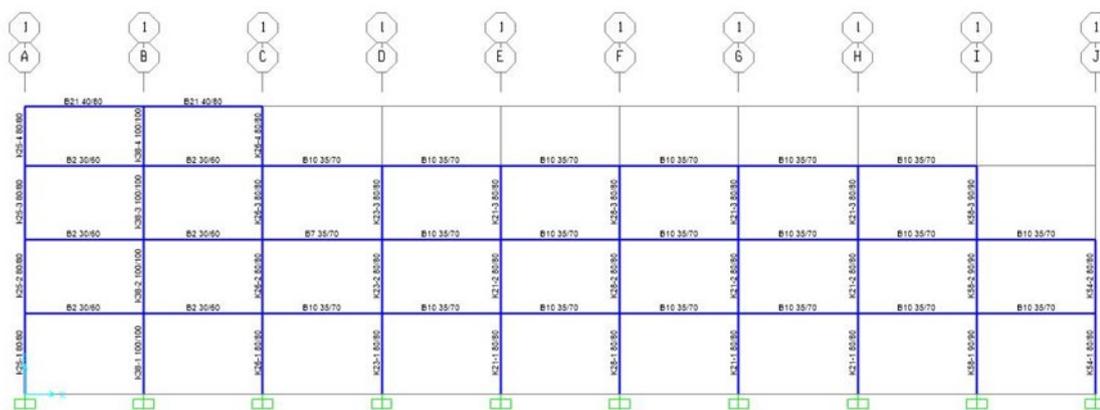
menggunakan lokasi Kota Palu terletak pada wilayah gempa 4 dengan respon spektrum sebagaimana terlihat pada Gambar 5.

### 3.3. Desain Kinerja Struktur

Tujuan dari analisa *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang mengalami kritis. Prosedur analysis dengan

memberikan beban statis dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap (*increment*) hingga mencapai target perubahan bentuk (*displacement*) tertentu.

Hasil dari analisis *pushover* yang dilakukan dengan alat bantu program SAP2000 v.17 adalah kurva kapasitas (*Capacity Curve*) skema kelelahan berupa distribusi sendi plastis yang terjadi dan titik kinerja (*Performance Point*).



Gambar 6. Portal Tipikal

Tujuan dari analisa *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang mengalami kritis. Prosedur analisis dengan memberikan beban statis dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap (*increment*) hingga mencapai target perubahan bentuk (*displacement*) tertentu.

Hasil dari analisis *pushover* yang dilakukan dengan alat bantu program SAP2000 v.17 adalah kurva kapasitas (*Capacity Curve*) skema kelelahan berupa distribusi sendi plastis yang terjadi dan titik kinerja (*Performance Point*).

Kurva kapasitas menunjukkan hubungan antara gaya gempa dan perpindahan yang terjadi hingga struktur runtuh. Perpindahan yang terjadi adalah perpindahan atap (*roof displacement*) dan gaya geser dasar (*base shear*).

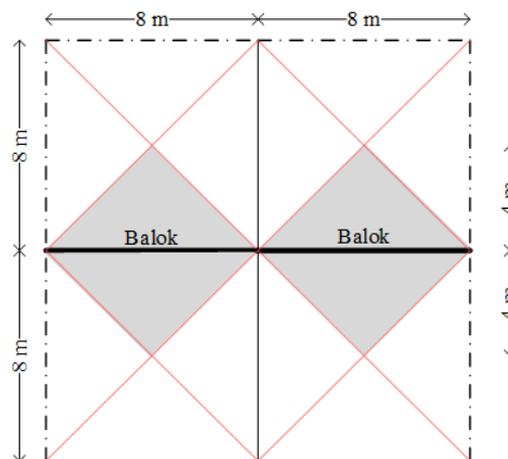
Penentuan titik kinerja yang dilakukan pada SAP2000 merupakan metode kapasitas spektrum yang sesuai dengan ATC-40. Dari hasil analisis ini bisa diperoleh parameter titik kinerja struktur. Konep desain kinerja struktur metode kapasitas spektrum pada dasarnya merupakan prosedur yang dilakukan untuk mendapatkan peralihan aktual struktur gedung. Peralihan aktual yang didapatkan dari hasil ini menunjukkan besar simpangan atap struktur. Perbandingan antara simpangan atap struktur terhadap tinggi total struktur menunjukkan kinerja struktur.

Tinjauan kinerja struktur dilakukan pada portal tipikal 2 Dimensi sebagaimana pada Gambar 6.

Beban-beban gravitasi yang bekerja pada pelat termasuk berat sendiri pelat dikonversi sesuai dengan *tributary area* dengan asumsi lebar bangunan arah tegak lurus portal adalah 8 m sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 7 dan beban-beban yang bekerja pada tiap lantai diuraikan berikut.

**Lantai 1**

- Beban Hidup = 400 kg/m<sup>2</sup>
- Beban Tributary Area = 400 × 4 × 2 = 3200 kg/m'
- Beban Mati
- Berat sendiri = 0.14 × 2400 = 336 kg/m<sup>2</sup>



Gambar 7. Tributary Area pada Pelat

- Beban mati tambahan = 120 kg/m<sup>2</sup>
- Total beban mati = 456 kg/m<sup>2</sup>
- Beban Tributary Area = 456 × 4 × 2 = 3648 kg/m'
- Beban merata pada dinding = 250 × 5 = 1250 kg/m'

**Lantai 2**

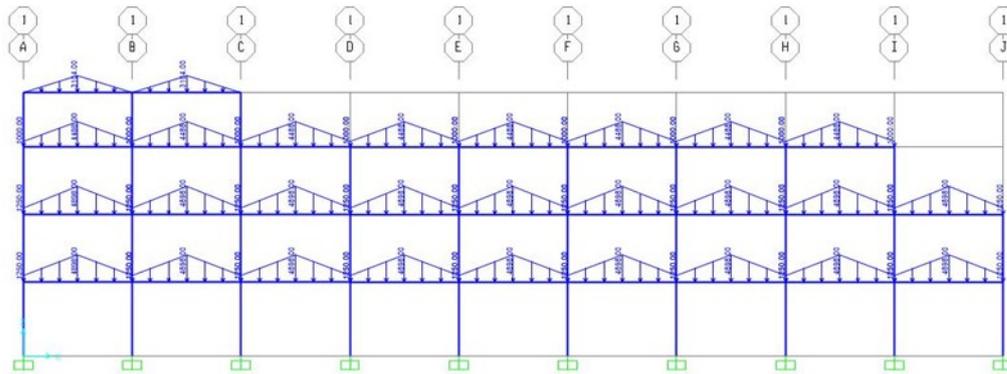
- Beban Hidup = 250 kg/m<sup>2</sup>
- Beban Tributary Area = 250 × 4 × 2 = 2000 kg/m'
- Beban Mati
- Berat sendiri = 0.14 × 2400 = 336 kg/m<sup>2</sup>
- Beban mati tambahan = 120 kg/m<sup>2</sup>
- Total beban mati = 456 kg/m<sup>2</sup>
- Beban Tributary Area = 456 × 4 × 2 = 3648 kg/m'
- Beban merata pada dinding = 250 × 5 = 1250 kg/m'

**Lantai 3**

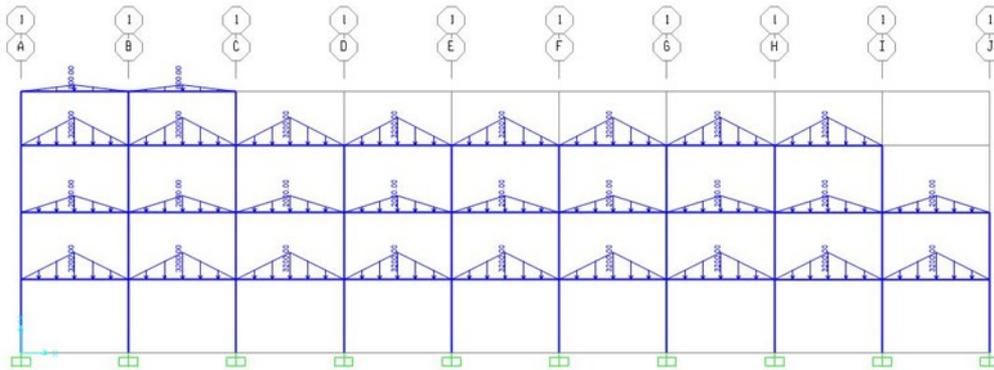
- Beban Hidup = 400 kg/m<sup>2</sup>
- Beban Tributary Area = 400 × 4 × 2 = 3200 kg/m'
- Beban Mati
- Berat sendiri = 0.14 × 2400 = 336 kg/m<sup>2</sup>
- Beban mati tambahan = 100 kg/m<sup>2</sup>
- Total beban mati = 436 kg/m<sup>2</sup>
- Beban Tributary Area = 436 × 4 × 2 = 3688 kg/m'
- Beban merata pada dinding = 250 × 4 = 1000 kg/m'

**Lantai 4**

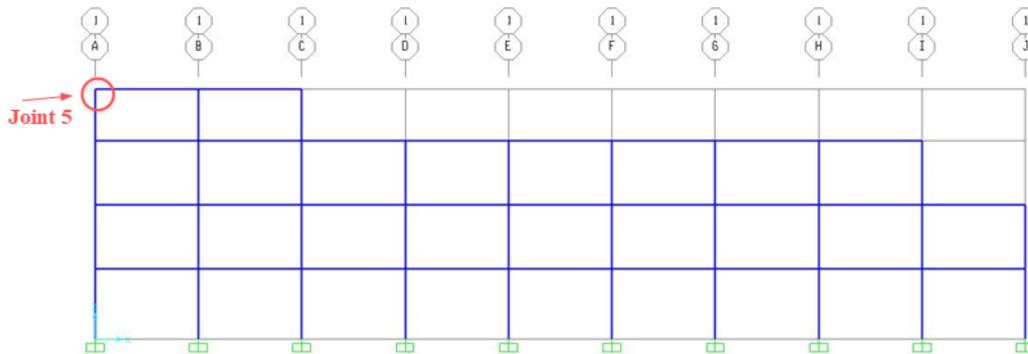
- Beban Hidup = 100 kg/m<sup>2</sup>
- Beban Tributary Area = 100 × 4 × 2 = 800 kg/m'
- Beban Mati



Gambar 8. Input Beban Mati



Gambar 9. Input Beban Hidup



Gambar 10. Posisi Joint 5

Berat sendiri =  $0.12 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$   
 Beban mati tambahan =  $100 \text{ kg/m}^2$   
 Total beban mati =  $388 \text{ kg/m}^2$   
 Beban Tributary Area =  $388 \times 4 \times 2 = 3104 \text{ kg/m}^2$

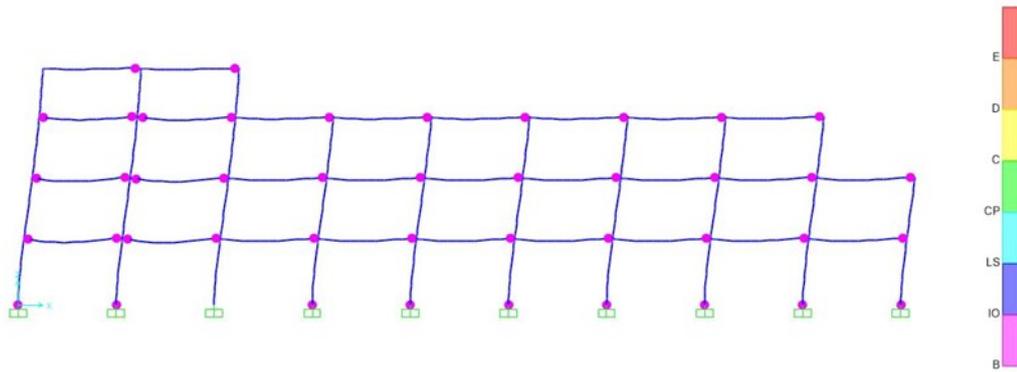
Beban-beban sebagaimana terhabar di atas kemudian diinput kedalam program SAP2000 sebagaimana diperlihatkan pada **Gambar 8** dan **Gambar 9**.

Untuk analisa *pushover* sendiri menggunakan beban gravitasi statis nonlinear yang dinamakan GRAV dengan faktor pengali beban mati 1 dan beban hidup 0.3. Beban *pushover* statis nonlinear yang dinamakan PUSH menggunakan tipe *displacement control* dengan cara memberikan dorongan dengan *increment* tertentu sebesar 150 mm pada joint 5 sebagaimana pada **Gambar 10**.

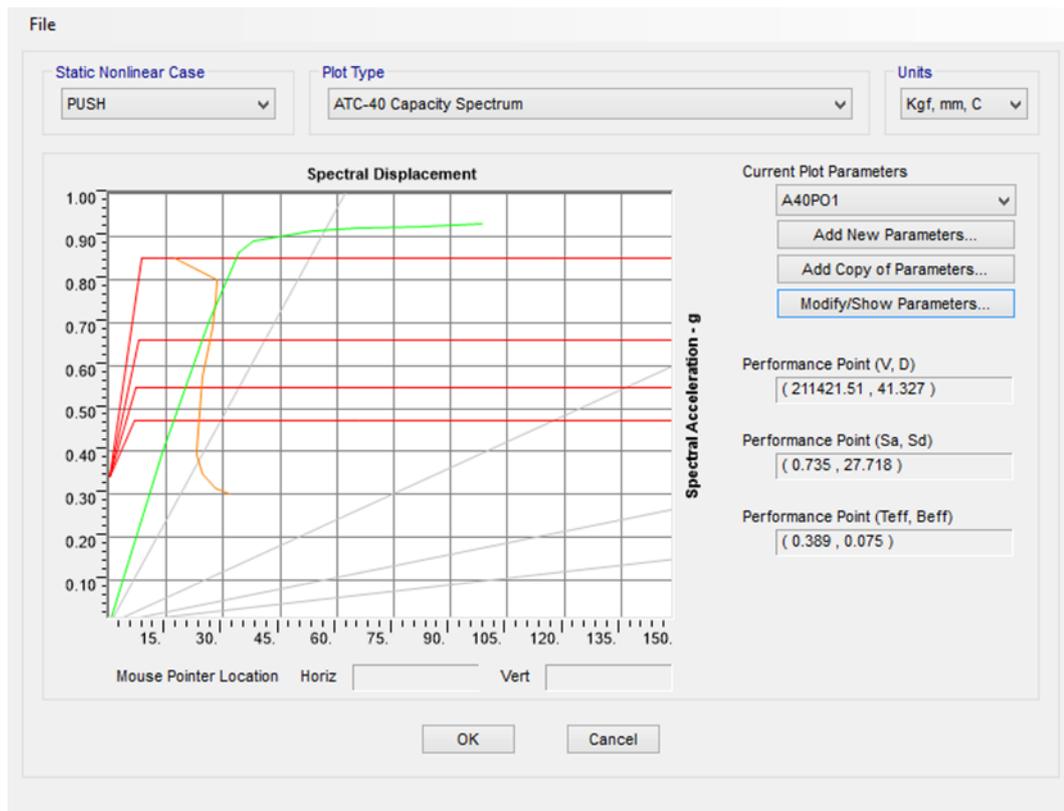
Kondisi geografis dan lingkungan yang digunakan adalah Kota Palu Wilayah Gempa 4 dengan tanah lunak sehingga memiliki respon spektrum dengan

nilai  $C_a = 0.34$  dan  $C_v = 0.85$ .

Berdasarkan parameter-parameter di atas maka proses analisa *Pushover* dilakukan dengan menggunakan SAP2000. Hasil analisa *Pushover* dengan metode spektrum kapasitas yang sesuai dengan ATC-40 memeberikan titik kinerja dengan target perpindahan (*displacement target*) sebesar 41.327 mm. Berdasarkan perpindahan tersebut maka diketahui rasio perpindahan sebesar 0.0021 yang berarti tingkat kinerja gedung masih berada pada tingkat kinerja *Immediate Occupancy Level*. Hasil *pushover* juga memberikan nilai waktu getar efektif ( $T_{eff}$ ) sebesar 0.389 yang terletak pada step 4. Hal ini sesuai dengan tinjauan perpindahan yang mana pada step 4 sendi-sendi plastis yang terjadi juga msih berada pada batas-batas kinerja *Immediate Occupancy Level*. Hasil keluaran pada SAP2000 diperlihatkan pada **Gambar 11**, **Gambar 12** dan **Tabel 4**.



Gambar 11. Sendi Plastis yang Terjadi pada Titik Kinerja



Gambar 12. Grafik Kapasitas Spektrum pada Analisa Pushover

Tabel 4. Hasil Pushover

LoadCase	Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand	Alpha	PFPphi
Text	Unitless	Sec	Unitless	mm	Unitless	mm	Unitless	Unitless	Unitless
PUSH	0	0.285703	0.05	0	0	17.235	0.85	1	1
PUSH	1	0.285703	0.05	0.292	0.014414	17.235	0.85	0.758133	1.425511
PUSH	2	0.376827	0.059889	13.925	0.394778	28.184	0.799027	0.725837	1.458864
PUSH	3	0.386991	0.07159	26.058	0.700441	27.915	0.750369	0.721178	1.484426
PUSH	4	0.397275	0.089853	33.874	0.864021	26.99	0.688419	0.724627	1.49197
PUSH	5	0.414642	0.13529	37.98	0.889304	24.636	0.576843	0.735185	1.486188
PUSH	6	0.47647	0.254366	51.274	0.909217	22.823	0.404709	0.751412	1.481248
PUSH	7	0.48696	0.267314	53.727	0.912108	23.042	0.391173	0.752939	1.481857
PUSH	8	0.533335	0.313174	64.874	0.918146	24.589	0.348003	0.754485	1.494974
PUSH	9	0.598261	0.353463	82.158	0.924077	28.007	0.315009	0.754394	1.513975
PUSH	10	0.652483	0.374133	98.323	0.929727	31.675	0.299513	0.754317	1.525587

## 4. Kesimpulan dan Saran

### 4.1. Kesimpulan

Hasil analisa *Pushover* dengan metode spektrum kapasitas yang sesuai dengan ATC-40 memeberikan titik kinerja dengan target perpindahan (*displacement target*) sebesar 41.327 mm. Berdasarkan perpindahan tersebut maka diketahui rasio perpindahan sebesar 0.0021 yang berarti tingkat kinerja gedung masih berada pada tingkat kinerja *Immediate Occupancy Level*. Hasil *pushover* juga memberikan nilai waktu getar efektif ( $T_{eff}$ ) sebesar 0.389 yang terletak pada step 4. Hal ini sesuai dengan tinjauan perpindahan yang mana pada step 4 sendi-sendi plastis yang terjadi juga msih berada pada batas-batas kinerja *Immediate Occupancy Level*.

### 4.2. Saran

Saran yang perlu dipertimbangkan dalam ke-lanjutan riset ini adalah untuk sebaiknya menggunak sistem struktur yang lebih tinggi atau berlantai banyak maka beban yang berkerja pada sistem struktur adalah dominan beban gempa yang berpengaruh sehingga perilaku struktur yang ditinjau kinerjanya bisa berada pada tingkatan plastis.

### DAFTAR PUSTAKA

- ATC, 1996, *ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume I*, California Seismic Safety Commission, California.
- Dewobroto, W.,2013, *Komputer Rekayasa Struktur dengan SAP2000*, Lumina, Jakarta.
- PPIUG 1983, *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung*, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- SNI-1726-2002, *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*, Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, Bandung.