

Analisis Kinerja Seismik Struktur 10 Lantai Beton Bertulang dengan Metode *Pushover Analysis*

Andina Putri¹, Shandria Herdinata H², Christiano Credidi Septino Khala³,
Oryza Lhara Sari⁴
Email: andina@lecturer.itk.ac.id

Diterima : 07 Juni 2022
Disetujui : 15 Juli 2022
Terbit : 30 Juli 2022

Abstrak: Indonesia yang berada pada jalur gempa Pasifik dan jalur gempa Asia memiliki resiko gempa yang tinggi. Pada tahun 2018 terjadi gempa dengan kekuatan besar yang berpusat di Palu dan getarannya terasa hingga ke Kalimantan Timur. Hal ini tentunya menunjukkan pentingnya evaluasi struktur gedung bertingkat terhadap gempa di wilayah Balikpapan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja pada struktur Hotel Platinum di Balikpapan agar dapat diketahui kinerja struktur jika mengalami beban gempa yang melebihi beban gempa yang direncanakan. Analisis *pushover* mengacu pada SNI 1726:2019 dan ATC-40. Beban yang digunakan mengacu pada SNI 1727:2013, PPIUG 1983 dan PPPURG 1987. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan dan analisis struktur metode *pushover* dengan program bantu. Analisis dilakukan pada gempa Balikpapan sebagai lokasi eksisting. Hasil analisa *pushover* menghasilkan nilai gaya geser sebesar 12164,73 KN, *displacement* atap 6 cm, periode efektif 1,851 dan redaman efektif 5% untuk *pushover* pada gempa Balikpapan. Berdasarkan pengendalian SNI 1726: 2019, struktur memenuhi persyaratan geser dan simpangan maksimum sehingga struktur aman. Kriteria kinerja struktur berdasarkan ATC-40 adalah segera ditempati yaitu struktur tidak mengalami keruntuhan struktural atau non struktural dan bangunan dapat digunakan kembali.

Kata kunci: *displacement*; kapasitas; periode; *pushover*; redaman

Abstract: Indonesia, which is in the Pacific earthquake path and the Asian earthquake path, has a high earthquake risk even in Kalimantan, the island with the lowest earthquake risk level. The purpose of this study is to determine the performance of the Platinum Hotel structure located in Balikpapan, east Kalimantan, in order to know the performance of the structure if it is subjected to earthquake loads that exceed the planned earthquake load. Pushover analysis refers to SNI 1726: 2019 and ATC-40. The load used is referring to SNI 1727: 2013, PPIUG 1983 and PPPURG 1987. In this study, modeling and structure analysis of pushover methods with assistive programs was carried out. Analysis was carried out on the Balikpapan earthquake as the existing location. The results of the pushover analysis produced a shear force value of 12164.73 KN, a roof displacement of 6 cm, an effective period of 1.851 and an effective attenuation of 5% for a pushover in the Balikpapan earthquake. Based on the control of SNI 1726: 2019, the structure meets the maximum shear and deviation requirements so that the structure is safe. Structure performance criteria based on ATC-40 are immediate occupancy ie the structure does not experience structural or non-structural collapse and the building can be reused.

Keywords: *capacity*; *displacement*; *hinges*; *performance*; *pushover*.

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, ITK

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang rawan gempa karena berada pada jalur

gempa pasifik (*Circum Pacific Earthquake Belt*) dan jalur gempa Asia (*Trans Asiatic Earthquake Belt*). Gempa bumi bersumber dari getaran yang terjadi

pada pusat bumi. Getaran ini terjadi akibat pergerakan dan gesekan antar lempeng tektonik.

Tahun 2018 terjadi gempa dengan kekuatan besar di daerah Lombok yang banyak menimbulkan kerusakan fatal. Pada tahun yang sama pula terjadi gempa di Palu yang menimbulkan tsunami. Akibat dari gempa yang terjadi adalah terjadi kerusakan bangunan dengan skala ringan sampai skala berat.

Desain struktur bangunan direncanakan dengan melalui berbagai tahapan perhitungan dengan mempertimbangkan berbagai variabel. Agar dapat mendesain struktur bangunan yang efektif dan efisien, maka dalam perencanaannya digunakan pedoman Standar Nasional Indonesia (SNI) yang diterbitkan pemerintah.

Analisis dinamik adalah analisis paling sederhana yang digunakan sebagai dasar perencanaan struktur. Namun, analisis ini hanya terbatas pada bentuk sendi plastis tahap pertama, dimana analisis ini tidak mampu memperhitungkan kemungkinan yang akan terjadi saat struktur mengalami sendi plastis pertama sampai keruntuhan yang sebenarnya. Mengantisipasi kemungkinan yang akan terjadi maka perlu dilakukan evaluasi pada setiap bangunan dengan memperkirakan kondisi *inelastis* pada saat terjadi gempa. Hal ini dilakukan untuk menjamin kinerja struktur pada saat terjadi gempa.

Perkembangan teknologi sangat membantu para *engineer* dalam perencanaan dan analisis kinerja suatu struktur bangunan. Tersedianya program bantu struktur seperti SAP 2000, ETABS, Tekla Struktur mampu menyederhanakan persoalan dalam bentuk pemodelan yang sebelumnya sangat kompleks. Oleh karena itu penulis melakukan analisis kinerja *seismik* struktur beton dengan metode *pushover* menggunakan program bantu dengan tinjauan gempa daerah *eksisting* yaitu kota Balikpapan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan antara *base shear* dan *roof displacement* melalui kurva kapasitas, mengetahui nilai *performance point*,

memperlihatkan distribusi sendi plastis yang terjadi setelah dilakukan analisis *pushover*, mengetahui hasil kontrol berdasarkan SNI 1726:2019.

METODE PENELITIAN

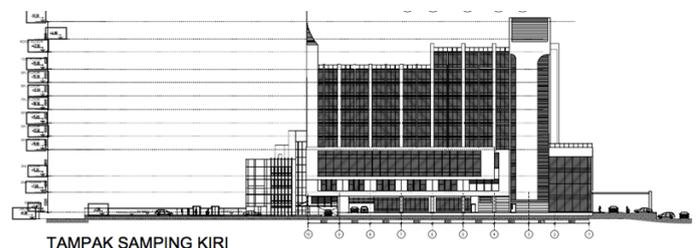
Penelitian ini merupakan penelitian berbasis analisis *numerik* dengan menggunakan program SAP 2000. Tahapan penelitiannya diantaranya:

1. Pengumpulan data primer dan sekunder
2. Studi literatur
3. Perhitungan pembebanan
4. Pemodelan geometri struktur
5. Analisis menggunakan program SAP 2000.
6. Cek struktur terhadap SNI 1726:2019
7. Kesimpulan

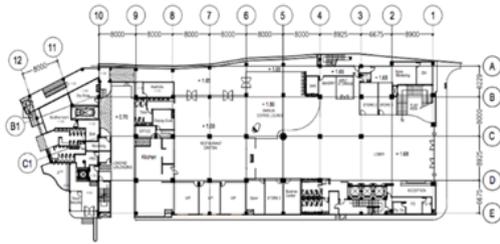
Hasil studi kasus terhadap bangunan Hotel Platinum Balikpapan, didapatkan data material diuraikan dalam tabel 1.

Tabel 1. data primer berupa data material bangunan Hotel Platinum Balikpapan

Jenis Struktur	Mutu
Sloof	33 MPa
Balok lantai dasar – lantai 4	29 MPa
Balok lantai 8 – lantai atap	25 MPa
Kolom lantai dasar – lantai 7	25 MPa
Kolom lantai 8 – lantai atap	33 MPa
Tulangan polos	BJTP 24
Tulangan ulir	BJTD 40



Gambar 1. Denah Hotel Platinum Balikpapan

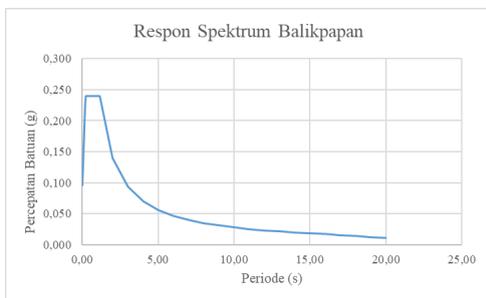


Gambar 2. Tampak Samping Hotel Platinum Balikpapan

Beban yang bekerja adalah beban mati, beban hidup dan beban lingkungan (beban gempa, beban angin dan beban hujan). Pembebanan mengacu pada SNI 1727 : 2020 terkait pembebanan minimum dan SNI 1726 : 2019 terkait ketahanan gempa. Setelah perhitungan pembebanan, kemudian pemodelan geometri struktur serta Analisa struktur dilakukan menggunakan program SAP 2000.

HASIL DAN PEMBAHASAN

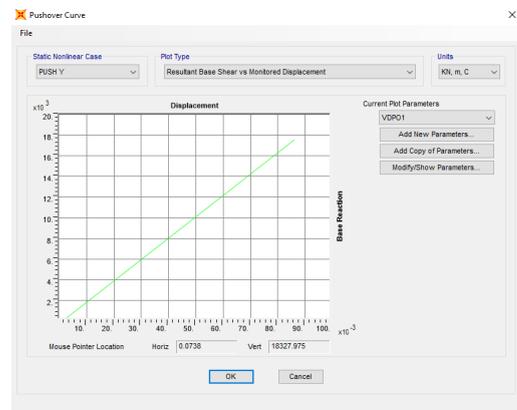
Perhitungan gempa salah satunya menggunakan respon spektrum menggunakan SNI 1726:2019, hasil perhitungan menggunakan respon spektrum dapat dilihat pada gambar 3 dan tabel 1. Kurva kapasitas (*capacity curve*) adalah kurva yang menghubungkan antara *base shear* dan perpindahan *lateral* dari analisis *pushover* yang dilakukan. Adapun grafik kurva kapasitas dari struktur beton 10 lantai yang dianalisis dapat dilihat pada gambar 4 dan hasil ditunjukkan pada tabel 2.



Gambar 3. Respon Spektrum Balikpapan

Tabel 2. Data Respon Spektrum

Parameter Gempa	Hasil Manual
PGA (g)	0,10
S ₀ (g)	0,15
S ₁ (g)	0,10
C _{RS}	0,95
CR1	0,95
IFCLA	-
F _w	2,4
F _v	4,2
PSA (g)	-
S _{acc} (g)	0,36
S _{acc} (g)	0,42
S _{vel} (g)	0,24
S _{dr} (g)	0,28
T ₀ (detik)	0,23
T ₁ (detik)	1,17
T ₂ (detik)	16



Gambar 4. Kurva Kapasitas

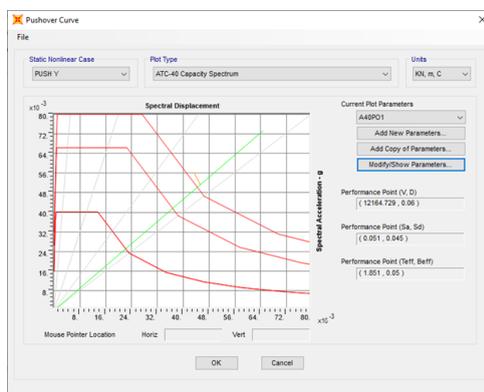
Tabel 2. Tabulasi Nilai *Displacement* dan *Base Force*

LoadCase	Step	Displacement m	BaseForce KN
PUSH Y	0	0.001281	0
PUSH Y	1	0.001291	2.07
PUSH Y	2	0.086121	17586.63

Berdasarkan grafik dan tabel diatas, dapat diketahui bahwa *pushover* pada penelitian kali ini menghasilkan dua step sebelum struktur dinyatakan *collapse*. Step-0 menghasilkan nilai *roof displacement* sebesar 0,00128 m dengan *base shear* sebesar 0 KN. Kemudian iterasi berlanjut ke *step-1* dan terjadi kenaikan sedikit nilai *roof displacement* dan *base shear*. *Roof displacement* yang terjadi pada *step-1* sebesar 0,001291 m dengan nilai *base shear* sebesar

2,07 KN. Nilai-nilai tersebut terus meningkat seiring penambahan gaya dorong yang dihasilkan oleh program bantu. Akibat peningkatan gaya dorong yang terjadi, maka pada step-2 terjadi kenaikan nilai *roof displacement* dan *base shear* yang besar. *Roof displacement* yang terjadi pada step-2 sebesar 0,06 m dengan nilai *base shear* sebesar 12164,73 KN. *Step-2* merupakan *step* terakhir yang terjadi karena struktur sudah tidak mampu lagi menerima beban dorong sehingga iterasi dihentikan.

Performance point adalah titik pertemuan antara kapasitas spektrum dengan *demand spectrum*. Proses tersebut sepenuhnya dilakukan oleh program. Kapasitas spektrum yang didapatkan dari konversi kurva kapasitas akan dibandingkan dengan respon spektrum yang akan dikonversi menjadi *demand spectrum* menggunakan program bantu. Setelah melakukan *input parameter for ATC-40 capacity spectrum*, didapatkan *performance point* seperti pada gambar 5.



Gambar 5. *Capacity Spectrum* (ATC-40) Balikpapan

Grafik ATC-40 *Capacity Spectrum* merupakan hasil *output* dari program bantu. Garis warna hijau merupakan garis *spectrum capacity* yang menggambarkan kapasitas struktur, garis warna merah merupakan garis *family spectrum demand* dan garis berwarna jingga merupakan garis *single spectrum demand (ADRS)* yang menggambarkan beban yang bekerja. Dari gambar 5 maka didapatkan nilai *performance point* yang dapat dilihat pada tabel 3.

Analisis *pushover* struktur beton bertulang 10 lantai dengan rangka pemikul momen biasa yang berlokasi di Balikpapan menghasilkan nilai *base shear* sebesar 12164,73 KN, *roof displacement* sebesar 0,06 m (6 cm), nilai periode efektif sebesar 1,851 detik dan redaman efektif sebesar 5%.

Tabel 3. Nilai *Performance Point Pushover* Balikpapan

<i>Performance Point</i>			
<i>Base Shear</i> (KN)	<i>Displacement</i> (m)	<i>Teff</i> (s)	<i>Beff</i>
12164,73	0,06	1,851	5%

SNI 1726:2019 pada penelitian ini digunakan untuk evaluasi persyaratan kinerja struktur seperti periode *fundamental*, *base shear*, dan simpangan struktur.

Penentuan Periode Fundamental (T)

Hasil perhitungan perhitungan periode fundamental yang didapatkan adalah sebagai berikut :

- $T_c = 1,851$ detik (Nilai *Teff* pada Tabel 3)
- Nilai C_u diperoleh berdasarkan Tabel 17. SNI 1726:2019. Berdasarkan data seismik untuk kota Balikpapan, diperoleh nilai $S_{DI} = 0,28$, maka berdasarkan Tabel 17. SNI 1726:2019 diperoleh nilai $C_u = 1,4$
- Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2.1 periode fundamental pendekatan dapat dihitung dengan rumus :

$$T_a = C_t h_n^x \quad (1)$$

Berdasarkan Tabel 18. SNI 1726:2019 diperoleh nilai $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$

$$T_a = 0,0466 (45)^{0,9}$$

$$T_a = 1,43s \quad (2)$$

$$C_u T_a = 1,4 \times 1,43 = 2s$$

- Berdasarkan hasil hitungan diatas, maka dapat ditentukan nilai T yang digunakan adalah $T = T_c = 1,851$ detik.

Kontrol Terhadap *Base shear*

Menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1, nilai base shear (V) yang diperoleh dari hasil analisis *pushover* tidak boleh lebih kecil dari nilai gaya geser pendekatan.

- Dari hasil analisis *pushover* dengan program diperoleh *base shear* $V_i = 12164,73$ KN.
- Nilai berat struktur yang digunakan pada perhitungan gaya geser pendekatan didapatkan dengan kombinasi 100% beban mati ditambah dengan 25% beban hidup. Nilai berat struktur yang digunakan pada perhitungan ini didapatkan dari program bantu dengan memberikan satu buah tumpuan pada struktur, lalu kemudian melakukan *running* dengan kombinasi 1D + 0,25L. Kemudian akan dilihat nilai F3 pada tumpuan tersebut dan nilai tersebut akan digunakan sebagai berat struktur dengan kombinasi 1D + 0,25L. Konsep tersebut berdasarkan $\sum V = 0$. Adapun proses yang dilakukan dapat dilihat pada gambar berikut:

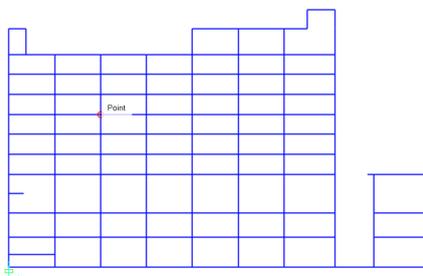
Tabulasi dari reaksi perletakan dan gaya dalam yang terjadi pada tumpuan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Berdasarkan *output* yang telah didapatkan, maka dapat diperoleh perhitungan sebagai berikut:

$$\sum V = 0$$

$$F3 - W = 0$$

$$W = F3 = 230162,85 \text{ KN}$$



Gambar 6. Struktur Dengan Pemberian Satu Buah Tumpuan

Tabel 4. *Output* Reaksi Perletakan dan Gaya Dalam

Combination	F1 KN	F2 KN	F3 KN
1D+0,25L	0,00 0384 9	- 0,000 02466	230162, 85

- Berdasarkan SNI 1726:2019 untuk menghitung gaya geser pendekatan adalah sebagai berikut

$$T = 1,851 \text{ detik}$$

$$S_{DS} = 0,24$$

$$S_{D1} = 0,28$$

$$R = 3$$

$$I_e = 1$$

$$W = 230162,85 \text{ KN}$$

Berdasarkan Pasal 7.8.1.1 SNI 1726:2019 bahwa *Koefisien respons seismik*, C_s , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e} \quad (3)$$

$$C_s = \frac{0,24}{3/1} = 0,08$$

Dimana nilai C_s tersebut tidak perlu lebih dari persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (4)$$

$$C_s = \frac{0,28}{1,851 \left(\frac{3}{1} \right)} = 0,05$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, maka digunakan nilai C_s sebesar 0,05. Menurut Pasal 7.8.1 SNI 1726:2019 *base shear* harus diperhitungkan dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \times W \quad (5)$$

$$V = 0,05 \times 230162,85 = 11508,14 \text{ KN}$$

- Kontrol gaya geser

$$V_i > V \quad (6)$$

$$12164,73 \text{ KN} > 11508,14 \text{ KN} \dots \text{OK}$$

Berdasarkan hasil kontrol diatas, maka nilai gaya geser yang dihasilkan dari

pushover sudah memenuhi syarat yang ditetapkan SNI 1726:2019.

Kontrol Terhadap Simpangan Maksimum yang Diizinkan

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1, untuk simpangan maksimum akibat perpindahan atap (*roof displacement*) harus dikontrol terhadap simpangan maksimum yang diizinkan. Adapun simpangan yang diizinkan adalah 2% dari tinggi total struktur.

- a. *Roof Displacement* (Δ_{max}) = 0,06 m
- b. Simpangan maksimum izin (Δ_{izin}) = 2% $\times H = 0,02 \times 45 \text{ m} = 0,9 \text{ m}$
- c. 0,06 m (Δ_{max}) < 0,9 m (Δ_{izin}) ... **OK**

Berdasarkan perhitungan tersebut maka dapat dilihat bahwa struktur beton bertulang dengan 10 lantai sudah memenuhi syarat simpangan maksimum pada perpindahan atap (*roof displacement*) sesuai dengan SNI 1726:2019.

Kriteria Kinerja Struktur

Penentuan kriteria kinerja struktur mengacu kepada kriteria kinerja berdasarkan ATC-40. Batasan yang diberikan oleh ATC-40 dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Tabel *Parameter Performance Level* (ATC-40)

Parameter	Performance Level			
	IO	Damage Control	LS	Structural Stability
Maksimum Total Drift	0,01	0,01-0,02	0,02	0,33(Vi/Pi)
Maksimum Total Inelastik Drift	0,005	0,005-0,015	No limit	No limit

Berdasarkan tabel 5 didapatkan nilai *roof displacement* hasil analisis *pushover* dengan menggunakan program. Nilai tersebut digunakan pada perhitungan berikut:

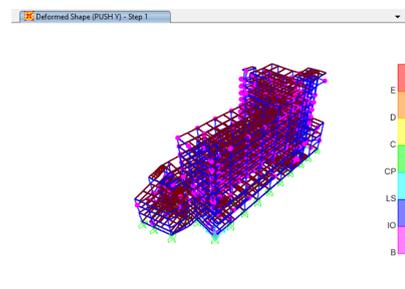
$$\text{Max Total Drift} = \frac{D_t}{H} = \frac{0,06}{45} = 0,001 < 0,01$$

$$\text{Max inelastik Drift} = \frac{D_t - D_1}{H} = \frac{0,06 - 0,0013}{45} = 0,001 < 0,0$$

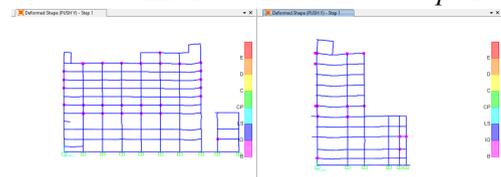
Berdasarkan Tabel 5 maka diperoleh kriteria kinerja struktur jika berada di Balikpapan masih berada dalam range *Immediate Occupancy* (IO), artinya bila terjadi gempa di Balikpapan struktur bangunan hotel platinum tidak mengalami kerusakan baik struktural maupun non struktural, sehingga bangunan tersebut tetap aman digunakan.

Skema Sendi Plastis

Terjadinya sendi plastis pada elemen struktur disebabkan karena beban dorong telah melampaui beban yang dapat ditahan oleh elemen struktur, hal ini ditunjukkan dari *mekanisme* sendi *plastis* pada gambar 7.



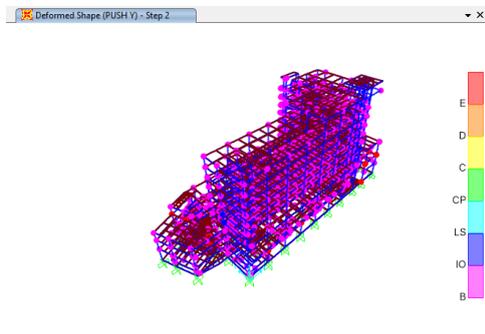
Gambar 7. Sendi *Plastis Step -1*



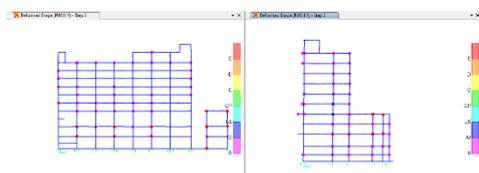
Gambar 8. Tampak XZ (Kiri) dan YZ (Kanan) Sendi *Plastis Step - 1*

Terjadi sendi *plastis* pada *step-1*. Pada step ini sendi *plastis* terjadi hanya pada balok dengan level B-IO. Terjadi penambahan sendi *plastis* yang cukup banyak terjadi pada *step-2*. Hal ini dikarenakan peningkatan nilai *base shear* yang sangat tinggi yang terjadi antara *step-1* dan *step-2*. Oleh karena penambahan nilai *base shear* yang tinggi, maka terjadi peningkatan level sendi *plastis* menjadi level B-IO, IO-LS dan ada pula yang sudah level E sehingga iterasi dari program bantu terhenti sampai *step-2* dan struktur dianggap sudah tidak mampu

menerima beban dorong lagi. Pada step ini sendi *plastis* terjadi pada balok dan kolom.



Gambar 9. Sendi Plastis Step - 2



Gambar 10. Tambak XZ (Kiri) dan YZ (Kanan) Sendi *Plastis* Step - 2

KESIMPULAN

Berikut kesimpulan, berdasarkan hasil analisis *pushover* struktur beton 10 lantai dengan program bantu :

1. Diperoleh kurva kapasitas dengan 2 step dimana hubungan antara *baseshear* dan *roof displacement* adalah searah. Kenaikan nilai *base shear* mengakibatkan peningkatan nilai *roof displacement*. Kenaikan terjadi hingga step-2 dengan nilai *roof displacement* sebesar 0,086 m (8,6 cm) dan nilai *base shear* sebesar 17586,63 KN.
2. Analisis *pushover* struktur beton bertulang 10 lantai dengan SRPMB menggunakan respon spektrum gempa kota Balikpapan menghasilkan nilai *base shear* sebesar 12164 KN, *roof displacement* sebesar 0,06 m (6 cm), nilai periode efektif sebesar 1,851 detik dan redaman efektif sebesar 5%.
3. Sendi *plastis* mulai muncul pada step-0 dengan level B-IO yang terjadi hanya pada balok, kemudian jumlahnya meningkat dengan pesat pada *step-2* hingga. Pada *step-2* sendi *plastis* muncul

pada kolom dan sudah mencapai level E. Iterasi berhenti pada step-2 dan struktur dinyatakan tidak mampu lagi menerima gaya dorong.

4. Berdasarkan hasil analisis *pushover* yang telah dilakukan kontrol terhadap *base shear* pendekat, *roof displacement*, dan penentuan kriteria kinerja maka struktur sudah memenuhi persyaratan peraturan yang berlaku SNI 1726:2029. Untuk kriteria kinerja struktur beton 10 lantai dengan rangka pemikul momen biasa pada kota Balikpapan termasuk ke level IO dimana struktur tidak terjadi kerusakan struktural maupun non struktural jika terjadi gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- Arum S. P. (2015). *Studi Kinerja Struktur Gedung Supermall Pakuwon Mansion Phase-1 Surabaya Menggunakan Metode Analisa Pushover*. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Fakultas Teknik. Universitas Jember. Jember.
- Ary M, dkk. (2014). *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai Dengan Analisis Pushover Terhadap Drift dan Displacement Menggunakan Software Etabs*. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*.
- ATC-40. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Vol 2. Applied Technology Council*. Redwood City. California. USA.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726:2019)*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727:2013)*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia*

Untuk Bangunan Gedung (PPIUG 1983). Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan. Bandung.

Departemen Pekerjaan Umum. (1987). *Pedoman Perencanaan Pembebanan Indonesia Untuk Rumah Dan Gedung (PPPURG 1987)*. Yayasan Badan Pekerjaan Umum. Jakarta.

Galih P. dkk. (2019). Analisis Nonlinear Static Pushover Struktur Gedung Bertingkat *Soft Story* Dengan Menggunakan Material Beton Bertulang dan Beton Prategang Pada Balok Bentang Panjang. *Konstruksia*. UMJ.