

Evaluasi kinerja struktur atas pada desain gedung perkantoran menggunakan analisis *pushover* berdasarkan atc-40 terhadap beban gempa level besar (*maximum considered earthquake, risk targeted*)

Maritza Syifa Syahira^{1,*}, Atika Ulfah Jamal¹

^{1,2}Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Pushover
Earthquake
Performance point
Hinges

Corresponding Author:

Maritza Syifa Syahira
18511251@alumni.uii.ac.id
Atika Ulfah Jamal
atika.ulfah@gmail.com

Abstract

Based on performance-based design, pushover analysis is used to forecast how buildings will behave during earthquakes. The approach is to gradually apply a pattern of static lateral loads on the structure until it reaches its target displacement. The analysis's findings take the form of base shear-roof displacement curves, which are then utilized to determine structural performance levels and performance points based on ATC-40, 1996.

In this study, office buildings in Padang City were modeled using pushover analysis to determine the structural capacity curve, structural performance level, as well as plastic hinge mechanism that occurs against MCER-level seismic loads. This pushover analysis was performed using SAP2000 v22 software under the provisions of ATC-40, 1996.

The results of the pushover analyze against the MCER level earthquake load were displacement values of 0.369742 m with a base force value of 21392.101 kN for the x direction and 0.365115 m with a base force value of 32408.387 kN for the y direction. The x direction performance point values are $V = 20149.839$ kN and $\delta = 0.309$ m, whereas the Y direction performance point values are $V = 26643.81$ kN and $\delta = 0.231$ m. According to the analysis, the structure's performance level under MCER seismic load was Damage Control.

Copyright © 2023 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Kondisi alam Indonesia berada pada jalur *Ring of Fire* atau daerah pertemuan antara empat lempeng tektonik utama yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia, Pasifik, dan Filipina yang telah menjadi tantangan tersendiri dalam konstruksi gedung bertingkat akibat adanya ancaman risiko bencana alam yaitu gempa bumi. Gempa bumi yang terjadi di Indonesia banyak menyebabkan bangunan rusak sehingga terjadinya keruntuhan pada bangunan dan mengakibatkan banyaknya korban jiwa.

Oleh karena itu, yang menjadi permasalahan utama dalam perencanaan dan pelaksanaan struktur bangunan bertingkat adalah bagaimana supaya struktur gedung tersebut memiliki ketahanan dalam menerima beban lateral gempa. Berbagai sistem penahan beban lateral telah digunakan pada gedung-gedung tinggi, namun untuk penggunaan sistem penahan beban lateral secara tepat dan efektif perlu dilakukan perencanaan yang berbasis kinerja, sehingga akan diketahui kapasitas struktur dalam menerima beban lateral serta mengetahui perilaku inelastis dari struktur.

Dalam penelitian ini, digunakan metode analisis statik nonlinear beban dorong (*pushover*) untuk mengevaluasi kinerja struktur pada gedung kantor. Bangunan dievaluasi menggunakan analisis *pushover* berdasarkan ATC-40 yang merupakan salah satu metode evaluasi pada bangunan dengan berpedoman pada *performance-based evaluation design*. Pada penelitian ini gedung yang digunakan sebagai studi kasus adalah gedung perkantoran yang berada di Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat, daerah yang rawan terhadap gempa bumi. Gedung yang akan ditinjau merupakan gedung yang akan dibangun, termasuk dalam kategori risiko II, dan berdiri pada kondisi tanah lunak.

Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui apakah gedung tersebut memenuhi level kinerja yang dipersyaratkan untuk gedung yang termasuk kategori risiko II. Tingkat pembebanan level gempa menjadi batasan dalam penelitian level kinerja struktur. Gempa desain adalah gempa dengan periode 500 tahun dan keruntuhan struktur sebesar 10% untuk umur bangunan 50 tahun. Gempa besar adalah gempa dengan periode 2500 tahun dan keruntuhan struktur sebesar 2% untuk umur bangunan 50 tahun. Dalam penelitian ini akan dilakukan evaluasi kinerja struktur akibat gempa level besar (MCE_R), Struktur yang termasuk dalam kategori risiko II diharapkan memiliki level kinerja *Collapse Prevention* saat diberi beban gempa MCE_R .

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

- [1] mendapatkan nilai V dan δ pada saat *performance point* yang tercapai dari hasil analisis *pushover* dengan beban gempa MCE_R (*Maximum Considered Earthquake, Risk Targeted*), dan
- [2] mendapatkan dan mengetahui level kinerja struktur gedung perkantoran yang ditinjau berdasarkan ATC-40 dengan beban gempa MCE_R (*Maximum*

Considered Earthquake, Risk Targeted).

Tinjauan Pustaka

Sandhi, dkk (2017) meneliti Gedung Fakultas Ilmu Sosial dan Politik Universitas Brawijaya untuk mengetahui simpangan antar lantai, tingkat kinerja dari bangunan, dan titik performa yang dihasilkan dengan 2 macam respon spektrum desain berdasarkan SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012. Tipe *hinge properties* yang dipakai untuk balok adalah momen M3 yang berarti sendi plastis terjadi hanya karena momen searah sumbu lokal 3 dan tipe *hinge properties* untuk kolom bawah adalah P-M-M yang artinya sendi plastis terjadi karena interaksi gaya aksial dan momen. Hasil yang diperoleh dari *pushover analysis* ini untuk prosedur A adalah dimana dihasilkan titik performa (0,315, 0,0602) untuk gempa desain respon spektrum SNI-1726-2002 dan (0,205, 0,0379) untuk gempa desain respon spektrum SNI 1726-2012. Sedangkan titik performa (*performance point*) untuk prosedur B dimana dihasilkan titik performa (0,277, 0,08) untuk gempa desain respon spektrum SNI-1726-2002 dan (0,184, 0,053) untuk gempa desain respon spektrum SNI-1726-2012. Mekanisme runtuh yang terjadi dimulai dari balok terlebih dahulu baru kemudian kolom sehingga bangunan masih relatif aman untuk dihuni (*beam sidesway mechanism*). Berdasarkan ATC-40 1997 semua hasil analisis baik prosedur A maupun prosedur B dengan dua peraturan berdasarkan SNI 2002 dan 2012 tingkat kinerja struktur adalah *Immediate Occupancy*.

Asmara, dkk (2021) meneliti apartemen *The Venetian Tower* merupakan salah satu apartemen dengan ketinggian 116,7 m yang termasuk dalam kategori risiko II. Berdasarkan hasil analisis *pushover*, didapatkan nilai simpangan atap 629,178 mm pada arah x dan 759,87 mm pada arah y. Level kinerja struktur *The Venetian Tower* berada pada level kinerja *Immediate Occupancy*, jika gempa yang terjadi berada pada skala MMI VIII atau 6 S.R. Tingkat daktilitas struktur bangunan adalah daktilitas parsial, dimana nilai rasio daktilitas 1,0778 pada arah x dan 1,2131 pada arah y.

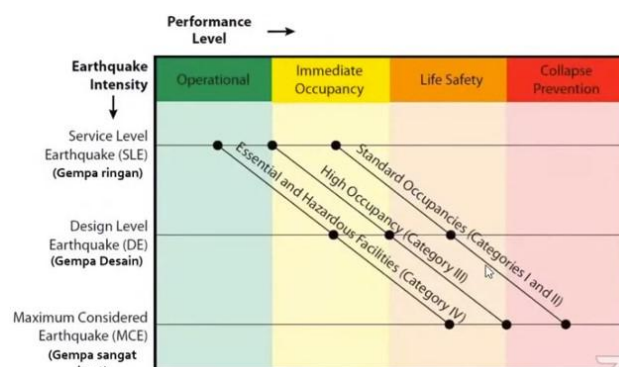
Mekanisme keruntuhan struktur menunjukkan mekanisme *strong column weak beam*, dimana sendi plastis terjadi pada balok terlebih dahulu.

Rulliananda dan Sutriyono (2021) meneliti Gedung Politeknik Negeri Batam didesain menggunakan peraturan gempa SNI 1726:2012, maka perlu dilakukan *review* desain untuk mengetahui kinerja struktur atas dan kekuatan struktur terhadap pengaruh beban gempa berdasarkan SNI 1726-2019. Analisis struktur terhadap gempa dengan metode *pushover analysis* dilakukan menggunakan peraturan FEMA 440. Hasil analisis ini menunjukkan penampang masih memenuhi syarat dengan hasil gaya dalam pada penampang SNI 2847-2019 terhadap SNI 2847-2013 mengalami peningkatan pada balok 0,14%-35% dan pada kolom 7%-24%. *Drift story* maksimum mendapatkan hasil lebih kecil dan kurang dari 0,01. Sehingga, hasil level kinerja gedung dengan metode *pushover analysis* berdasarkan FEMA 440 struktur dapat dikategorikan dalam kondisi IO (*Immediate Occupancy*).

Landasan Teori

Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berbasis Kinerja

Proses perencanaan dimulai dengan membuat desain awal bangunan kemudian disimulasikan kinerjanya terhadap beberapa beban gempa. Setelah itu apabila hasil simulasi masih dibawah parameter minimum yang ditentukan diawal, akan dilakukan *re-design* sehingga kinerja bangunan dapat sesuai target. *Performance based seismic design* juga dapat diterapkan untuk memperkuat (*upgrading*) bangunan yang sudah ada. Berikut ini merupakan hubungan beban gempa dengan level kinerja berdasarkan ASCE 41 dengan faktor keutamaan yang disesuaikan dengan SNI 03-1726-2019 yang ditampilkan dalam Gambar (1).



Gambar 1. Hubungan Beban Gempa dengan Level Kinerja

Mekanisme Keruntuhan

Ada dua tipe mekanisme keruntuhan yang biasa terjadi pada analisis statik sebagai batas analisis berdasarkan pedoman ATC-40, yaitu *beam sway mechanism* dan *column sway mechanism*. *Beam sway mechanism* merupakan pembentukan sendi plastis pada ujung-ujung balok, sedangkan *column sway mechanism* merupakan pembentukan sendi plastis pada kedua ujung baik atas maupun bawah dari elemen struktur vertikal.

Analisis Pushover

Analisis *pushover* merupakan suatu *performance-based design* yang bertujuan untuk mencari kapasitas suatu struktur. Pada dasarnya, analisis dilakukan dengan memberikan beban dalam arah lateral yang nilainya ditingkatkan berangsur-angsur (*incremental*) secara proposional pada struktur hingga mencapai target *displacement* atau mencapai mekanisme diambang keruntuhan karena terjadinya sendi plastis pada elemen balok maupun kolom. Prosedur analisisnya menjelaskan bagaimana mengidentifikasi elemen-elemen struktur yang akan mengalami kegagalan terlebih dahulu. Seiring dengan peningkatan beban akan ada elemen-elemen lain yang mengalami leleh dan deformasi *inelastic*. (Sandhi, 2017).

Tujuan analisis *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan

deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya.

Kebutuhan (*demand*) dan kapasitas (*capacity*) adalah dua hal yang perlu dipahami untuk dapat menggunakan prosedur berbasis kinerja (*performance*) dengan baik. Kebutuhan (*demand*) adalah representasi dari pergerakan tanah dasar akibat gempa bumi sedangkan kapasitas adalah mewakili kemampuan struktur dalam memikul beban gempa. Kinerja (*performance*) adalah kemampuan kapasitas struktur untuk memikul kebutuhan (*demand*). Dengan kata lain, struktur bangunan harus memikul kapasitas yang cukup sehingga kinerjanya sebanding dengan tujuan desain yang salah satunya adalah mampu memikul beban gempa.

Metode spektrum kapasitas (ATC-40) menggunakan kurva kapasitas (*capacity curve*) dan kurva kebutuhan (*demand spectrum*). Hasil dari analisis *pushover* ini adalah berupa kurva kapasitas yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan simpangan atap (*roof displacement*).

Batasan *Drift Ratio* Berdasarkan Atc-40

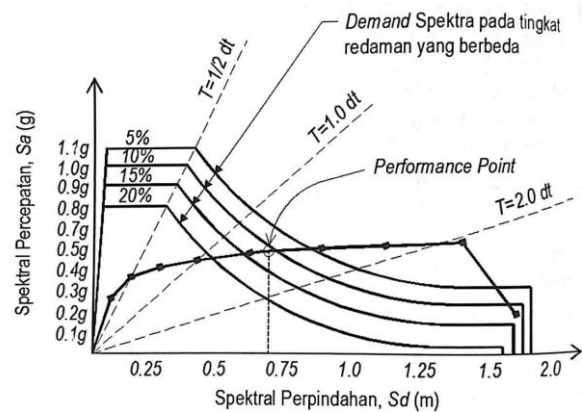
Berdasarkan ATC-40 (1996), *drift ratio* pada *performance point* yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur dapat dilihat pada Tabel (1) berikut.

Tabel 1. Batasan *Drift Ratio* pada Tingkat Kinerja Struktur

Parameter	Performance Level			
	IO	Damage Control	LS	Structural Ability
Simpangan Total	0,01	0,01 s/d 0,02	0,02	0,33 Vi/Pi
Maksimum Simpangan Inelastis	0,005	0,005 s/d 0,015	No Limit	No Limit

Titik Kinerja Struktur (*Performance Point*) Metode Atc-40

Performance point merupakan titik perpotongan antara *capacity curve* dengan *response spectrum curve* seperti yang digunakan dalam *capacity spectrum method* (ATC-40, 1996). Pada *performance point* diperoleh informasi mengenai periode bangunan dan redaman efektif akibat perubahan sendi plastis. Berdasarkan informasi tersebut respons-respons struktur lainnya seperti nilai simpangan tingkat dan posisi sendi plastis dapat diketahui. Untuk memperoleh gambaran lebih jelas, dapat dilihat pada Gambar (2) berikut ini.

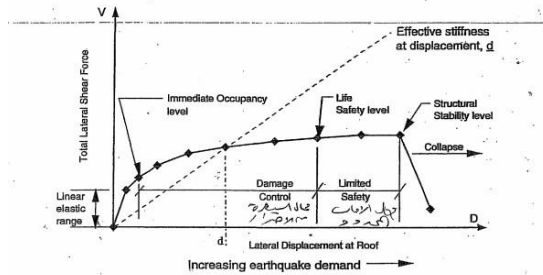


Gambar 2. Penentuan *Performance Point*

Level Kinerja Struktur Berdasarkan Atc-40

Tujuan perencanaan berdasarkan kinerja struktur adalah pencapaian level kinerja struktur yang ditentukan oleh deformasi struktur dibawah beban gempa yang ditentukan oleh maksimum perpindahan struktur dan elemen struktur yang dapat diterima dengan besaran gempa kuat yang ditinjau. Ada beberapa tingkatan kinerja berdasarkan ATC-40, dimana tingkatan kinerja digambarkan melalui kurva hubungan antara perpindahan lateral dan besar gaya yang bekerja atau kurva kapasitas. Pembagian level kinerja

bangunan ditampilkan dalam Gambar (3) sebagai berikut.



Gambar 3. Level Kinerja Struktur Berdasarkan ATC-40 1(1996)

Sendi Plastis

Sendi plastis merupakan bentuk ketidakmampuan elemen struktur (balok dan kolom) dalam menahan gaya dalam. Perencanaan suatu bangunan harus sesuai dengan konsep desain kolom kuat balok lemah (*strong column weak beam*). Apabila terjadi suatu keruntuhan struktur, maka yang runtuh adalah baloknya dahulu. Apabila kolomnya runtuh dahulu, maka struktur langsung hancur. Pada *software* SAP2000 v22, perilaku sendi plastis pada elemen ditunjukkan dengan berbagai warna, berikut ini penjelasan mengenai warna sendi plastis berdasarkan kondisinya yang dapat dilihat pada Tabel (2).

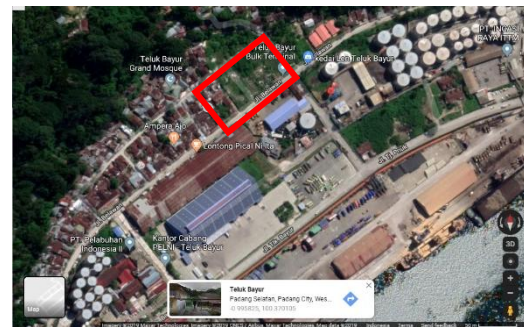
Tabel 2. Keterangan Warna Sendi Plastis

Keterangan	Simbol	Penjelasan
B	●	Menunjukkan batas linier yang kemudian diikuti terjadinya pelepasan pertama pada struktur.
IO	●	Terjadi kerusakan kecil (tidak berarti) pada struktur dan kekakuan struktur hampir sama saat sebelum terjadinya gempa.
LS	●	Terjadi kerusakan mulai dari kecil hingga sedang pada struktur dan kekakuan struktur berkurang tetapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan.
CP	●	Terjadi kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekuatan dan kekakuan berkurang banyak.
C	●	Batas maksimum gaya geser masih mampu ditahan gedung.
D	●	Terjadi degradasi kekuatan struktur besar sehingga kondisi struktur tidak stabil dan hampir runtuh.
E	●	Kondisi struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan runtuh.

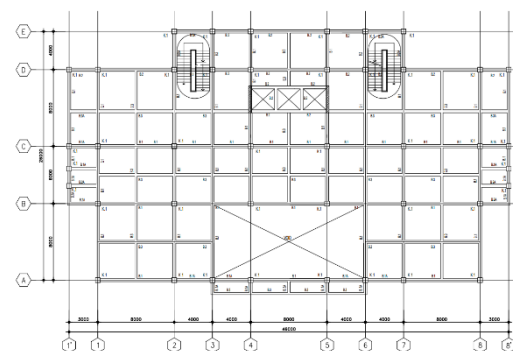
Metode Penelitian

Data Bangunan

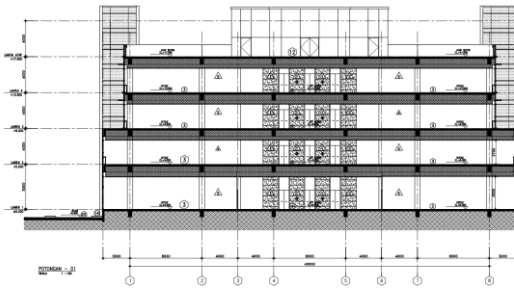
Objek penelitian adalah gedung perkantoran yang berada di Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat tepatnya berada di Kawasan Pelabuhan Teluk Bayur dengan material beton bertulang berdiri pada kondisi tanah lunak. Gedung ini merupakan gedung yang akan dibangun dan memiliki 4 lantai dengan ketinggian lantai pertama 5 meter dan sisanya 4 meter. Detail gedung dapat dilihat pada Gambar (4), Gambar (5), dan Gambar (6) sebagai berikut.



Gambar 4. Lokasi Pembangunan Gedung Perkantoran



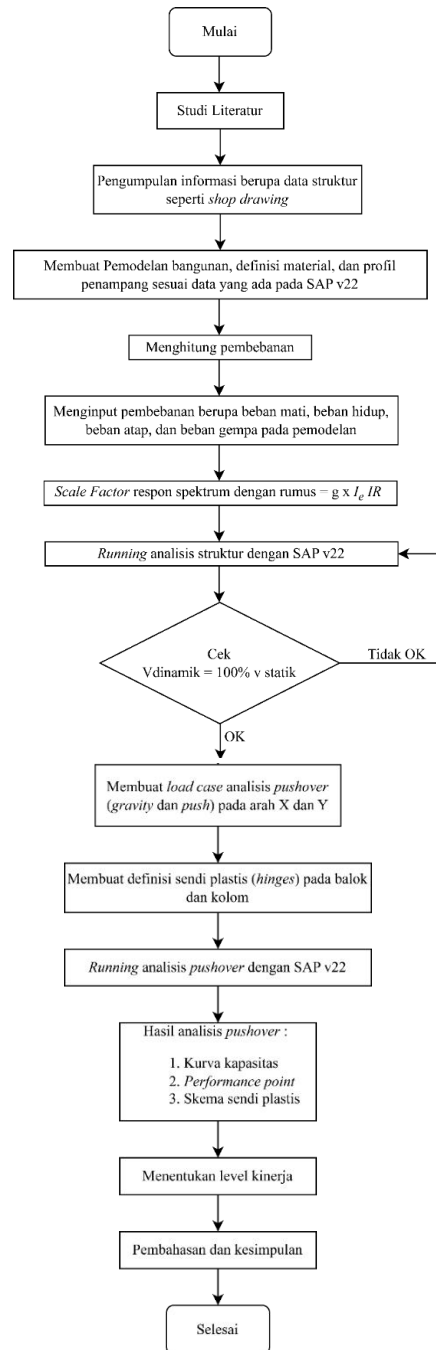
Gambar 5. Denah Gedung Perkantoran



Gambar 6. Potongan Gedung Perkantoran

Tahapan Penelitian

Tahap awal penelitian dimulai dengan pengadaan data-data yang dibutuhkan, terdapat 2 jenis data yang dipakai yaitu data primer yang diperoleh dari kegiatan observasi dan wawancara dengan pihak perencana. Data sekunder yang diperoleh yaitu laporan perencana dan *Detail Engineering Design (DED)* dari struktur gedung perkantoran. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar (7).



Gambar 7. Bagan Alir Penelitian

Analisis Struktur Dengan Software Sap2000 V22

Pemodelan dilakukan secara 3D dengan beban gempa 2 arah. Analisis yang digunakan untuk mengevaluasi gedung perkantoran ini adalah analisis statik non linear (*pushover*) dengan menggunakan software SAP2000 v22. Analisis ini akan mengacu pada peraturan ATC-40 1996. Pemodelan elemen struktur pada gedung ini seperti kolom, balok, dan *sloof* dimodelkan dengan menggunakan *section designer*. Tujuannya yaitu untuk mengetahui dan melihat grafik momen kurvatur atau momen kelengkungan pada elemen struktur dikarenakan material gedung ini adalah beton bertulang. Momen kurvatur adalah besarnya rotasi yang terjadi pada elemen struktur ketika menerima momen lentur. Grafik momen kurvatur ini menampilkan besarnya momen lentur dan rotasi yang terjadi.

Input Analisis Pushover

Adapun idealisasi struktur untuk analisis *pushover* pada software SAP2000 v22 adalah sebagai berikut :

- [1] *Input hinges properties* yang dipakai pada kolom adalah model P-M2-M3 yang artinya sendi plastis terjadi karena interaksi gaya aksial (P) dan momen (M) sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3. Hal ini disebabkan karena dimensi kolom berbentuk persegi dan tulangan kolom yang ada tersebar pada keempat sisinya.
- [2] *Input hinges properties* yang dipakai pada balok adalah model M3 yang artinya sendi plastis hanya terjadi karena momen searah sumbu lokal 3.
- [3] Pendefinisian sendi plastis pada analisis *pushover* dinyatakan sebagai panjang relative 0 dan 1 yang berarti sendi plastis terletak di *joint-joint* pertemuan kolom dan balok
- [4] Beban gempa yang digunakan untuk analisis ini adalah beban gempa besar atau MCE_R .

- [5] Analisis ini berpedoman pada ATC-40 1996 dan *structural behaviour type* yaitu tipe B dikarenakan gedung perkantoran merupakan gedung yang akan dibangun dan berada pada kondisi tanah lunak.

Hasil Dan Pembahasan

Periode Getar Alami Struktur

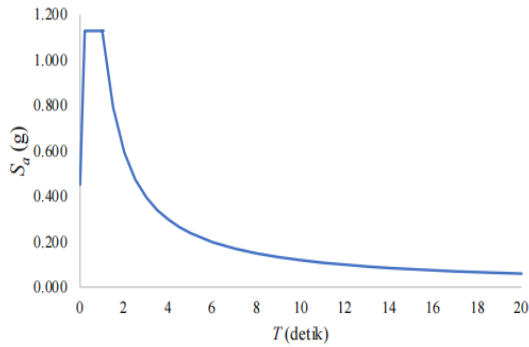
Periode getar alami struktur adalah suatu waktu yang dibutuhkan struktur bangunan untuk menempuh satu putaran lengkap dari suatu getaran yang mengalami perpindahan posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi awal. Hal ini merupakan komposisi penting dalam perencanaan bangunan tahan gempa, untuk mendapatkan nilai periode pada SAP2000 v22, perlu dilakukan *running* pada MODAL sehingga hasil periode dan pola goyongannya dapat diketahui. Hasil periode dan pola goyongan yang didapat pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel (3) sebagai berikut.

Tabel 3. Periode Getar Alami Struktur

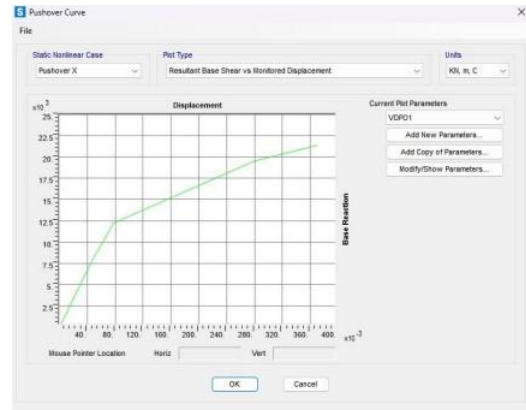
Mode	Periode (detik)	Pola Goyangan
1	0,912895	Translasi arah x
2	0,830522	Rotasi
3	0,777985	Translasi arah y

Respon Spektrum

Berikut merupakan grafik respon spektrum dengan gempa MCE_R yang dihasilkan sesuai dengan lokasi penelitian dan dapat dilihat pada Gambar (8) berikut ini.



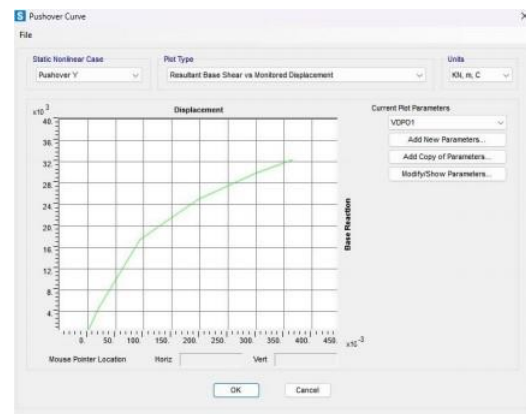
Gambar 8. Grafik Respon Spektrum Gempa MCE_R



Gambar 9. Kurva Kapasitas *Pushover X* dengan Gempa *DBE*

Kurva Kapasitas

Kurva kapasitas (*capacity curve*) mendefinisikan hubungan antara gaya geser dasar dengan perpindahan lateral yang terjadi dari lantai hingga atap. Cara termudah untuk membuat kurva ini adalah dengan mendorong struktur secara bertahap (analisis *pushover*) dan mencatat hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan atap akibat beban lateral yang dikerjakan pada struktur dengan pola pembebanan tertentu. Pola pembebanan umumnya berupa beban statik ekuivalen, hal ini berlaku untuk bangunan yang memiliki periode fundamental struktur yang relatif kecil. Kurva kapasitas dari hasil analisis *pushover* menunjukkan bahwa besarnya kekuatan struktur bergantung kepada kemampuan momen deformasi dari setiap elemen struktur. Berikut merupakan kurva kapasitas yang didapat dari hasil analisis pada program SAP2000 v22 yang ditunjukkan pada Gambar (9) dan Gambar (10).



Gambar 10. Kurva Kapasitas *Pushover Y* dengan Gempa *DBE*

Tabel 4. *Output* Kurva Kapasitas *Pushover X* dengan Gempa MCE_R

Step	Displacement (m)	Base Force (kN)
0	$5,393 \times 10^{-16}$	0
1	0,045741	7679,841
2	0,07756	12224,341
3	0,279679	19567,519
4	0,283633	19619,359
5	0,369742	21392,101

Tabel 5. Output Kurva Kapasitas Pushover Y dengan Gempa MCE_R

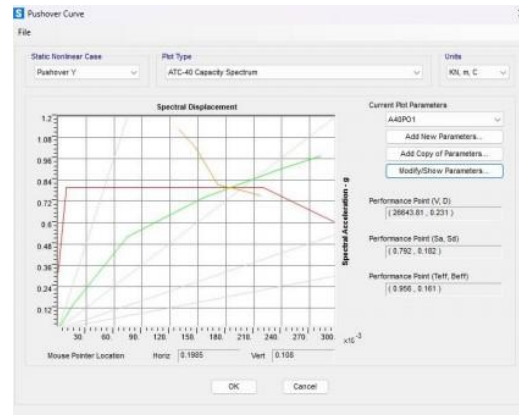
Step	Displacement (m)	Base Force (kN)
0	-0,000888	0
1	0,018974	4501,532
2	0,093964	17440,355
3	0,196487	24955,295
4	0,29818	29884,549
5	0,365115	32408,387

Performance Point Berdasarkan Atc-40

Dalam menentukan *performance point* pada suatu bangunan metode yang digunakan yaitu kurva kapasitas berdasarkan ATC-40. Kurva kapasitas yang dihasilkan setelah analisis *pushover* adalah kurva hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan yang di konversi ke dalam bentuk spektrum kapasitas dengan format ADRS (*Acceleration Displacement Respon Spectrum*) yaitu S_a dan S_d (sebagai *spektrum capacity*). Berikut merupakan hasil *capacity spectrum* dengan menggunakan level gempa MCE_R pada arah x dan y berdasarkan ATC-40 yang ditunjukkan pada Gambar (11) dan Gambar (12).



Gambar 11. Capacity Spectrum Arah X dengan Gempa MCE_R



Gambar 12. Capacity Spectrum Arah Y dengan Gempa MCE_R

Nilai gaya geser dasar, *displacement*, S_a , S_d , waktu getar alami efektif, dan redaman viskous efektif yang terjadi pada saat titik kinerja tercapai untuk gempa MCE_R ditunjukkan pada Tabel (6) berikut.

Tabel 6. Performance Point Berdasarkan ATC-40 dengan Gempa MCE_R

Arah Beban Pushover	Base Shear (kN)	Performance Point					
		V (kN)	δ (m)	S_a	S_d	T_{eff}	β_{eff}
Arah X	6627,053	20149,839	0,309	0,561	0,257	1,355	0,223
Arah Y	6627,053	26643,81	0,231	0,792	0,182	0,956	0,161

Dapat dilihat pada Tabel (6) bahwa nilai T_{eff} (periode efektif) arah x memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan periode efektif arah y. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa kekakuan berbanding terbalik dengan T_{eff} (periode efektif).

Tingkat Kinerja Struktur

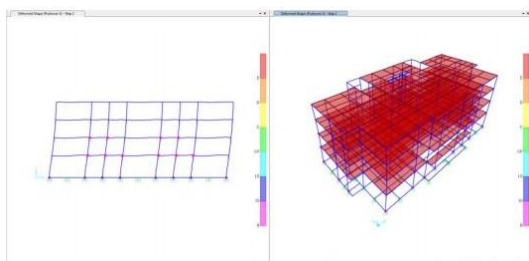
Tingkat kinerja struktur bangunan dapat ditentukan berdasarkan kriteria *drift* yang didapat saat titik kinerja tercapai. Berdasarkan ATC-40 nilai *drift ratio* dapat ditentukan dengan cara berikut.

- [1] Arah x
Simpangan total maksimum
 $= \frac{\delta}{H} = \frac{0,309}{17} = 0,01818$
- [2] Arah y
Simpangan total maksimum
 $= \frac{\delta}{H} = \frac{0,231}{17} = 0,01359$

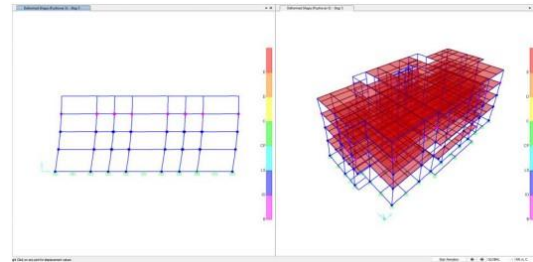
Berdasarkan hasil diatas dapat disimpulkan tingkat kinerja struktur gedung perkantoran dengan menggunakan gempa MCE_R adalah *Damage Control* yang merupakan transisi antara tingkat kinerja *Immediate Occupancy (IO)* dan *Life Safety (LS)*, dimana bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi dan risiko korban jiwa manusia sangat kecil.

Mekanisme Sendi Plastis

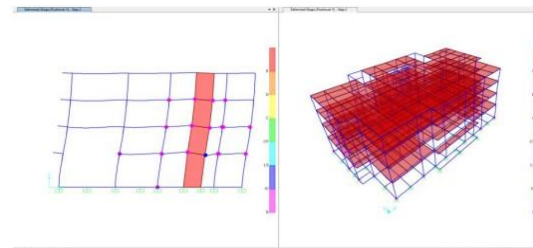
Sendi plastis merupakan bentuk ketidakmampuan elemen struktur (balok dan kolom) dalam menahan gaya dalam. Perencanaan suatu bangunan harus sesuai dengan konsep desain kolom kuat balok lemah (*strong column weak beam*). Apabila terjadi suatu keruntuhan struktur, maka yang runtuh adalah baloknya dahulu. Elemen-elemen pada struktur yang dibebani beban statik secara bertahap akan mengalami pelelehan (sendi plastis) hingga dapat menyebabkan elemen tidak mampu dalam menerima gaya tersebut sehingga struktur dapat mengalami keruntuhan. Pada *software* SAP2000 v22, perilaku sendi plastis pada elemen ditunjukkan dengan berbagai warna. Berikut adalah mekanisme-mekanisme sendi plastis yang terjadi pada arah x dan y dari analisis *pushover* yang dapat dilihat pada Gambar (13), Gambar (14), Gambar (15), dan Gambar (16).



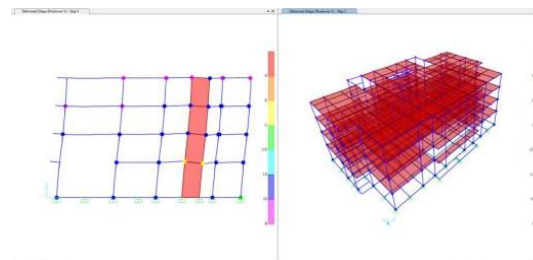
Gambar 13. *Step* Awal Sendi Plastis pada Arah X dengan Beban Gempa MCE_R



Gambar 14. *Step* Akhir Sendi Plastis pada Arah X dengan Beban Gempa MCE_R



Gambar 15. *Step* Awal Sendi Plastis pada Arah Y dengan Beban Gempa MCE_R



Gambar 16. *Step* Akhir Sendi Plastis pada Arah Y dengan Beban Gempa MCE_R

Awal mula terjadinya sendi plastis dengan menggunakan beban gempa MCE_R (*Maximum Considered Earthquake, Risk Targeted*) pada arah x dan y ada pada *step* ke-2 yang ditandai dengan munculnya titik sendi plastis pada balok dan kolom berwarna ungu yang artinya berada pada level kinerja B. Sendi plastis berakhir untuk arah x pada *step* ke-5, dimana ada beberapa kolom ditandai dengan berwarna hijau yang berarti berada pada level kinerja CP (*Collapse Prevention*) yaitu terjadi kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekuatan dan kekakuan berkurang banyak. Kemudian untuk arah y berakhir pada *step* ke-5, dimana ada beberapa kolom yang juga ditandai dengan titik berwarna hijau yang berarti berada pada level kinerja CP (*Collapse*

Prevention) dan warna kuning yang berarti berada pada level kinerja C.

KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Dari analisis *pushover* yang telah dilakukan terhadap kinerja gedung perkantoran di Kota Padang, maka dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

- [1] Nilai *performance point* yang diperoleh dari hasil analisis *pushover* dengan menggunakan beban gempa MCE_R pada arah x yaitu $V = 20149,839$ kN dan $\delta = 0,309$ m. Kemudian untuk arah Y yaitu $V = 26643,81$ kN dan $\delta = 0,231$ m.
- [2] Tingkat kinerja struktur dari gedung perkantoran di Kota Padang pada level gempa MCE_R adalah *Damage Control*.

Saran

Sebagai pengembangan untuk penelitian lebih lanjut mengenai evaluasi kinerja struktur dengan menggunakan analisis *pushover*, maka diberikan beberapa saran diantaranya :

- [1] dalam analisis *pushover* perlu menggunakan komputer dengan spesifikasi tinggi karena proses *running* untuk analisis ini membutuhkan waktu yang lama,
- [2] selain menggunakan metode ATC-40, dapat digunakan juga metode FEMA 356 dan FEMA 440, dan
- [3] dilakukan evaluasi kinerja terhadap level gempa desain atau *DBE*.

Daftar Pustaka

Applied Technology Council, ATC-40. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building: Volume 1*. California.

Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. SNI-2847-2019. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. SNI-1726-2019. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2020. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktural Lain*. SNI-1727-2020. Jakarta.

Dewi, R. Y. dan Sudrajat A. V. 2007. Analisis Kinerja Struktur Betom Bertulang dengan Sistem Balok Kolom dan Flat Slab terhadap Beban Gempa Kuat. *Jurnal Teknik Sipil*. Institut Teknologi Bandung.

Dewobroto, Wiryanto. 2006. Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Pelita Harapan.

Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983*. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan. Bandung.

Marianda, Dhani. 2016. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung “Asrama Mahasiwi UGM” Yogyakarta Menggunakan Analisa *Pushover* Sesuai Pedoman ATC-40. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Rulliananda dkk. 2021. *Review Desain Kinerja Struktur Atas Gedung Politeknik Negeri Batam Berdasarkan Peraturan SNI 1726-2019 Menggunakan Metode Pushover Analysis*. *Jurnal Teknik Sipil*. Universitas 17 Agustus 1945-Surabaya

Sandhi dkk. 2017. Kajian Analisis *Pushover* untuk *Performance Based Design* pada Gedung Fakultas Ilmu Sosial dan Politik (FISIP) Universitas Brawijaya. *Jurnal Teknik Sipil*. Universitas Brawijaya.

Tavio, & Wijaya, U. 2018. *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Performance Based Design)*. Andi Offset. Yogyakarta.

- Widodo. 2012. *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Zalukhu, L.H. 2018. Evaluasi Struktur Berbasis Kinerja Terhadap Beban Gempa dengan Analisa *Pushover* (Studi Kasus Rumah Sakit Ibu dan Anak Budhi Mulia, Pekanbaru). *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Bung Hatta. Padang.