

ANALISIS *PUSHOVER* GEDUNG BLOK B PASAR SAWAHLUNTO

Fajar Nugroho¹⁾*, Reza Andrano²⁾, Maizir²⁾

¹⁾Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung, Fakultas Vokasi

²⁾Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik

^{1), 2)}Institut Teknologi Padang

*Corresponding Author E-mail: fajarnugroho@itp.ac.id

Abstract

Indonesia is a country with a high risk of earthquakes. Earthquake vibrations can cause ground shifts, which, in turn, affect building structures. To assess the level of risk for building damage, it is necessary to conduct a collapse scheme analysis and seismic performance evaluation of buildings. In this study, the author examined one of the earthquake-prone areas, Sawahlunto City, located in West Sumatra Province, Indonesia. The focus of the research is Block B of the Sawahlunto Market, a building that serves as a hub for community economic activities. The analysis employed is pushover analysis. The research methods include data collection, load calculations, 3D modeling, and static pushover analysis. Structural modeling was carried out using SAP2000 software. The structural performance level was evaluated based on SNI 1726-2019 and ATC-40 standards, and the mechanism of structural collapse was analyzed using plastic hinge formation. The analysis results show that the capacity curves in the X and Y directions have almost identical shapes, indicating that the structural stiffness along both axes is nearly the same. The performance points in the X and Y directions classify the building structure under the immediate occupancy category. This indicates that the building is highly capable of withstanding earthquakes with no significant damage.

Keywords : Pushover analysis, earthquake, capacity curve, performance point

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang beresiko tinggi mengalami gempa bumi. Getaran gempa menimbulkan pergeseran tanah yang kemudian memengaruhi struktur bangunan. Untuk mengetahui tingkat resiko kerusakan bangunan, perlu dilakukan analisis skema keruntuhan dan evaluasi kinerja seismik pada bangunan. Maka, penulis melakukan penelitian di salah satu daerah rawan gempa, yaitu Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat, Indonesia. Objek penelitian ini adalah Bangunan Gedung Blok B Pasar Sawahlunto yang berfungsi sebagai pusat kegiatan perekonomian masyarakat. Analisis yang digunakan yaitu analisis pushover. Metode penelitian yang digunakan meliputi pengumpulan data, perhitungan pembebanan, pemodelan 3D, dan analisis statik pushover. Pemodelan struktur dilakukan menggunakan software SAP2000. Analisis level kinerja struktur ditinjau menurut SNI 1726- 2019 dan ATC-40. Untuk mekanisme keruntuhan struktur ditinjau berdasarkan sendi plastis. Hasil analisis yang diperoleh yaitu kurva kapasitas arah X dan arah Y memiliki bentuk yang hampir sama, sehingga kekakuan struktur arah sumbu X dan sumbu Y hampir sama. Titik kinerja pada arah X dan arah Y menunjukkan struktur bangunan termasuk dalam level kategori immediate occupancy. Dengan demikian, bangunan masih sangat mampu menahan gempa dan tidak ada kerusakan yang berarti terjadi.

Kata Kunci : Analisis pushover, gempa bumi, kurva kapasitas, titik kinerja.

1. PENDAHULUAN

Sebagai negara yang terletak di daerah pertemuan empat lempeng tektonik atau yang disebut dengan *ring of fire*, Indonesia beresiko mengalami bencana alam akibat pergerakan lempeng, salah satunya yaitu gempa bumi. Hal ini tentunya dapat menimbulkan permasalahan terhadap konstruksi gedung di sejumlah wilayah di Indonesia, terutama gedung bertingkat yang beresiko tinggi mengalami kerusakan. Gempa bumi merupakan peristiwa pelepasan energi secara tiba-tiba dari dalam bumi yang menyebabkan bumi bergetar. Getaran tersebut menyebabkan permukaan tanah bergeser. Saat gempa bumi terjadi, maka struktur bangunan akan ikut terpengaruh oleh getaran gempa.

Untuk mengetahui tingkat resiko kerusakan pada struktur bangunan akibat pengaruh gerakan seismik, maka perlu dilakukan analisis skema keruntuhan dan evaluasi kinerja seismik pada bangunan. Dalam hal ini, analisis *pushover* dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh gempa terhadap struktur bangunan. Analisis *pushover* adalah analisis statik non-linier untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa. Pada proses *pushover*, struktur didorong sampai mengalami leleh di satu atau lebih lokasi pada suatu struktur hingga mencapai kondisi plastis, untuk kemudian diketahui besarnya gaya-gaya yang mempengaruhi struktur bangunan.

Seperti pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Marwanto et al [1] yang melakukan evaluasi kinerja struktur gedung 10 lantai dengan analisis *pushover* terhadap *drift* dan *displacement*. Pada penelitian tersebut, dilakukan evaluasi kinerja dari setiap lantai gedung yang kemudian digambarkan oleh *capacity curve* dan *performance point*. Selanjutnya, Manalip et al [2] melakukan analisis *pushover* pada struktur gedung bertingkat tipe podium untuk mengetahui besar gaya maksimum yang dapat ditahan oleh struktur serta level kinerja dan pola keruntuhan gedung. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat juga dilakukan oleh Pangestu et al [3] untuk mengetahui kinerja seismik struktur gedung dan memperlihatkan skema kelelahan (distribusi sendi plastis) yang terjadi. Selain itu, Hilmi, et al [4] melakukan analisis kinerja struktur pada bangunan bertingkat. Dalam penelitian tersebut, dilakukan evaluasi kinerja struktur gedung dengan metode analisis respon spektrum berdasarkan SNI 1726:2019. Berbeda dengan Halimatusadiyah et al [5] yang melakukan penelitian pada gedung yang berada pada tanah khusus yaitu tanah yang rawan dan berpotensi terjadi likuifaksi. Penelitian tersebut dilakukan berdasarkan analisis *pushover* untuk mengevaluasi kinerja struktur bangunan beton bertulang.

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka dilakukan penelitian terhadap gedung blok B pasar Sawahlunto. Gedung ini terletak di Kota Sawahlunto, Sumatera Barat. Gedung blok B pasar Sawahlunto berfungsi sebagai pusat kegiatan perekonomian masyarakat. Gedung ini terdiri dari dua lantai dengan menggunakan material struktur beton bertulang. Gedung ini didirikan pada tahun 2010 dengan perencanaan pembangunan yang masih menggunakan peraturan lama. Dengan demikian, maka penulis melakukan analisis kapasitas seismik menggunakan analisis *pushover* pada bangunan gedung blok B pasar Sawahlunto.

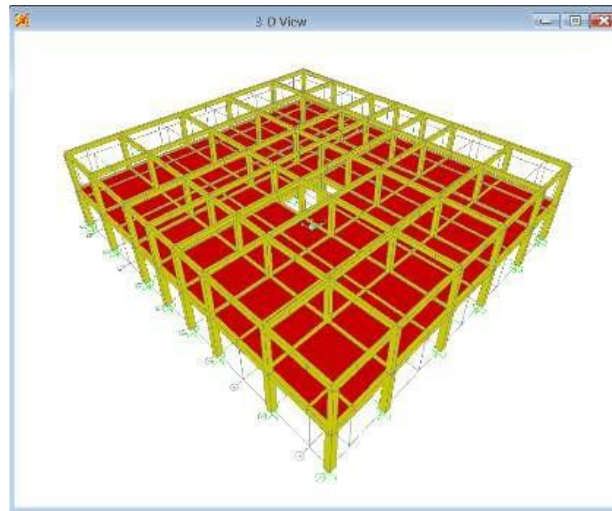
2. METODOLOGI

Lokasi penelitian ini berada di Kelurahan Pasar, Kec. Lembah Segar, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat. Objek yang diteliti adalah Gedung Blok B Pasar Sawahlunto. Gedung ini merupakan gedung beton bertulang dengan jumlah lantai 2 (dua). Tinggi tiap lantai 4 m dengan mutu beton (f_c') 20 MPa (setara dengan K-250). Mutu baja tulangan utama 400 MPa dan mutu baja tulangan sengkang 300 MPa. Penelitian ini dilakukan melalui tahapan yang meliputi tahap pengumpulan data, perhitungan pembebanan, pemodelan 3D, dan analisis statik *pushover*.

Data yang dikumpulkan berupa data gambar rencana gedung Blok B Pasar Sawahlunto. Data ini digunakan untuk pemodelan bangunan dalam bentuk tiga dimensi (3D). Pemodelan bangunan berupa portal *open frame*, dimana hanya struktur bangunan saja yang dibuat dalam bentuk tiga dimensi (3D), lalu dianalisis menggunakan bantuan *software*. Struktur yang telah dimodelkan dalam bentuk 3D dapat dilihat pada Gambar 1. Pada tahap perhitungan pembebanan, beban-beban yang dianalisis meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa pada struktur bangunan. Data diinput satu persatu dalam *software* untuk kemudian dilakukan analisis terhadap struktur gedung.

Analisis statik *pushover* dilakukan dengan langkah-langkah yang berpedoman kepada *ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings* [6] menggunakan bantuan *software*. Dari hasil analisis, diperoleh kurva kapasitas yang akan digunakan untuk menentukan *performance point* dan level kinerja bangunan. Data tersebut juga digunakan untuk mengevaluasi pola keruntuhan struktur

berdasarkan mekanisme pembebanan sendi plastis. Kemudian hasil analisis dapat disimpulkan berdasarkan data-data yang diperoleh.



Gambar 1. Pemodelan Struktur 3D

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pembebanan

Beban-beban yang bekerja sesuai dengan Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur (SNI 1727:2020) [7]. Untuk beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019 [8] dan perencanaan struktur beton bertulang berdasarkan SNI 2847:2019 [9].

a. Beban Hidup

Tabel 1. Jenis Beban Hidup

No.	Jenis Beban Hidup Pada Lantai	Berat Beban	Satuan
1.	Ruang-ruang dan koridor	1,92	kN/m ²
2.	Tangga beton	4,79	kN/m ²
Total		6,71	kN/m ²

b. Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bagian gedung yang bersifat tetap, termasuk unsur-unsur tambahan, seperti segala peralatan yang bersifat tetap yang merupakan bagian dari suatu gedung.

1) Beban plat lantai

Adapun unsur-unsur yang termasuk ke dalam plat lantai ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan Beban Mati Plat Lantai

No.	Jenis Beban Mati Plat Lantai	Berat Beban	Satuan
1.	Berat pasir setebal 1 cm	0,16	kN/m ²
2.	Berat spesi setebal 3 cm	0,66	kN/m ²
3.	Berat keramik setebal 1 cm	0,24	kN/m ²
4.	Berat plafond & penggantung	0,20	kN/m ²
5.	Berat instalasi ME	0,25	kN/m ²
Total		1,51	kN/m ²

2) Beban mati lainnya

Beban mati lainnya terdiri dari rangka atap baja ringan yang dibagi dengan banyak kolom pada bangunan. Jumlah kolom adalah sebanyak 48 kolom. Jenis beban mati lainnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Beban Mati Lainnya

No.	Jenis Beban Mati Lainnya	Berat Beban	Hasil	Satuan
1.	Berat rangka atap	0,09 x 990,00 x 17,4	1.550,34	kN
2.	Berat atap	0,0298 x 990,00 x 17,4	513,33	kN
3.	Berat sendiri kolom	0,50x0,50 x 4,0 x 48 x 24	1.152,00	kN
		0,40x0,40 x 4,0 x 48 x 24	737,28	kN
4.	Berat sendiri balok	0,30x0,60 x 5,4 x 82 x24	1.912,90	kN
		0,25x0,45 x 5,4 x 55 x24	801,90	kN
		0,20x0,40 x 5,4 x 82 x 24	850,18	kN
Total		7.517,93/48 kolom		kN

3) Beban dinding

Perhitungan beban mati dinding dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan Beban Mati Dinding

No.	Lantai	Berat Beban Dinding	Hasil	Satuan
1.	Lantai 1	6,5 kN/m ² x 0,1 m x 3,25 m	2,11	kN
2.	Lantai 2	6,5 kN/m ² x 0,1 m x 3,60 m	2,34	kN

3.2 Analisis Struktur

Dari hasil analisis struktur diperoleh luas tulangan kolom dan balok yang diperlukan. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 5 dan 6.

Tabel 5. Luasan Tulangan Pada Balok

Nama Balok	Jenis Tulangan		Luas Tulangan	Satuan
Balok 30x60	6D16	Tulangan Atas	1.205,76	mm ²
	4D16	Tulangan Bawah	803,84	mm ²
Balok 25x45	5D16	Tulangan Atas	1.004,80	mm ²
	3D16	Tulangan Bawah	602,88	mm ²
Balok 20x40	5D16	Tulangan Atas	1.004,80	mm ²
	3D16	Tulangan Bawah	602,88	mm ²

Tabel 6. Luasan Tulangan Pada Kolom

Nama Kolom	Jenis Tulangan	Luas Tulangan	Satuan
Kolom 50x50	18D16	3617,28	mm ²
Kolom 40x40	8D16	1.607,68	mm ²

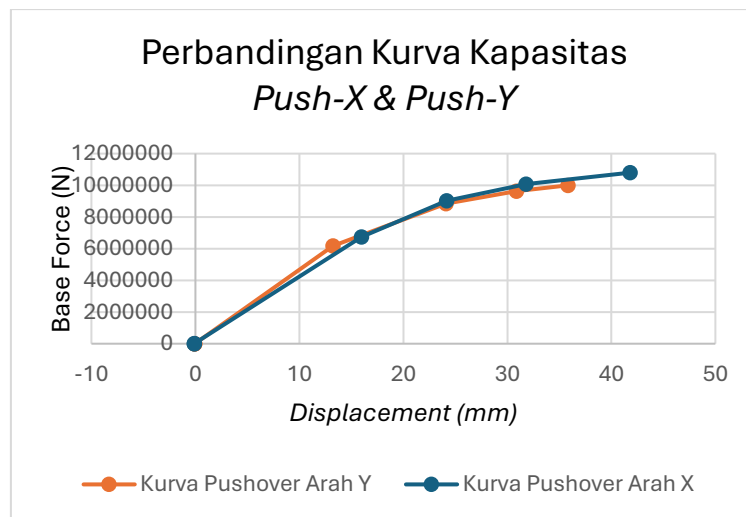
3.3 Hasil Analisis Pushover (Kurva Kapasitas)

Kurva kapasitas didapatkan setelah dilakukan iterasi dan selanjutnya ditampilkan nilai *displacement* yang diperoleh. *Displacement* dan *base force* menunjukkan besar gaya dorong yang diberikan dan perpindahan yang terjadi pada gedung tersebut. Kapasitas *pushover* dari *displacement* dan *base force* gedung dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. *Displacement dan Base Force Arah X dan Arah Y*

Step	Displacement-X (mm)	Base Force (N)	Displacement-Y (mm)	Base Force (N)
0	-0,097402	0,00	-0,07835	0,00
1	-0,085277	6.188,31	-0,076683	924,72
2	15,966148	6.749.893,15	13,223620	6.173.768,43
3	24,157632	9.023.856,42	24,110050	8.850.503,59
4	31,803485	10.070.921,4	30,865460	9.635.386,53
5	41,805564	10.797.698,8	35,832976	9.997.905,95

Berdasarkan Tabel 7, untuk *pushover* arah X gaya lateral maksimum yang mampu ditahan oleh struktur sebesar 10.797.698,8 N yang terjadi pada *step*-5 dengan *displacement* sebesar 41,805564 mm. Untuk *pushover* arah Y gaya lateral maksimum yang mampu ditahan oleh struktur sebesar 9.997.905,95 N yang terjadi pada *step*-5 dengan *displacement* sebesar 35,832976 mm. Perbandingan kurva kapasitas *push*-X dan *push*-Y dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.

**Gambar 2.** Perbandingan Kurva Kapasitas Push-X dan Push-Y

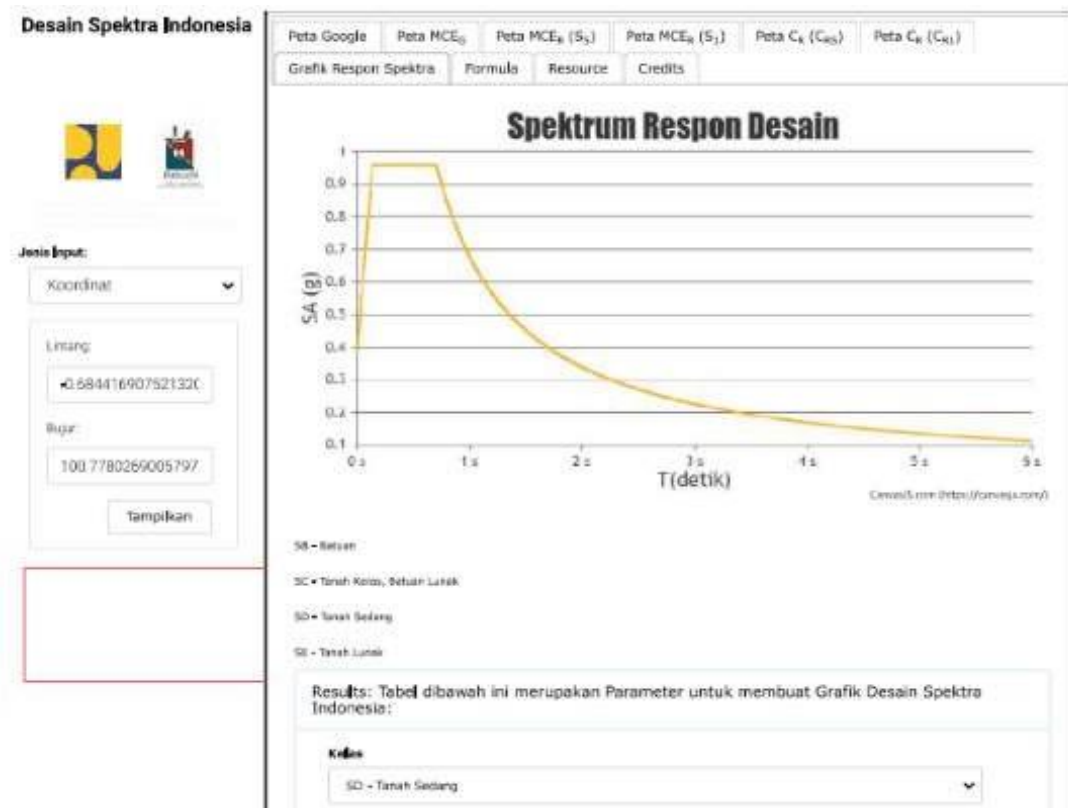
Pada gambar di atas dapat dilihat kurva kapasitas didapatkan dari kurva analisis *pushover* berdasarkan ATC-40 bahwa bentuk kurva relatif sama karena panjang dan lebar bangunan hampir sama (simetris).

3.4 Titik Kinerja (Performance Point)

Menentukan kurva respons spektrum berdasarkan lokasi gedung untuk kemudian menggabungkannya dengan kurva kapasitas *pushover* perlu dilakukan untuk menentukan titik kinerja (*performance point*). Untuk menggabungkan kurva tersebut digunakan metode ATC-40 dengan mengubah kedua kurva menjadi *S_a* dan *S_d*. Pada *software*, mengubah kurva respons spektrum dilakukan secara otomatis dengan memasukkan nilai *C_a* dan *C_v*, sedangkan untuk kurva kapasitas *pushover* bisa langsung diubah sesuai hasil iterasi pada *software* tersebut.

a. Respons Spektrum Desain

Untuk mencari kurva respons spektrum, digunakan aplikasi yang telah disediakan oleh Kementerian PUPR tahun 2020 [10]. Kurva respons spektrum didapatkan dengan memasukkan koordinat wilayah atau nama kota yang dituju pada aplikasi tersebut. Maka, untuk wilayah gempa Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat, menggunakan tanah batuan dengan kelas situs SB dan didapatkan hasil seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva Kapasitas Spektrum

Data-data dari spektrum respon desain diatas dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Data Spektrum Respon Desain

Jenis tanah	PGA (g)	Ss (g)	S1 (g)	Sds (g)	Sd1 (g)	Sms (g)	Sm1 (g)
Tanah Sedang	0,5373	1,4372	0,6018	0,96	0,68	$(Sds)^{2/3} = (0,96)^{2/3} = 0,9731$	$(Sd1)^{2/3} = (0,68)^{2/3} = 0,7732$

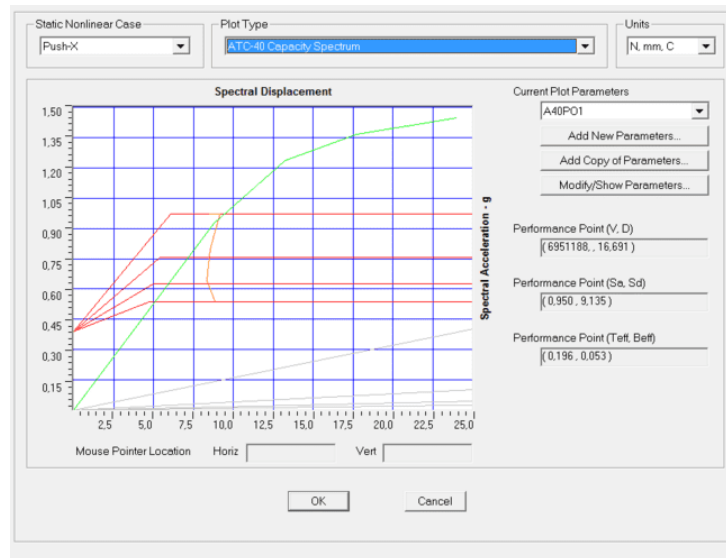
Respon spektrum berdasarkan SNI ini dikonversi menjadi *capacity spectrum* berdasarkan ATC-40 dengan menginput nilai C_a dan C_v . Berdasarkan ATC-40 pasal 4.4.3.1 nilai C_a adalah $0,4 \times S_{ms}$ dan $C_v = S_{m1}$.

$$C_a = 0,4 \times 0,9731 = 0,3892$$

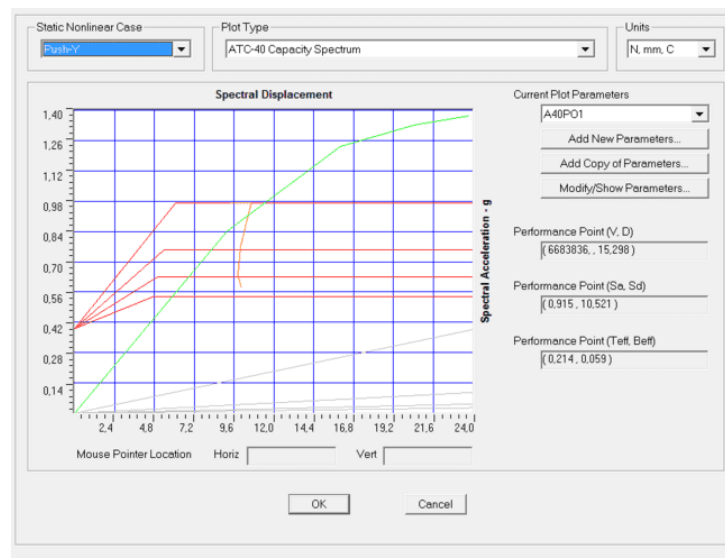
$$C_v = 0,7732$$

b. *Performance Point* Pada Gedung

Dari hasil penggabungan kurva kapasitas dan *demand spectrum* didapatkan *performance point* seperti pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. *Static Nonlinier Case Pushover Arah X*



Gambar 5. *Static Nonlinier Case Pushover Arah Y*

Berdasarkan kurva diatas dapat dibuat tabel output hasil kurva kapasitas dan *demand spectrum* untuk arah X dan arah Y, yang ditunjukkan pada Tabel 9 dan 10.

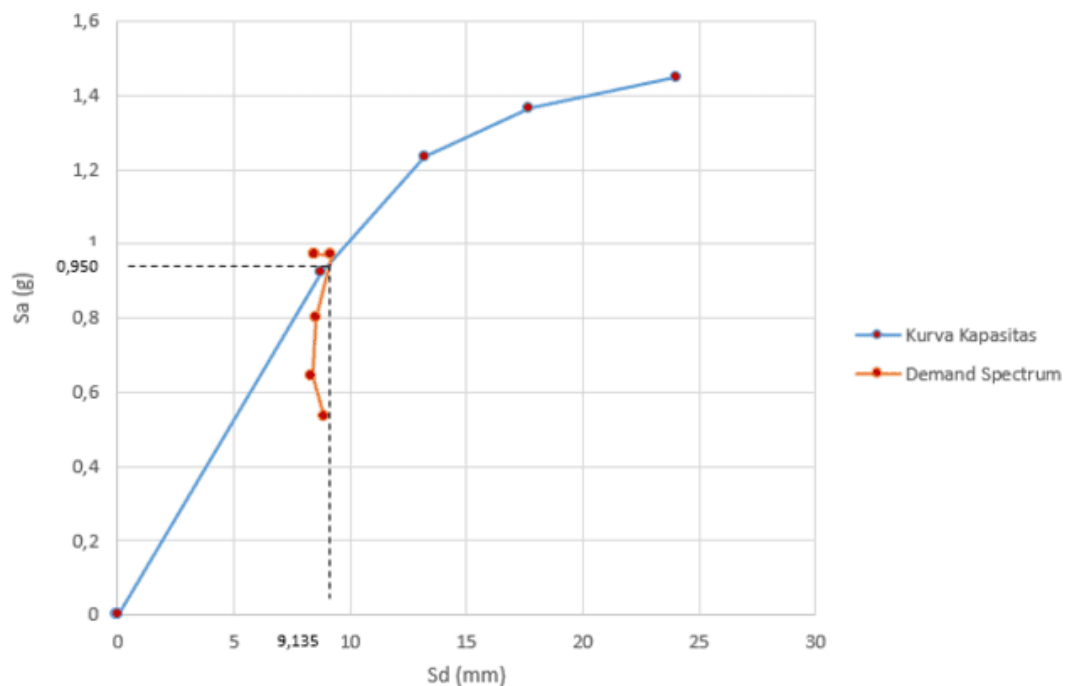
Tabel 9. *Output Kurva Kapasitas dan Demand Spectrum, Pushover Arah X*

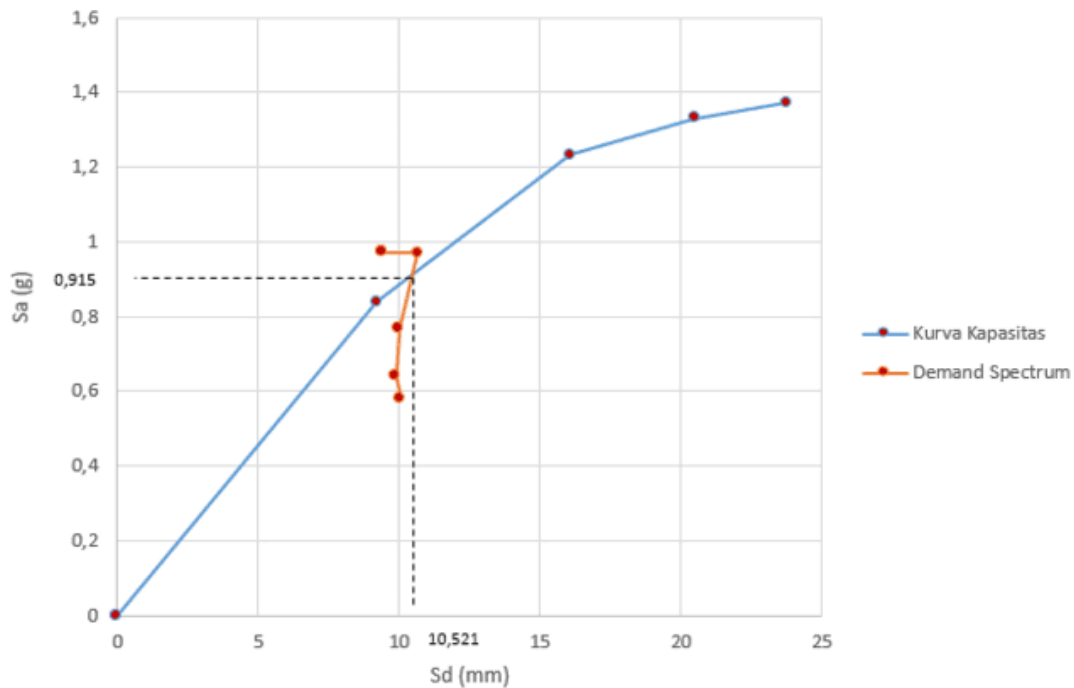
Step	Sd (Capacity) mm	Sa (Capacity) G	Sd (Demand) mm	Sa (Demand) G
0	0,000	0,000	8,480	0,973
1	0,007	0,001	8,480	0,973
2	8,739	0,923	9,192	0,970
3	13,220	1,235	8,549	0,798
4	17,725	1,365	8,361	0,644
5	24,040	1,448	8,884	0,535

Tabel 10. Output Kurva Kapasitas dan Demand Spectrum, Pushover Arah Y

Step	Sd (Capacity) mm	Sa (Capacity) G	Sd (Demand) mm	Sa (Demand) G
0	0,000	0,000	9,402	0,973
1	0,001	0,001	9,402	0,973
2	9,219	0,840	10,646	0,970
3	16,055	1,232	9,992	0,767
4	20,479	1,331	9,861	0,641
5	23,765	1,373	10,054	0,581

Tabel 9 dan 10 menunjukkan parameter S_d dan S_a terdapat pada kurva kapasitas dan demand spectrum. Dari parameter tersebut dapat diplot kedalam grafik dimana tempat bertemunya kurva kapasitas dan demand spectrum disebut sebagai *performance point* dimana titik potongnya pushover arah X didapatkan nilai $S_d = 9,135$ mm dan $S_a = 0,950$ g dan dimana titik potongnya pushover arah Y didapatkan nilai $S_d = 10,521$ mm dan $S_a = 0,915$ g. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.

**Gambar 6.** Kurva Kapasitas dan Demand Spectrum, Pushover Arah X



Gambar 7. Kurva Kapasitas dan *Demand Spectrum*, Pushover Arah X

Pada gambar diatas dapat dilihat garis perpotongan kurva kapasitas dan *demand spectrum*. Hasil dari kurva tersebut dapat langsung ditampilkan oleh *software*, yaitu kurva untuk arah X dan arah Y. Berdasarkan kurva tersebut diperoleh *performance point* seperti pada Tabel 11.

Tabel 11. *Performance Point* Metode ATC-40

Arah	<i>Performance Point</i>					
	Vt (N)	D (mm)	Sa	Sd	<i>Teff</i>	β_{eff}
<i>Pushover X</i>	6.951.188	16,691	0,950	9,135	0,196	0,053
<i>Pushover Y</i>	6.683.836	15,298	0,915	10,521	0,214	0,059

3.5 Analisis Level Kinerja Struktur menurut ATC-40

Level kinerja struktur secara global dapat ditentukan berdasarkan perbandingan nilai perpindahan atap saat *performance point* dengan tinggi total bangunan. Dalam menentukan tingkat kinerja, parameter yang diperlukan adalah nilai perpindahan atap saat *performance point* dan nilai perpindahan atap saat beban dorong step-1 dimana tinggi total bangunan adalah 11,50 meter. Untuk menghitung simpangan total maksimum dan simpangan inelastis maksimum dapat diselesaikan dengan persamaan berikut.

a. Simpangan Total Maksimum

$$\text{Arah X-X} = \frac{Dt}{H_{Total}} = \frac{16,691}{11.500} = 0,0014$$

Berdasarkan ATC-40, nilai *Maximum Total Drift Ratio* < 0,01 masuk dalam kategori tingkat kinerja struktur *Immediate Occupancy (IO)*. *Immediate Occupancy* artinya saat terjadi gempa kondisi bangunan masih aman, resiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti dan bangunan dapat segera difungsikan seperti semula.

$$\text{Arah Y-Y} = \frac{Dt}{H_{Total}} = \frac{15,298}{11.500} = 0,0013$$

Berdasarkan *ATC-40*, nilai *Maximum Total Drift Ratio* $< 0,01$ juga termasuk ke dalam kategori tingkat kinerja struktur *Immediate Occupancy (IO)*.

b. Simpangan Inelastis Maksimum

$$\text{Arah X-X} = \frac{Dt-D1}{H_{Total}} = \frac{16,691-(15,966)}{11.500} = 0,00006$$

Berdasarkan *ATC-40*, nilai *Maximum Total Drift Ratio* $< 0,01$ masuk dalam kategori tingkat kinerja struktur *Immediate Occupancy (IO)*.

$$\text{Arah Y-Y} = \frac{Dt-D1}{H_{Total}} = \frac{15,298-(13,223)}{11.500} = 0,00018$$

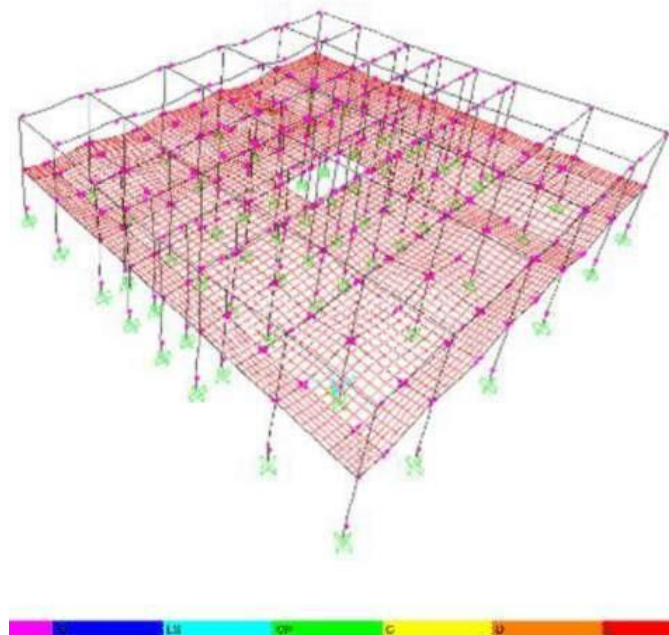
Berdasarkan *ATC-40*, nilai *Maximum Total Drift Ratio* $< 0,01$ masuk dalam kategori tingkat kinerja struktur *Immediate Occupancy (IO)*.

3.6 Mekanisme Keruntuhan Struktur berdasarkan Sendi Plastis

Pada saat momen yang terjadi lebih besar daripada momen kapasitas elemen setelah dilakukan analisis *pushover*, maka struktur akan mengalami sendi plastis. Ketika beban yang bekerja relatif kecil pada struktur maka elemen penampang masih dalam keadaan elastis. Namun jika beban ditambah secara bertahap hingga momen yang bekerja pada elemen cukup besar, maka elemen gedung menjadi plastis sehingga terbentuklah sendi plastis. Keadaan sendi plastis pada elemen struktur ditandai dengan pola warna. Berdasarkan keterangan dari warna-warna tersebut bisa dijelaskan secara sederhana bagaimana suatu elemen gedung mencapai titik plastis.

a. Sendi Plastis Arah Sumbu X

Dari hasil analisis *pushover* pada arah X *step* ke-2 (nilai $V = 6.749.893,15 \text{ N}$, $\delta = 15,966148 \text{ mm}$) terjadi pelelehan sendi plastis pada balok lantai 1 dan 2 ditandai dengan munculnya titik-titik berwarna ungu yang menunjukkan level kerusakan B (Batas Linier). Selanjutnya pada arah X *step* ke-3 (nilai $V = 9.023.856,42 \text{ N}$, $\delta = 24,157632 \text{ mm}$) terjadi pembentukan sendi plastis pada seluruh balok di lantai 1 dan 2 serta kolom bagian tengah pada lantai 1 ditandai dengan munculnya titik-titik berwarna ungu yang menunjukkan level kerusakan B (Batas Linear). Pada arah X *step* ke-5 (nilai $V = 10.797.698,9 \text{ N}$, $\delta = 41,805564 \text{ mm}$) jumlah sendi plastis terus bertambah pada seluruh balok dan kolom di lantai 1 dan 2 ditandai dengan munculnya titik-titik berwarna ungu yang menunjukkan level kerusakan B (Batas Linear) seperti ditunjukkan pada Gambar 8.

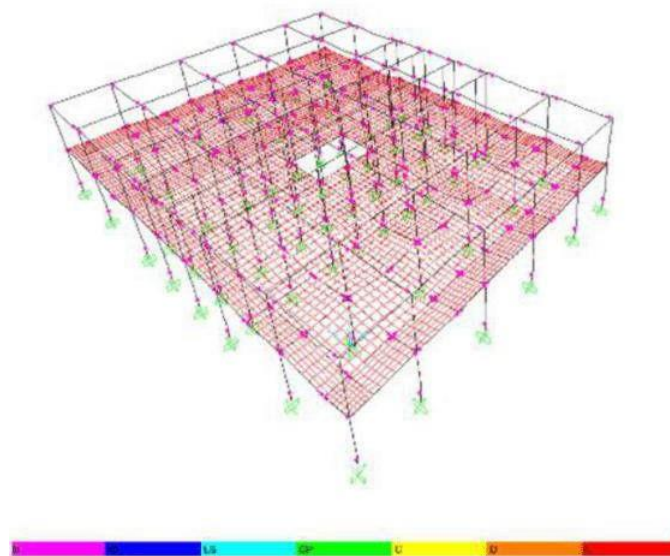


Gambar 8. Sendi Plastis Pada *Pushover* Arah X *Step* ke-5

b. Sendi Plastis Arah Sumbu Y

Dari hasil analisis *pushover* pada arah Y *step* ke-2 (nilai $V = 6.173.768,43$ N, $\delta = 13,223620$ mm) terjadi pelelehan sendi plastis pada balok lantai 1 ditandai dengan munculnya titik-titik berwarna ungu yang menunjukkan level kerusakan B (Batas Linear). Selanjutnya pada arah Y *step* ke-3 (nilai $V = 8.850.503,59$ N, $\delta = 30,865460$ mm) terjadi pembentukan sendi plastis pada seluruh balok di lantai 1 dan 2 serta kolom bagian tengah pada lantai 1 ditandai dengan munculnya titik-titik berwarna ungu yang menunjukkan level kerusakan B (Batas Linear). Pada arah Y *step* ke-5 (nilai $V = 9.997.905,95$ N, $\delta = 35,832976$ mm) jumlah sendi plastis terus bertambah pada seluruh balok dan kolom di lantai 1 dan 2 ditandai dengan munculnya titik-titik berwarna ungu yang menunjukkan level kerusakan B (Batas Linear) seperti ditunjukkan pada Gambar 9.

Berdasarkan uraian diatas, dapat disimpulkan bahwa Gedung Blok B Pasar Sawahlunto mempunyai level kinerja *Immediate Occupancy* (IO).



Gambar 9. Sendi Plastis Pada *Pushover* Arah Y *Step* ke-5

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis kapasitas seismik dan evaluasi kinerja struktur bangunan pada Gedung Blok B Pasar Sawahlunto menggunakan analisis *pushover*, maka dapat disimpulkan bahwa mekanisme keruntuhan berdasarkan sendi plastis pada awalnya terjadi pada balok kemudian diikuti oleh sendi plastis pada kolom, hingga *step* terakhir analisis *pushover* sendi plastis masih berada dalam kondisi batas *linier* yang diikuti terjadinya pelelehan pertama pada struktur. Nilai *performance point* dari perpotongan kurva kapasitas dan *demand* spektrum berdasarkan ATC-40 yaitu gedung ini memiliki level kinerja *Immediate Occupancy*, dimana pasca gempa gedung akan tetap berdiri kokoh tanpa ada kerusakan yang berarti dan masih bisa difungsikan seperti biasa. Selanjutnya, berdasarkan hasil kurva analisis *pushover* terlihat bahwa kurva kapasitas arah X memiliki bentuk yang hampir sama dengan kurva kapasitas arah Y, hal ini menunjukkan bahwa kekakuan struktur arah X dan arah Y relatif sama. Gedung Blok B Pasar Sawahlunto memiliki level kinerja *Immediate Occupancy* (IO) karena dimensi kolom dan balok yang digunakan cukup besar khususnya pada lantai 1 serta memakai tulangan yang relatif boros (melebihi 1% rasio tulangan yang disyaratkan). Pada penelitian berikutnya disarankan untuk melakukan studi lebih lanjut pada bangunan gedung dengan bentuk yang lebih bervariasi/asimetris untuk melihat tingkat kinerja struktur yang berbeda. Dalam menentukan tingkat kinerja struktur bangunan, dapat ditambahkan metode lain seperti FEMA 356 dan FEMA 440.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Marwanto, A., Budi, A. S., & Supriyadi, A. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai Dengan Analisis Pushover Terhadap Drift dan Displacement Menggunakan Software ETABS. *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, p. 484-491. 2014.
- [2] Manalip, H., Windah, R. S., & Dapas, S. O. Analisis Pushover pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium. *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 2, No. 4, p. 201-213. 2014.
- [3] Pangestu, S. F., & Pratama, M. M. A. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Pendekatan Desain Berbasis Kinerja. *Cantilever Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, Vol. 10, No. 2, p. 91-100. 2021.
- [4] Hilmi, M., Erizal, & Febrita, J. Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat dengan Metode Analisis Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726:2019. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, Vol. 6, No. 3, p. 143-158. 2021.
- [5] Halimatusadiyah, Suryanita, R., & Yusa, M. Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Beton Bertulang di Tanah Khusus Berdasarkan Analisis Pushover. *Jurnal RAB Construction Research*, Vol. 6, No. 1, p. 39-47. 2021.
- [6] Applied Technology Council. ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. California : Seismic Safety Commission. 1996.
- [7] Badan Standardisasi Nasional. SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung. Jakarta : Standar Nasional Indonesia. 2020.
- [8] Badan Standardisasi Nasional. SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta : Standar Nasional Indonesia. 2019.
- [9] Badan Standardisasi Nasional. SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Jakarta : Standar Nasional Indonesia. 2019.
- [10] Kementerian PUPR. Desain Spektra Indonesia. <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>