

LEVEL KINERJA STRUKTUR GEDUNG B SMP NEGERI 14 DENPASAR MENGUNAKAN ANALISIS *PUSHOVER* BERDASARKAN FEMA 356

I Ketut Diartama Kubon Tubuh, I Putu Agus Putra Wirawan, I Wayan Sukharatta

*Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mahasaraswati Denpasar
Email: diartamakubon@unmas.ac.id*

ABSTRAK: Aturan perencanaan untuk mendirikan bangunan adalah bangunan tersebut harus mampu menahan beban gempa yang ada. Karena pada dasarnya prinsip bangunan tahan gempa adalah boleh terjadi kerusakan pada bangunan tersebut, tetapi tidak pada elemen struktur. Perlu dilakukan desain berbasis kinerja yang memperlihatkan batas-batas kinerja dari kerusakan sebuah struktur yang diakibatkan oleh beban lateral gempa. Analisis *pushover* merupakan salah satu komponen desain berbasis kinerja yang menjadi sarana dalam mencari kapasitas dari suatu struktur. Kinerja struktur dievaluasi melalui analisis statik non linier *Pushover* menggunakan SAP2000. Untuk mengetahui tingkat kinerja suatu struktur bangunan sesuai dengan dokumen FEMA (*Federal Emergency Management Agency*) 356. Hasil analisis kinerja menyimpulkan bahwa titik kinerja yang menentukan adalah berdasarkan metode Koefisien Perpindahan FEMA 356, target perpindahan (δ_T) arah X = 0,12912 m dengan perpindahan sebesar 0.130 m kinerja yang diperlihatkan oleh struktur adalah *Immediate Occupancy (IO)* dimana gedung hanya mampu menahan gaya gempa sebesar 3753,63 kN. Sedangkan target perpindahan (δ_T) arah Y = 0,11643 m dengan perpindahan sebesar 0.11679 m kinerja yang diperlihatkan oleh struktur adalah *Immediate Occupancy (IO)* dimana gedung hanya mampu menahan gaya gempa sebesar 3718,45 kN. Dari hasil analisis maka struktur gedung ini level kerjanya *Immediate Occupancy (IO)*.

Kata kunci: Analisis *pushover*, software SAP2000, performance level.

ABSTRACT: The planning rule for constructing a building is that the building must be able to withstand the existing earthquake loads. Because basically the principle of earthquake-resistant buildings is that damage may occur to the building, but not to structural elements. It is necessary to do a performance-based design that shows the performance limits of damage to a structure caused by earthquake lateral loads. Pushover analysis is one of the components of performance-based design which is a means of finding the capacity of a structure. The structural performance was evaluated through Pushover non-linear static analysis using SAP2000. To determine the level of performance of a building structure in accordance with the FEMA (*Federal Emergency Management Agency*) document 356. The results of the performance analysis conclude that the determining performance point is based on the FEMA 356 Displacement Coefficient method, the displacement target (δT) in the direction of X = 0.12912 m with displacement of 0.130 m the performance shown by the structure is *Immediate Occupancy (IO)* where the building is only able to withstand an earthquake force of 3753.63 kN. While the target displacement (δT) in the direction of Y = 0.11643 m with a displacement of 0.11679 m the performance shown by the structure is *Immediate Occupancy (IO)* where the building is only able to withstand an earthquake force of 3718.45 kN. From the analysis results, the performance level of this building structure is *Immediate Occupancy (IO)*.

Keywords: Pushover analysis, SAP2000 software, performance level.

PENDAHULUAN

Mengingat Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik dunia, yaitu lempeng Euro-Asia di bagian Utara, lempeng Indo-Australia di bagian Selatan, dan lempeng Samudera Pasifik di bagian Timur. Penunjaman (subduksi) lempeng Indo-Australia yang bergerak relatif ke Utara dengan lempeng Euro-Asia yang bergerak ke Selatan mengakibatkan jalur gempa bumi dan rangkaian gunung api aktif sepanjang Pulau Sumatera, Pulau Jawa, Bali, dan Nusa Tenggara sejajar dengan jalur penunjaman kedua lempeng (Pribadi, 2008). Aturan perencanaan untuk mendirikan bangunan adalah bangunan tersebut harus mampu menahan beban gempa yang ada. Karena pada dasarnya prinsip bangunan tahan gempa adalah boleh terjadi kerusakan pada bangunan tersebut, tetapi tidak pada elemen struktur. Untuk itu diperlukan assessment terhadap suatu bangunan konstruksi yang telah ada, agar dapat dievaluasi kerentanannya. Suatu struktur dikatakan memenuhi persyaratan kinerja yang baik apabila struktur tersebut memiliki kapasitas untuk menahan gaya gempa sedemikian hingga perilakunya sesuai dengan kriteria perencanaan yang telah ada. Untuk menentukan kapasitas yang melewati batas elastis diperlukan analisis non-linier. Analisis *pushover* merupakan prosedur analisis untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa. Penelitian ini dilakukan

untuk mengetahui tingkat kinerja suatu struktur bangunan sesuai dengan dokumen FEMA (*Federal Emergency Management Agency*) 273/356

Penelitian ini mengambil studi kasus gedung B SMP Negeri 14 Denpasar yang berlokasi di Jalan W.R.Supratman, Denpasar Timur, Bali. Tinggi bangunan 16,11 meter dengan jumlah tingkat yaitu 3 lantai. Gedung ini menarik untuk dianalisis kinerjanya menggunakan analisis *pushover* karena fungsi gedung ditujukan sebagai fasilitas pendidikan dengan kategori risiko IV menurut SNI Gempa (BSN, 2012), yang berarti gedung ini memiliki risiko yang tinggi terhadap jiwa manusia ketika struktur mengalami kegagalan saat terjadinya gempa.

ANALISIS GAYA LATERAL EKIVALEN

Analisis gaya lateral ekuivalen merupakan perhitungan yang disederhanakan dari beban gempa sebenarnya, penyederhanaan menjadi gaya horizontal diakibatkan dari gaya inersia yang bekerja di suatu massa akibat gempa. Pembebanan gempa yang sebenarnya bersumber dari gerakan tanah di dasar, yang kemudian menjalar pada elemen bangunan. (Rifandi, 2020)

KINERJA STRUKTUR DAN ANALISIS STATIK NON LINEAR PUSHOVER

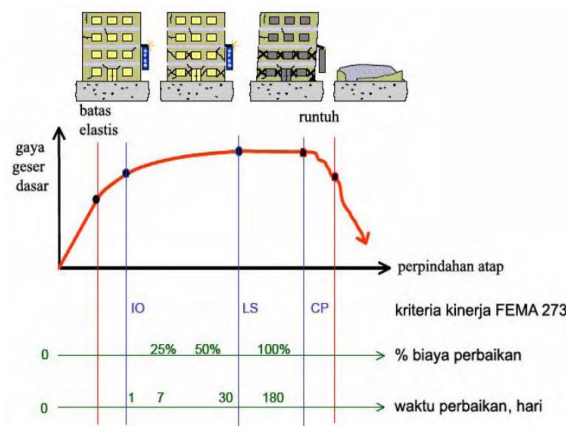
Konsep perencanaan berbasis kinerja merupakan kombinasi dari aspek ketahanan dan aspek layan. Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja sebagai pengembangan dari konsep *Performance Based Design* merupakan proses yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru dengan pemahaman yang realistis terhadap resiko keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang mungkin terjadi akibat gempa yang akan datang (Pranata, 2006).

Pada FEMA 273 (*Building Seismic Safety Council*, 1997), yang merupakan acuan klasik terhadap perencanaan berbasis kinerja, disebutkan kategori-kategori level kinerja struktur sebagai berikut :

1. *Operational*, tak ada kerusakan berarti pada struktur dan non-struktur, bangunan tetap berfungsi.
2. *Immediate Occupancy* (IO), jika struktur tidak terdapat kerusakan yang berarti pada komponen struktural maupun non struktural. Tidak terjadi pergeseran permanen pada bangunan, sebagian besar struktur dapat mempertahankan kekuatan dan kekakuannya, sedikit retak serta semua sistem penting pada gedung dapat beroperasi dengan normal.
3. *Life Safety* (LS), jika struktur masih mampu menahan beban gempa dengan sedikit kerusakan. Komponen non-struktural masih aman tetapi terjadi kerusakan pada beberapa utilitas. Perbaikan kerusakan dapat dilakukan tanpa mengganggu fungsi dari struktur bangunan.
4. *Collapse Prevention* (CP), jika struktur mengalami kerusakan tetapi belum runtuh. Terjadi perubahan kekakuan struktur. Kecelakaan yang diakibatkan jatuhnya material sangat mungkin terjadi.

Kinerja struktur dapat dilihat dari kemampuan struktur tersebut menerima gaya gempa yang kuat. Struktur diharapkan mampu menyebar gaya-gaya dalam ke seluruh elemen-elemen strukturnya sehingga gaya-gaya dalam tersebut tidak terfokus di beberapa elemen stuktur saja. Sehingga struktur dengan kinerja yang baik masih memiliki kemampuan untuk bertahan dari gempa meskipun sudah mencapai ambang keruntuhan.

Hal penting dari perencanaan berbasis kinerja adalah sasaran kinerja bangunan terhadap gempa dinyatakan secara jelas, sehingga pemilik, penyewa, asuransi, pemerintahan atau penyandang dana mempunyai kesempatan untuk menetapkan kondisi apa yang dipilih, selanjutnya ketetapan tersebut digunakan insinyur perencana sebagai pedomannya. Berikut adalah ilustrasi level kinerja suatu struktur bangunan yang digambarkan secara bersamaan dengan kurva hubungan perpindahan pada atap terhadap gaya geser dasar yang bekerja



Gambar 1. Ilustrasi Performance Level

Sumber: (Dewobroto, 2007)

Pada gambar 2.11 menurut ATC-33 Project (*FEMA 273 – NEHRP Guidelines for The Seismic Rehabilitation of Buildings*) menjelaskan secara kualitatif level kinerja/*Performance levels* pada FEMA 273 yang digambarkan dengan suatu kurva hubungan gaya geser dasar (V) dan perpindahan titik acuan (D) yang menunjukkan perilaku struktur secara menyeluruh (*global*) terhadap pembebanan lateral. Kurva tersebut dihasilkan dari analisis statik non linier khusus yang dikenal sebagai analisis *Pushover*, sehingga disebut juga sebagai kurva *Pushover*. Sedangkan titik kinerja (*Performance point*) merupakan besarnya perpindahan atap pada saat mengalami gempa rencana. Di atas kurva *Pushover* dapat digambarkan secara kualitatif kondisi kerusakan yang terjadi pada level kinerja yang ditetapkan agar kurva di bawahnya dapat memberikan bayangan seberapa besar kerusakan itu terjadi. Selain itu dapat juga dikorelasikan berapa persentase biaya dan waktu yang diperlukan untuk perbaikan. Informasi itu tentunya sekedar gambaran perkiraan, meskipun demikian sudah mencukupi untuk mengambil keputusan apa yang sebaiknya harus dilakukan terhadap hasil analisis bangunan tersebut.

Analisis *Pushover* menurut ATC-40 (*California Seismic Safety Commission, 1996*) adalah suatu analisis statik non linier dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statis yang bekerja pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca elastis yang besar sampai mencapai kondisi plastis. Analisis dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statis pada struktur, yang kemudian ditingkatkan secara bertahap sampai suatu perpindahan target, kemudian menghasilkan kurva *Pushover*. (Utomo, Susanto, Tujono, & Wibowo, 2012)

Analisis *Pushover* dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh level kinerja dan deformasi yang terjadi, serta untuk memperoleh informasi bagian struktur yang kritis terhadap gempa sehingga dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan dan stabilitasnya. Dalam melakukan analisis *Pushover* perlu dilakukan penentuan letak sendi plastis pada ujung-ujung balok dan kolom karena perilaku sendi plastis pada elemen-elemen struktur mempengaruhi kinerja struktur secara global.

1. Waktu Getar Alami Efektif

Waktu getar alami yang memperhitungkan kondisi inelastis atau waktu getar efektif, T_e , dapat diperoleh dengan bantuan kurva hasil analisa *pushover*. Untuk itu, kurva *pushover* diubah menjadi kurva bilinear untuk mengestimasi kekakuan lateral efektif bangunan, K_e , dan kuat leleh bangunan, V_y . Kekakuan lateral efektif dapat diambil dari kekakuan secant yang dihitung dari gaya geser dasar sebesar 60% dari kuat leleh. Karena kuat leleh diperoleh dari dari titik potong kekakuan lateral efektif pada kondisi elastis (K_e) dan kondisi inelastis (αK_e), maka prosesnya dilakukan secara trial-error. Selanjutnya waktu getar alami efektif, T_e dihitung sebagai:

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

T_i dan K_i adalah perioda alami awal elastis (dalam detik) dan kekakuan awal bangunan pada arah yang ditinjau.

2. Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356)

Merupakan metode utama dalam prosedur analisis static nonlinier. Perhidangan dilakukan dengan memodifikasi respons elastis linier dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien C_0 , C_1 , C_2 dan C_3 sehingga diperoleh perpindahan global maksimum (elastis dan inelastis) yang disebut target perpindahan (δ_T).

Target perpindahan pada titik kontrol δ_T , ditentukan dari persamaan 1 berikut:

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \dots\dots\dots(2)$$

dimana: T_e = waktu getar alami efektif;

C_0 = koefisien faktor bentuk;

C_1 = faktor modifikasi;

T_s = waktu getar karakteristik;

$R = (S_a/(V_y/W))C_m$

S_a = akselerasi respon spektrum;

V_y = gaya geser dasar pada saat leleh;

W = total beban;

C_m = factor massa efektif;

C_2 = koefisien untuk memperhitungkan efek pinching;

C_3 = koefisien untuk memperhitungkan pembesaran;

α = rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastic efektif; dan

g = percepatan grafitasi.

3. Displacement control

Displacement control merupakan parameter yang digunakan sebagai besarnya perpindahan struktur jika besar beban tidak diketahui. *Displacement control* berguna untuk menganalisis struktur dalam kondisi inelastis dan kehilangan kapasitas angkut beban selama berlangsungnya analisis. Berdasarkan FEMA 356, besar perpindahan untuk displacement control sebesar 2% dari tinggi struktur.

4. Teknik Pemodelan

Karena yang dievaluasi adalah komponen maka jumlahnya relatif sangat banyak, oleh karena itu analisa pushover sepenuhnya harus dikerjakan oleh komputer (fasilitas pushover dan evaluasi kinerja yang terdapat secara built-in pada program SAP2000, mengacu pada FEMA 356). Langkah-langkah mengoperasikan program SAP2000 mengacu pada penelitian skripsi Rantawan (2019) dengan judul Analisis Perilaku Struktur Akibat Beban Gempa dengan Berbagai Kondisi Tanah. Dan adapun tahapan utama dalam analisa pushover yaitu sebagai berikut :

1. Pembebanan Gravitasi
2. Pembebanan *Lateral Pushover*
3. Pendefinisian Sendi Plastis

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini dibagi menjadi dua yaitu studi literatur dan penggunaan program analisis struktur. Studi literatur merupakan metode yang digunakan untuk mendapatkan gambaran mengenai pokok bahasan yang dibahas dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini berdasarkan pada refrensi berbagai literatur serta ilmu yang diperoleh di bangku perkuliahan. Dan adapun penggunaan program analisis struktur SAP2000 digunakan untuk membuat pemodelan struktur gedung hingga menjalankan analisis pushover untuk mengetahui kinerja struktur gedung.

Pengumpulan Data

Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data primer (dimensi struktur) dan data sekunder (gambar struktur, data beban dan data material). Langkah awal dari analisis ini yaitu membuat pemodelan struktur 3D pada software SAP2000 sesuai dengan geometri dan dimensi struktur pada soft drawing, adapun data geometri dan dimensi struktur yaitu sebagai berikut:

1. Data Geometrik Struktur
 - a. Panjang bangunan : 31,5 meter
 - b. Lebar bangunan : 12,675 meter
 - c. Tinggi bangunan : 16,11 meter

- d. Jumlah lantai : 3 lantai
2. Data Material
- a. Mutu beton
Mutu beton struktur $f'_c = 21,7$ Mpa
- b. Mutu baja
1. $F_y = 320$ MPa (BJTP 32 untuk diameter < 12 mm)
 2. $F_y = 400$ MPa (BJTD 40 untuk diameter > 12 mm)
3. Elemen struktur yang digunakan

Tabel 1. Elemen struktur yang digunakan

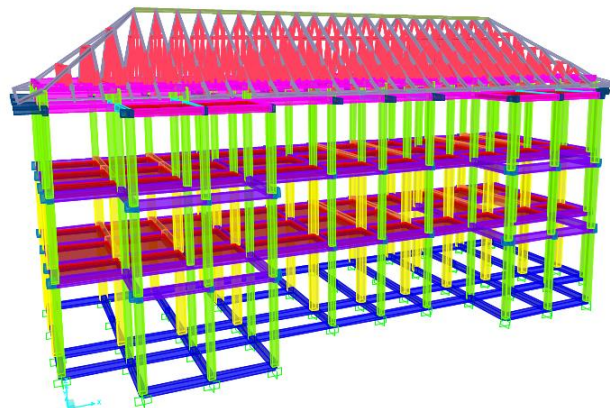
Kolom	Balok	Pelat	Baja Ringan
K1 (40cm × 40cm)	B1 (30cm × 60cm)	Pelat Lt (t = 12cm)	C 7,5x3,5x0,075
K2 (30cm × 30cm)	B2 (25cm × 40cm)	Pelat kl (t = 10cm)	
	BK1 (25cm × 40cm)		
	BK2 (20cm × 30cm)		
	RB1 (20cm × 30cm)		
	RB2 (20cm × 30cm)		

(Sumber : Gambar kerja kegiatan, 2020)

Pemodelan Struktur Dengan Sap 2000

Struktur gedung dimodelkan secara 3D pada program SAP 2000 dengan langkah-langkah pemodelan sebagai berikut:

1. Menentukan geometri struktur
2. Mendefinisikan material
3. Mendefinisikan *element propert*
4. Menggambar elemen struktur
5. Mengubah perletakan menjadi jepit
6. Pengerjaan beban pada struktur dan pendefinisian kombinasi beban



Gambar 2. Pemodelan 3D SAP2000

Analisis Pushover

Evaluasi kinerja struktur dengan analisis statik non linier *Pushover* dilakukan setelah rancangan struktur telah memenuhi syarat dan ketentuan dari peraturan-peraturan yang digunakan untuk mendesain.

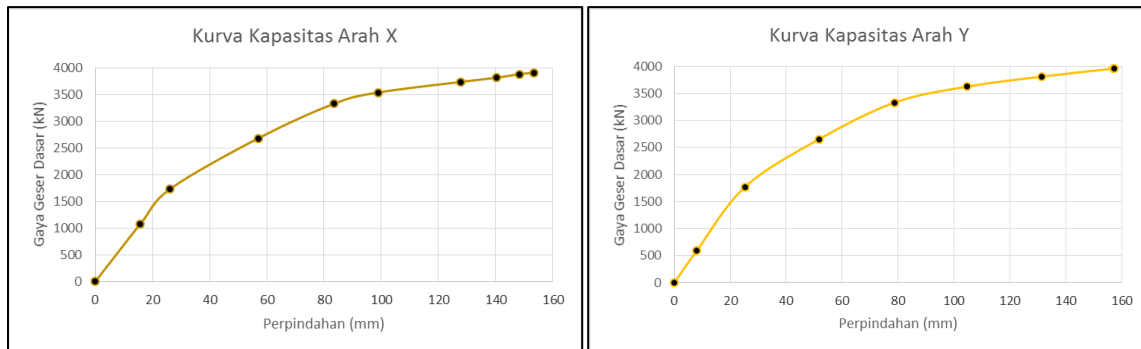
Analisis *pushover* meliputi penetapan sendi plastis, pengaturan beban menjadi beban non-linear dan penetapan target perpindahan untuk masing-masing arah memanjang dan melintang. Hasil keluaran dari

analisis pushover adalah kurva pushover yang berupa hubungan antara gaya geser dasar dengan perpindahan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kurva Pushover

Kurva *pushover* adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara gaya gempa dan perpindahan yang terjadi sampai struktur tersebut runtuh. Perpindahan yang ditinjau adalah perpindahan pada atap dan gaya geser dasar (*base shear*).

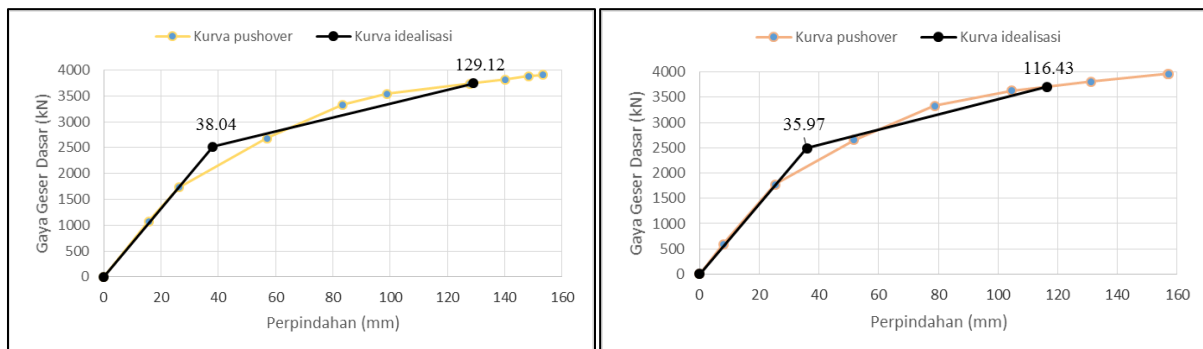


Gambar 3. Kurva *Pushover* akibat PUSH X dan PUSH Y

Berdasarkan gambar 3 dapat dilihat bahwa gaya lateral maksimum yang mampu ditahan oleh struktur untuk arah X adalah sebesar 3908,57 kN dengan *displacement* sebesar 153,25 mm. Sedangkan arah Y kurva *pushover* dapat dilihat bahwa gaya lateral maksimum yang mampu ditahan oleh struktur adalah sebesar 3963,16 kN yang terjadi pada dengan *displacement* sebesar 157,24 mm.

Kurva Idealisasi dan Perpindahan Target

Kurva *Pushover* selanjutnya diidealisasikan sebagai kurva bilinear untuk memperoleh waktu getar alami efektif berdasarkan metode pada FEMA 356. Kemudian perpindahan target (δ_T) dihitung berdasarkan metode *Coefficient Method* FEMA 356 yang *built-in* pada program SAP2000.



Gambar 4. Kurva *Pushover* dan kurva idealisasi akibat PUSH X dan PUSH Y

Parameter-parameter terhitung dari kurva idealisasi dan nilai perpindahan target oleh SAP2000 ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter kurva idealisasi dan perpindahan target (δ_T)

	PUSH X	PUSH Y
C_0	1.39	1.24
C_1	1.00	1.00
C_2	1.00	1.00
C_3	1.00	1.00
S_a	1.09	1.08
T_e	0.59	0.59

T_i	0.58	0.58
V_y (kN)	2520.42	2494.72
K_i (kN/mm)	68.38	73.58
K_e (kN/mm)	66.75	70.55
α	0.20	0.21
R	4.07	4.06
W (kN)	9412.50	9412.50
C_m	1.00	1.00
δ_T (mm)	129.18	116.43
V_T (kN)	3745.03	3709.58

Evaluasi Kinerja Struktur

Dari perpindahan target selanjutnya dapat ditentukan evaluasi kinerja struktur yang ditunjukkan dengan mekanisme terjadinya sendi plastis (skema kelelahan) dan level kinerja pada perpindahan target tersebut. Mekanisme terjadinya sendi-sendi plastis dari hasil analisis statik non linier *Pushover* untuk masing-masing model ditampilkan pada Tabel 3 sampai dengan tabel 4.

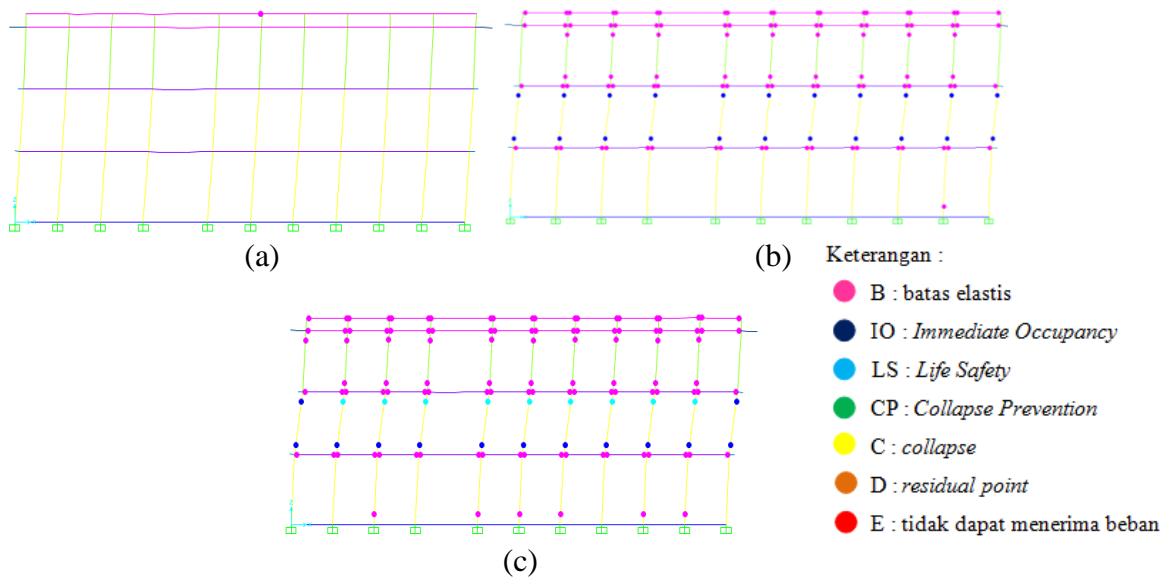
Tabel 3. Hasil analisa *pushover* akibat PUSH X

Step	δ mm	V kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	E	Total
0	0.00	0.00	852	0	0	0	0	0	0	0	852
1	13.00	889.02	852	0	0	0	0	0	0	0	852
2	15.71	1074.06	851	1	0	0	0	0	0	0	852
3	26.21	1734.30	653	199	0	0	0	0	0	0	852
4	39.27	2165.51	568	284	0	0	0	0	0	0	852
5	57.00	2682.64	547	305	0	0	0	0	0	0	852
6	71.57	3072.67	511	341	0	0	0	0	0	0	852
7	84.59	3348.21	466	386	0	0	0	0	0	0	852
8	98.35	3533.79	424	424	4	0	0	0	0	0	852
9	113.03	3629.56	409	396	47	0	0	0	0	0	852
10	127.80	3736.71	405	361	86	0	0	0	0	0	852
11	130.00	3753.63	403	362	87	0	0	0	0	0	852

$\delta_T = 129,12$ mm

Tabel 3 menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar terhadap perpindahan yang terjadi akibat beban gempa pada struktur bangunan. Dengan target perpindahan $\delta_T = 0.12912$ m terlihat bahwa dalam *step* 11 perpindahan mencapai 0.130 m $> \delta_T$, kinerja yang diperlihatkan oleh struktur adalah *Immediate Occupancy (IO)*, yang artinya menunjukkan bahwa target perpindahan telah terpenuhi dan bangunan aman untuk dihuni.

Pada kondisi tersebut perpindahan target akibat PUSH X tercapai pada *step* 11. Pada *step* pembebanan 11 terdapat 362 sendi plastis yang berada pada tingkat kelelahan B-IO dan 87 buah pada IO-LS. Bagian struktur yang mengalami kelelahan saat leleh pertama, pada perpindahan targetnya, dan saat mencapai pembebanan maksimum dapat dikerjakan, dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Skema keelehan portal 1 akibat PUSH X

(a) Saat leleh pertama ($\delta = 15,71\text{mm}$), (b) Pada perpindahan target ($\delta_T = 129,12\text{mm}$), (c) Mencapai pembebanan maksimum ($\delta = 153,25\text{mm}$)

Bagian struktur yang mengalami keelehan saat leleh pertama adalah ring balok. Sedangkan saat mencapai perpindahan target adalah kolom dan balok pada lantai 1, lantai 2, lantai 3 dan atap, serta pada ring balok. Struktur ini level kinerjanya adalah *Immediate Occupancy (IO)*,

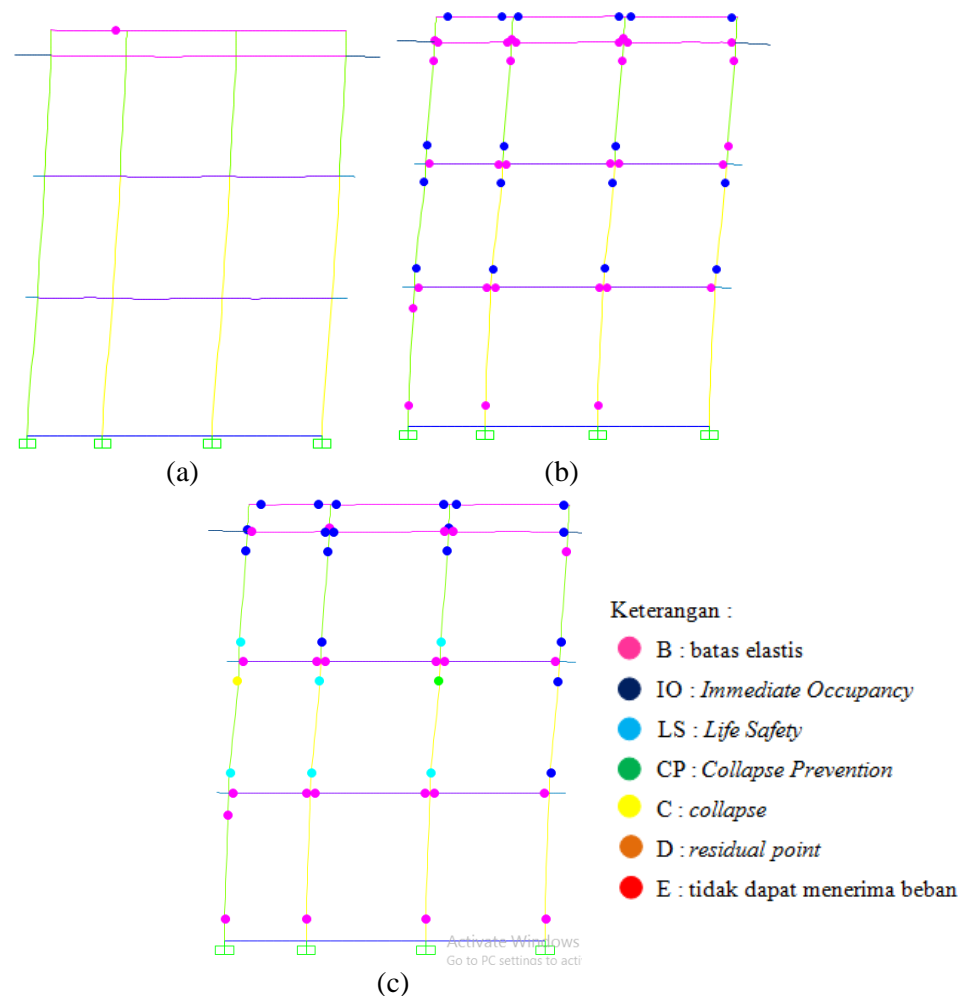
Tabel 4. Hasil analisa *pushover* akibat PUSH Y

Step	Δ	V	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	E	Total
	Mm	kN									
0	0.00	0.00	852	0	0	0	0	0	0	0	852
1	8.05	592.61	851	1	0	0	0	0	0	0	852
2	19.80	1430.29	797	55	0	0	0	0	0	0	852
3	31.61	2017.85	658	194	0	0	0	0	0	0	852
4	43.44	2401.05	644	208	0	0	0	0	0	0	852
5	57.25	2816.00	619	233	0	0	0	0	0	0	852
6	69.41	3144.04	570	282	0	0	0	0	0	0	852
7	82.66	3396.45	524	326	2	0	0	0	0	0	852
8	95.22	3543.63	500	324	28	0	0	0	0	0	852
9	108.07	3656.05	469	312	71	0	0	0	0	0	852
10	116.79	3718.45	454	276	122	0	0	0	0	0	852

$\delta_T = 116,43 \text{ mm}$

Tabel 4. menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar terhadap perpindahan yang terjadi akibat beban gempa pada struktur bangunan. Dengan target perpindahan $\delta_T = 0.11643 \text{ m}$ terlihat bahwa dalam *step* 10 dimana perpindahan mencapai $0.11679 \text{ m} > \delta_T$, kinerja yang diperlihatkan oleh struktur adalah *Immediate Occupancy (IO)*, yang artinya menunjukkan bahwa target perpindahan telah terpenuhi dan bangunan aman untuk dihuni.

Pada kondisi tersebut perpindahan target akibat PUSH Y tercapai pada *step* 10. Pada *step* pembebanan 10 terdapat 276 sendi plastis yang berada pada tingkat keelehan B-IO dan 122 buah pada IO-LS. Bagian struktur yang mengalami keelehan saat leleh pertama, pada perpindahan targetnya, dan saat mencapai pembebanan maksimum dapat dikerjakan, dilihat pada Gambar 4.31



Gambar 6. Skema keelehan portal K akibat PUSH Y
 (a) Saat leleh pertama ($\delta = 8,05\text{mm}$), (b) Pada perpindahan target ($\delta_T = 116,43\text{mm}$), (c) Mencapai pembebanan maksimum ($\delta = 157,24\text{mm}$)

Bagian struktur yang mengalami keelehan saat leleh pertama adalah ring balok. Sedangkan saat mencapai perpindahan target adalah kolom dan balok pada lantai 1, 2, 3, dan atap. Struktur ini level kinerjanya adalah *Immediate Occupancy (IO)*.

SIMPULAN

Hasil analisis kinerja gedung B SMP Negeri 14 Denpasar menyimpulkan bahwa titik kinerja yang menentukan adalah metode Koefisien Perpindahan FEMA 356, berdasarkan target perpindahan (δ_T) arah X = 0,12912 m dengan perpindahan sebesar 0.130 m kinerja yang diperlihatkan oleh struktur adalah *Immediate Occupancy (IO)* dimana gedung hanya mampu menahan gaya gempa sebesar 3753,63 kN. Sedangkan target perpindahan (δ_T) arah Y = 0,11643 m dengan perpindahan sebesar 0.11679 m kinerja yang diperlihatkan oleh struktur adalah *Immediate Occupancy (IO)* dimana gedung hanya mampu menahan gaya gempa sebesar 3718,45 kN.

Berdasarkan hasil analisis dari metode koefisien perpindahan FEMA 356 dapat disimpulkan bahwa Gedung B SMP Negeri 14 Denpasar masuk pada level *Immediate Occupancy (IO)*, struktur tidak terdapat kerusakan yang berarti pada komponen struktural maupun non struktural. Tidak terjadi pergeseran permanen pada bangunan, sebagian besar struktur dapat mempertahankan kekuatan dan kekakuannya, sedikit retak serta semua sistem penting pada gedung dapat beroperasi dengan normal.

DAFTAR PUSTAKA

- ATC-33 Project, 1997. *FEMA 273 – NEHRP Guidelines For The Seismic Rehabilitation Of Buildings*. Washington: Building Seismic Safety Council.
- ATC-40, 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. California: Seismic Safety Commission State of California.
- Badan Standarisasi Nasional, 2012. *SNI-1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non gedung*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Dewobroto, W., 2006. Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000. *Jurnal Teknik Sipil*, Volume 3 No.1.
- Pranata, Y. A., 2006. Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis (Sesuai ATC40,FEMA 356 dan FEMA 440). *Jurnal Teknik Sipil*, Volume 3 No 1.
- Pribadi, K. S. & dkk, 2008. *Pendidikan Siaga Bencana*. Bandung: Institusi Tehnologi Bandung.
- Rantawan, I. N., 2019. *Analisis Perilaku Struktur Portal Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus Akibat Beban Gempa Dengan Berbagai Kondisi Tanah*. Denpasar: Universitas Mahasaraswati Denpasar.
- Rifandi, I. & Walujodjati, E., 2020. Analisis Beban Gempa dengan Metode Statik Ekuivalen Berdasarkan SNI 1726-2019 pada Gedung IPAL. *Jurnal Konstruksi*, Volume 18 No. 2.
- Utomo, C., Susanto, R. I., Tujono, S. & Wibowo, H., 2012. Evaluasi Struktur dengan Metode Pushover Analysis Pada Gedung Kalibata Residences Jakarta. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, Volume 1 No.1.