

Analisa Level Kinerja Struktur Pada Bangunan 12 Lantai Dengan Metode Pushover

**M. Hasbi Zuher*, Zairah Nabila Sidiq, Ade Prayoga Nasution,
Masrilayanti, Jati Sunaryati**

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang, Indonesia

*Correspondence: hasbizuher@gmail.com

Abstrak. Gempa bumi telah banyak terjadi di Indonesia khususnya Sumatera Barat pernah terjadi gempa cukup besar salah satunya pada tahun 2009 dengan kekuatan 7,6 skala richter berpusat di Padang Pariaman, menyebabkan kerusakan pada struktur yang rentan dan hilangnya nyawa. Oleh karena itu evaluasi kerentanan bangunan seismik sebelum terjadinya gempa bumi adalah langkah penting dalam mencegah kerusakan pada bangunan dan korban jiwa. Pada studi ini yakni dilakukan *analysis pushover* untuk mengetahui level kinerja struktur. Metode yang digunakan yaitu bangunan 12 lantai yang sudah diketahui baik *existing* bangunan maupun *detailed* propertiesnya di modelkan menggunakan *Software Structural Analysis Program (SAP2000)* Versi 23. Dari hasil analisa Struktur bangunan 12 lantai akan mengalami titik leleh pertama ketika diberi beban *pushover* ke-3 baik pada arah-X maupun arah-Y dan struktur bangunan akan collapse ketika diberi beban *pushover* ke-10 pada arah-X dan ke-8 pada arah-Y. Untuk level kinerja struktur bangunan 12 lantai termasuk dalam level kategori *Damage Control (DO)* untuk arah X-X yang berarti transisi antara *Immediate Ocupancy (IO)* dan *Life Safety (LS)*. Sedangkan untuk arah Y-Y, struktur termasuk dalam level kategori *Immediate Ocupancy (IO)*. Dengan demikian, maka dalam hal ini bangunan masih mampu menahan beban gempa yang terjadi, bangunan juga dapat dipakai kembali ketika telah menerima beban gempa dan untuk resiko korban jiwa manusia relatif kecil.

Kata Kunci: *Pushover Analysis, Response Spectrum SNI 1726 : 2019, Applied Technology Council (ATC-40), Performance Level.*

Abstract. *There have been many earthquakes in Indonesia, especially West Sumatra. There was a fairly large earthquake, one of which was in 2009 with a magnitude of 7.6 on the Richter scale centered in Padang Pariaman, causing damage to vulnerable structures and loss of life. Therefore, evaluating the seismic vulnerability of buildings before an earthquake occurs is an important step in preventing damage to buildings and loss of life. In this study, a pushover analysis was carried out to determine the level of structural performance. The method used is a 12-storey building where both the existing building and its detailed properties are known, modeled using the Software Structural Analysis Program (SAP2000) Version 23. From the analysis results, the structure of the 12-storey building will experience the first yield point when given the 3rd pushover load, both at in the X-direction and Y-direction and the building structure will collapse when given the 10th pushover load in the X-direction and the 8th in the Y-direction. The performance level of the 12-story building structure is included in the Damage Control (DO) category level for the X-X direction, which means the transition between Immediate Occupancy (IO) and Life Safety (LS). Meanwhile, in the Y-Y direction, the structure is included in the Immediate Occupancy (IO) category level. Thus, in this case the building is still able to withstand the burden of the earthquake that occurred, the building can also be used again when it has received the earthquake load and the risk of human casualties is relatively small.*

Keywords: *Pushover Analysis, Response Spectrum SNI 1726 : 2019, Applied Technology Council (ATC-40), Performance Level.*

PENDAHULUAN

Di Sumatera Barat, pernah terjadi gempa cukup besar pada tahun 2009 berkekuatan 7,6 SR pada kedalaman 110 km dengan pusat gempa berada pada 22 km Barat Daya Pariaman dan 52 km Barat Laut Padang. Gempa dengan skala besar ini juga dirasakan hingga ke Sumatera Utara, Sumatera Selatan, Riau, dan Singapura. Gempa ini mengakibatkan kerusakan bahkan keruntuhan pada bangunan, baik rumah tinggal, gedung pemerintahan maupun swasta, dan fasilitas umum khususnya di Kota Padang (Ismail F. A. et al, 2011).

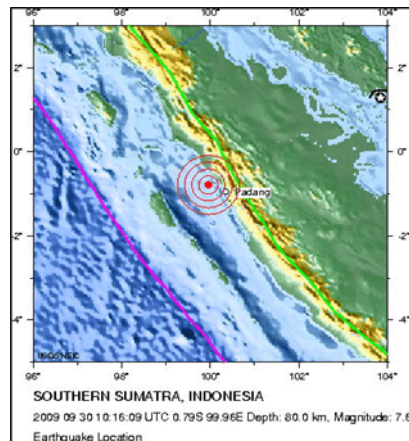
Kota Padang merupakan salah satu kota di Sumatera Barat yang memiliki banyak bangunan tinggi. Permasalahan utama pada bangunan gempa menyebabkan terjadinya deformasi pada struktur,

perpindahan lateral pada puncak bangunan terhadap dasar bangunan, dan simpangan antar lantai pada struktur (Ismail F. A, 2012). Pada **Gambar 1**, menunjukkan bahwa Sumatera Barat termasuk kedalam zonasi gempa dengan percepatan 0,4 - 0,6 g. Padang sebagai ibukota Provinsi Sumatera Barat telah mengalami beberapa kali gempa besar pada periode Tahun 2004 sampai dengan Tahun 2009. Gempa besar yang mengguncang kota Padang terakhir kali terjadi pada pukul 17:16:10 tanggal 30 September 2009 dengan kekuatan 7,6 Skala Richter (SR) yang berpusat di kota Padang Pariaman. Lokasi pusat gempa ditunjukkan sebagai lingkaran merah pada **Gambar 2**, menunjukkan gempa 30 September 2009 tersebut menimbulkan banyak kerusakan dan korban jiwa.



Gambar 1. Peta Zonasi Gempa Indonesia

Sumber: Peta Sumber Bahaya Gempa Indonesia 2017, ISBN :978-602-5489-01-3



Gambar 2. Lokasi Pusat Gempa Padang Pariaman 2009

Sumber: id.wikipedia.org/wiki/Gempa_Bumi_Sumatera_Barat_September_2009

Paper ini menjelaskan mengenai “Analisa Level Kinerja Struktur Pada Bangunan 12 Lantai Dengan Metode *Pushover*”. Adapun bangunan 12 lantai yakni diambil *existing* gedung hotel Ibis Padang yang lokasi gedung ini kurang lebih 1,5 km dari garis pantai (dapat dilihat pada **Gambar 3**).



Gambar 3. Hotel Ibis Padang

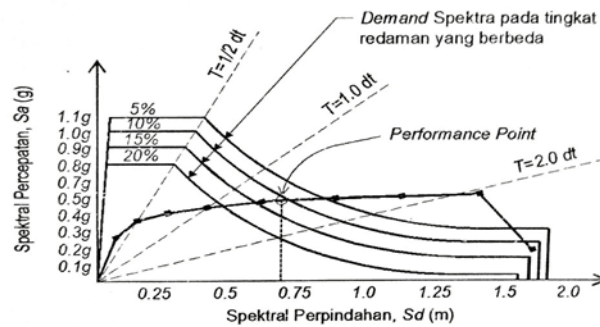
Sumber : febbymellisa.blogspot.com, 2018

Dalam perkembangannya, analisis statik *non-linier* yang lebih dikenal dengan istilah *pushover analysis* lebih banyak digunakan dan merupakan pilihan yang menarik dalam mengevaluasi bangunan existing sehingga dapat diketahui kinerja seismik bangunan. Analisis *pushover* dilakukan dengan metode target perpindahan. Beberapa cara menentukan target perpindahan adalah *displacement coeficient method* (FEMA-273/356), *displacement modification* (FEMA-440) dan *capacity spectrum method* (ATC-40) (FEMA, 2005).

Dalam upaya antisipasi terhadap risiko bencana gempa, pemerintahan Indonesia akan terus melakukan pembaharuan Standar Nasional Indonesia (SNI) terkait desain struktur bangunan tahan gempa baik yang beraturan maupun yang tidak beraturan. Tidak semua gedung baru didesain menggunakan standar terbaru (Rifki M, 2019). Dikarenakan perencanaan yang telah selesai dan sudah memasuki tahap pelaksanaan tidak lama setelah itu keluarlah standar terbaru, apalagi untuk gedung yang sudah lama dibangun. Jadi, evaluasi pada struktur bangunan sangat diperlukan untuk mengetahui keamanan struktur bangunan yang disesuaikan dengan peraturan terbaru akibat beban gempa. Seperti halnya SNI 1726:2019. “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung” dan SNI 1727:2020. “Beban Desain Minimum dan Kriteria terkait Bangunan”.

Pada dasarnya, analisis *pushover* adalah analisis statis *non-linier* yang dilakukan untuk mengembangkan kurva kapasitas atau kurva *pushover* bangunan. Ini membutuhkan pelaksanaan analisis statis *non-linier* yang memungkinkan pemantauan hasil progresif dari struktur. Bangunan tersebut menerima beban lateral. Magnitudo beban meningkat hingga bangunan mencapai perpindahan target (target *displacement*) atau struktur memasuki kondisi tidak stabil. Perpindahan target ini merepresentasikan perpindahan puncak ketika bangunan dikenai beban gempa (Hakim R. A. et al, 2014)

Pushover Analysis adalah prosedur analitis untuk menentukan kinerja struktur. Tujuan kinerja struktur adalah pencapaian level kinerja struktur yang ditentukan oleh deformasi struktur di bawah beban gempa yang ditentukan oleh maksimum perpindahan struktur dan elemen struktur yang dapat diterima dengan besaran beban gempa kuat yang ditinjau. Pada contoh ini, pengerjaan metode analisis statik *non-linear* (*pushover analysis*) ini didasarkan oleh peraturan ATC-40 (lihat **Gambar 4**) (ATC-40, 1996).



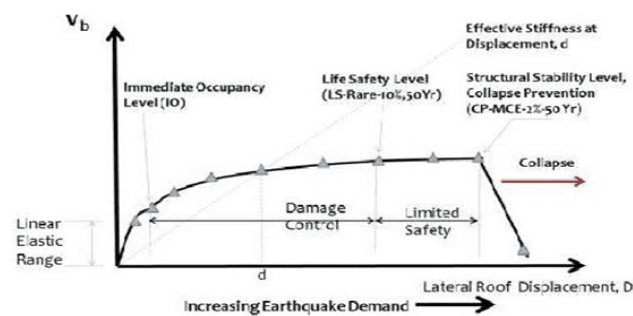
Gambar 4. Titik Kinerja Struktur pada Tingkat Redaman Struktur

Sumber : ATC-40, 1996

Perencanaan bangunan tahan gempa berbasis kinerja atau lebih dikenal *performance based design* dimulai dengan membuat model rencana bangunan kemudian melakukan simulasi kinerjanya terhadap berbagai kejadian gempa. Sasaran kinerja terdiri dari kejadian gempa rencana yang ditentukan dan taraf kerusakan yang diijinkan atau level kinerja (*performance level*) dari bangunan terhadap kejadian gempa tersebut. Dalam disain struktur berbasis kinerja, biasanya kinerja struktur didisain sesuai dengan tujuan dan kegunaan suatu bangunan dengan mempertimbangkan faktor ekonomis terhadap perbaikan bangunan saat terjadi gempa tanpa mengesampingkan keselamatan terhadap pengguna bangunan (Tavio U. W, 2018).

Ada beberapa cara menentukan level kinerja struktur, diantaranya adalah *capacity spectrum method* (Applied Technology Council (ATC-40)), *displacement coefficient method* (Federal Emergency Management Agency (FEMA-273/356)), dan *displacement modification* (FEMA-440) (Tavio U. W, 2018).

ATC-40 mendefinisikan beberapa daerah di daerah elastik dan inelastik dari kurva kapasitas yang diperoleh. Ada beberapa tingkatan kinerja sesuai ATC-40 (lihat **Gambar 5**), dimana tingkatan kinerja yang digambarkan merupakan kurva hubungan antara perpindahan lateral pada lantai atap terhadap besar gaya yang bekerja atau yang disebut kurva kapasitas (ATC-40, 1996).



Gambar 5. Kurva Kapasitas dan Definisi Daerah Kinerja

Sumber : ATC-40, 1996

Berikut merupakan kondisi bangunan pasca gempa dengan berbagai level kinerja struktur yang menjadi acuan bagi perencanaan berbasis kinerja (ATC-40, 1996) :

1. *Immediate Occupancy* (IO)

Pada level ini hanya terjadi kerusakan kecil pada komponen non-struktural Gedung dan kerusakan struktur yang tidak terlalu berarti setelah gempa terjadi. Kekuatan dan kekakuannya mendekati sama dengan kondisi sebelum gempa. Bangunan dapat tetap berfungsi seperti biasa, sehingga jika pun ada perbaikan tidak akan mengganggu pengguna bangunan.

2. *Damage Control* (DO)

Merupakan transisi antara *Immediate Occupancy* (IO) dan *Life Safety* (LS). Terjadi kerusakan minor pada komponen non-struktural maupun struktur setelah gempa terjadi, namun masih dapat diperbaiki, serta resiko korban jiwa manusia sangat kecil.

3. *Life Safety (LS)*

Pada level ini terjadi kerusakan pada komponen struktur dan non-struktur mulai dari kecil hingga tingkat sedang. Kekakuan struktur berkurang tapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan. Bangunan dapat berfungsi lagi jika sudah mengalami perbaikan dan mungkin tidak ekonomis.

4. *Limited Safety*

Merupakan transisi antara *Life Safety (LS)* dan *Structural Stability (SS)*.

5. *Structural Stability (SS)*

Pada level ini terjadi kerusakan yang parah (*severely*) pada struktur dan telah terjadi kegagalan pada komponen non-struktural, sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak, bangunan hampir runtuh (*near collapse*).

Batasan deformasi yang terjadi akibat beban lateral yang terjadi pada tingkatan kinerja struktur berdasarkan ATC-40 dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Batasan Deformasi pada Tingkat Kinerja Struktur (ATC-40)

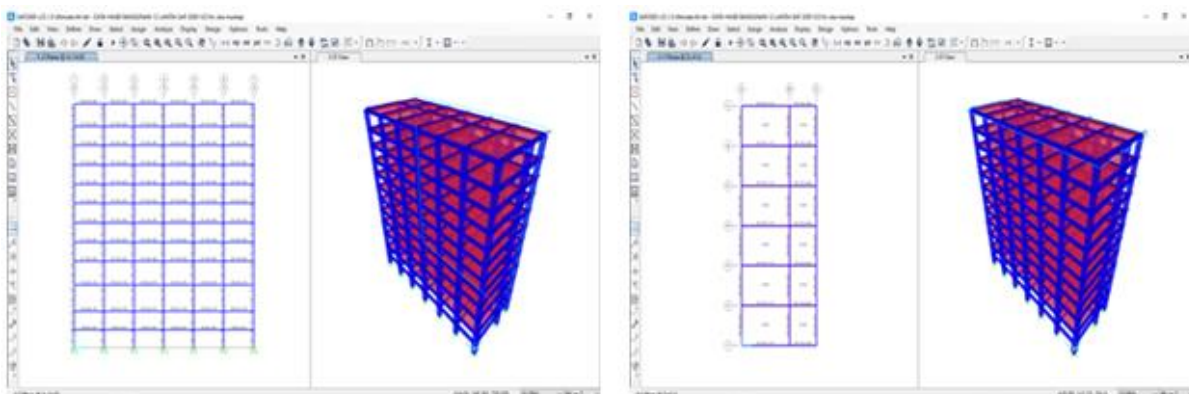
Interstory drift limit	Performance level			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Maximum total drift	0.01	0.01-0.02	0.02	$0.33 \frac{V_i}{P_i}$
Maximum inelastic drift	0.005	0.005-0.015	No limit	No limit

Sumber : ATC-40, 1996

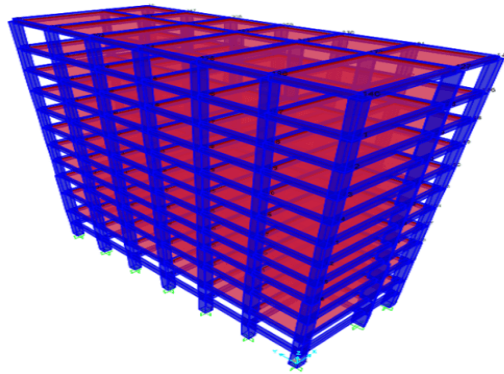
Umum pada paper ini, dilakukan permodelan menggunakan *software* analisis struktur yaitu *Structural Analysis Program (SAP2000)* Versi 23. Tujuan dari paper ini secara umum yaitu mengetahui kinerja struktur bangunan 12 lantai dari hasil evaluasi metode *pushover analysis*.

METODE

Metode yang digunakan yaitu diawal dilakukan pemodelan menggunakan *Structural Analysis Program (SAP2000)* Versi 23. Yakni mulai dari pembuatan grid, input material struktur, pembuatan material struktur penampang dan tulangan yang untuk detail tulangan struktur baik penampang balok maupun kolom menggunakan desain yang sudah ada yakni *DED (Desain Engineering Detail)* Hotel Ibis Padang yang dibuat oleh konsultan Pusat Studi Bencana Universitas Andalas tahun 2011. Adapun penggambaran pemodelan dapat dilihat pada **Gambar 6** dan **Gambar 7**.



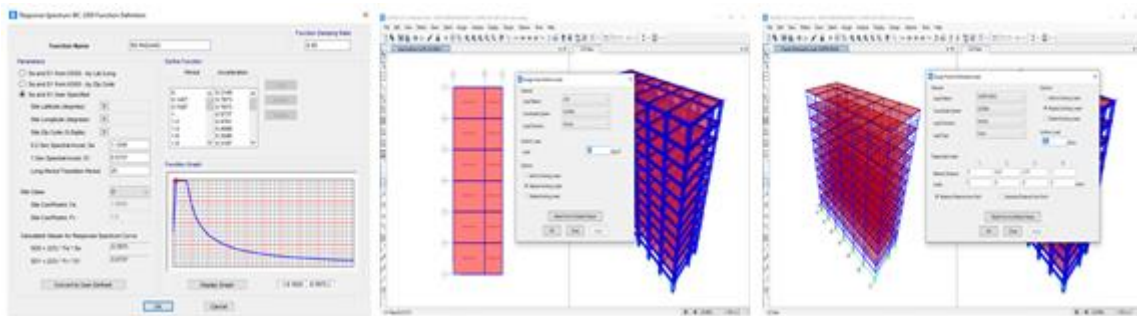
Gambar 6. Penggambaran Elemen Balok, Kolom, Plat Lantai dan Plat Atap



Gambar 7. Pemodelan Bangunan 12 Lantai SAP2000 V23

Lalu dilakukan analisis dan pengaplikasian pembebanan. Adapun jenis beban yang bekerja pada Gedung meliputi :

1. Beban mati sendiri elemen struktur (*Dead Load*)
Meliputi : balok, kolom, shear wall, dan plat.
2. Beban mati elemen tambahan (*Super Dead Load*)
Meliputi : dinding, keramik, plesteran, plumbing, ME (*mechanical electrical*), dll.
3. Beban hidup (*Live Load*)
Meliputi : beban luasan per m² yang ditinjau berdasarkan fungsi bangunan.
4. Beban Gempa (*Earthquake Load*)
Meliputi : beban gempa statik ekuivalen dan dinamik (*respons spectrum*)



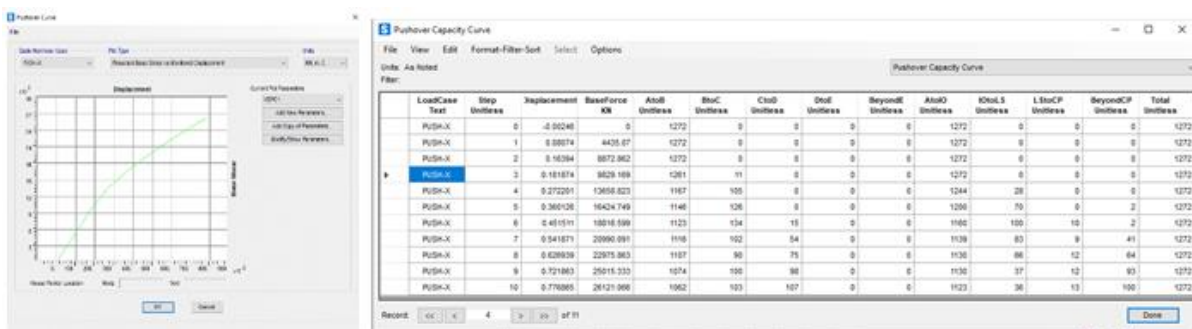
Gambar 8. Pengaplikasian Pembebanan Pada Program SAP2000 V23

HASIL

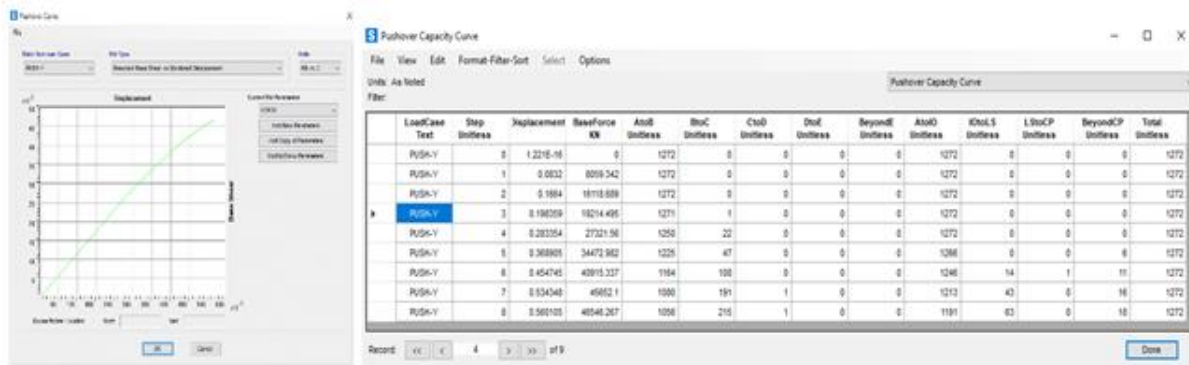
Hasil dari penelitian berupa hasil Analisis Statik Nonlinier (*Pushover Analysis*) dan Level Kinerja Struktur.

1. Analisis Statik Nonlinier (*Pushover Analysis*)

Dari hasil analisis *pushover*, maka akan didapatkan kurva kapasitas *pushover*, tingkatan kondisi plastifikasi pada sendi plastis elemen struktur dan level kinerja struktur berdasarkan Table 5.5.4 ATC-40.



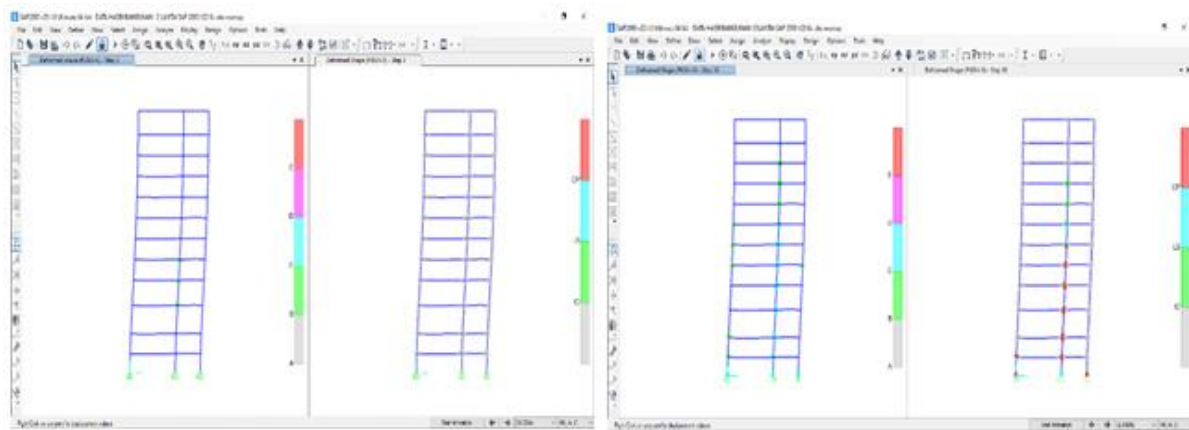
Gambar 9. Output Pushover Curve Arah-X



Gambar 10. Output Pushover Curve Arah-Y

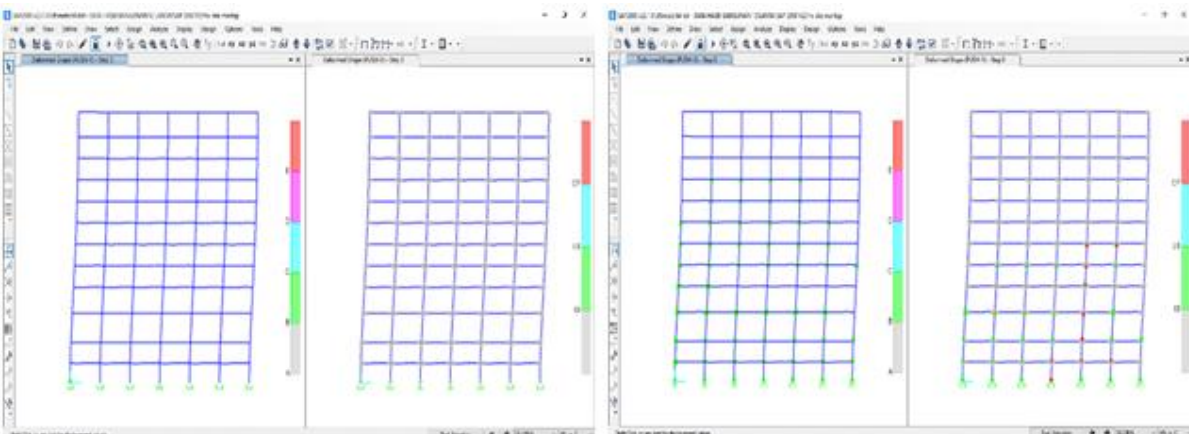
Dari hasil *running pushover* analisis dengan program SAP2000 Versi 23 untuk arah x-x didapatkan 10 Step pola beban dorong dan arah y-y didapatkan 8 Step pola beban dorong yang diberikan pada struktur hingga struktur mengalami keruntuhan.

Berikut contoh *output* gambar lokasi terjadinya sendi plastis pada elemen struktur untuk beban dorong arah x-x dari titik leleh pertama sampai *collapse* sebagai berikut :



Gambar 11. Push-x Step 3 dan Push-x Step 10

Selanjutnya berikut *output* gambar lokasi terjadinya sendi plastis pada elemen struktur untuk beban dorong arah y-y dari titik leleh pertama sampai *collapse* sebagai berikut :



Gambar 12. Push-y Step 3 dan Push-y Step 8

Dari hasil *output* tabel dan gambar maka struktur bangunan 12 lantai akan mengalami titik leleh pertama ketika diberi beban *pushover* ke-3 baik pada arah-X maupun arah-Y dan struktur bangunan akan *collapse* ketika diberi beban *pushover* ke-10 pada arah-X dan *pushover* ke-8 pada arah-Y.

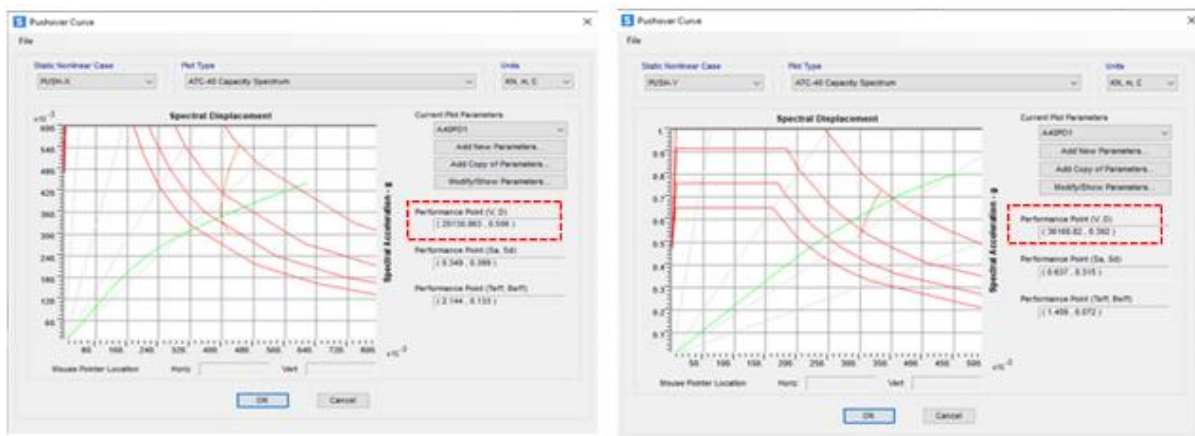
2. Level Kinerja Struktur

Level kinerja struktur ditentukan berdasarkan Table 5.5.4 ATC-40. Adapun tabelnya :

Tabel 2. Batas Simpangan pada Tingkat Kinerja Struktur

Tingkat Kinerja Struktur				
Batas Simpangan Antar Lantai	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Structural Stability
Simpangan Total Maksimum	0,01	0,01-0,02	0,02	0,33 V_i/P_i
Simpangan Inelastis Maksimum	0,005	0,005-0,015	No Limit	No Limit

Sumber : ATC-40, 1996 11-4



Gambar 13. Spektrum Kapasitas Arah x-x dan Arah

Dalam hasil level kinerja struktur ini untuk menentukan tingkat kinerja parameter yang diperlukan adalah nilai perpindahan atap saat *performance point* dan nilai perpindahan atap saat *first yield* (beban dorong ke-3) dimana tinggi total bangunan = 41,6 m

1. Simpangan Total Maksimum

$$\text{Arah } x - x = \frac{D_{tx}}{H_{total}} = \frac{0,506 \text{ m}}{41,6 \text{ m}} = 0,0121 \dots\dots\dots (\text{Damage Control})$$

$$\text{Arah } y - y = \frac{D_{ty}}{H_{total}} = \frac{0,392 \text{ m}}{41,6 \text{ m}} = 0,0094 = 0,01 \dots\dots\dots (\text{Immediate Occupancy})$$

2. Simpangan Inelastis Maksimum

$$\text{Arah } x - x = \frac{D_{tx} - D_3}{H_{total}} = \frac{0,506 \text{ m} - 0,181 \text{ m}}{41,6 \text{ m}} = 0,0078 \dots\dots\dots (\text{Damage Control})$$

$$\text{Arah } y - y = \frac{D_{ty} - D_3}{H_{total}} = \frac{0,392 \text{ m} - 0,198 \text{ m}}{41,6 \text{ m}} = 0,0046 = 0,005 \dots\dots\dots (\text{Immediate Occupancy})$$

Maka sesuai ATC-40 struktur termasuk dalam level kategori *Damage Control* (DO) untuk arah x-x yang berarti transisi antara *Immediate Occupancy* (IO) dan *Life Safety* (LS). Sedangkan struktur termasuk dalam level kategori *Immediate Occupancy* (IO) untuk arah y-y. Maka dalam hal ini bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, bangunan juga dapat dipakai kembali ketika telah menerima beban gempa dan untuk resiko korban jiwa manusia sangat kecil.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pembahasan dan analisa yang telah dilakukan maka ditarik kesimpulan yang merupakan rangkuman dari hasil penelitian yang dilakukan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini. Berikut kesimpulan dari penelitian ini:

1. Struktur bangunan 12 lantai akan mengalami titik leleh pertama ketika diberi beban pushover ke-3 baik pada arah-X maupun arah-Y dan struktur bangunan akan collapse ketika diberi beban pushover ke-10 pada arah-X dan ke-8 pada arah-Y.

2. Untuk level kinerja struktur bangunan 12 lantai termasuk dalam level kategori Damage Control (DO) untuk arah X-X yang berarti transisi antara Immediate Occupancy (IO) dan Life Safety (LS). Sedangkan struktur termasuk dalam level kategori Immediate Occupancy (IO) untuk arah Y-Y.

Dengan demikian, maka dalam hal ini bangunan masih mampu menahan beban gempa yang terjadi, bangunan juga dapat dipakai kembali ketika telah menerima beban gempa dan untuk resiko korban jiwa manusia relatif kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Comartin, C., Niewiarowski, R., & Rojahn, C. (1996). ATC-40 Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. *SSC 96*, 1(1).
- Fema, A. (2005). 440, Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures. *FEMA-440*, Redwood City, 7(9), 11.
- Gambar Hotel Ibis Padang. (2018). Sumber : febbymellisa.blogspot.com.
- Hakim, R. A., Alama, M. S., & Ashour, S. A. (2014). Seismic assessment of RC building according to ATC 40, FEMA 356 and FEMA 440. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39, 7691-7699.
- https://id.wikipedia.org/wiki/Gempa_Bumi_Sumatera_Barat_September_2009.
- Ismail, F. A., Hakam, A., & Fauzan, F. (2011). Kerusakan Bangunan Hotel Bumi Minang Akibat Gempa Padang 30 September 2009. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Andalas*, 18(2).
- Ismail, F. A. (2012). PENGARUH PENGGUNAAN SEISMIC BASE ISOLATION SYSTEM TERHADAP RESPONS STRUKTUR GEDUNG HOTEL IBIS PADANG. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 8(1), 45-60.
- Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. (2017). ISBN :978-602-5489-01-3.
- Rifki, M. (2019). EVALUASI KERAPUHAN SEISMIK PADA STRUKTUR GEDUNG KULIAH TWIN BUILDING UMY MENURUT SNI 1726-2012.
- SNI 1726:2019. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
- SNI 1727:2020. (2020). Beban Desain Minimum dan Kriteria terkait Bangunan.
- Tavio, U. W. (2018). Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Performance Based Design). *Yogyakarta: Andi*.