Evaluasi Pengaruh Dilatasi pada Gedung Baja Empat Lantai Terhadap Beban Gempa menggunakan Metode Statik *Pushover*

Rizky Prihandoyo [1)]
Bayzoni [2)]
Hasti Riakara Husni [3)]
Fikri Alami [4)]

Abstract

ITERA's Engineering Laboratory 3 applies dilation to its construction assuming each building can reflect during an earthquake. Pushover analysis is one of the methods used to determine the behavior of building collapses. This study aims to find out the influence of dilational buildings (model A1 & A2) with buildings without dilation (model B1) as a comparison to the level of structural performance, the maximum basic shear force that the structure retains and the pattern of collapse due to earthquake load.

Based on the results of the analysis, the total deviation of existing buildings with dilation (model A1 & A2) of 96.54 mm does not exceed the available distance of 250 mm. The fema-440 method's target displacement value with the best performance level in existing buildings with dilation (model A1) at x-direction is at immediate occupancy and the lowest performance level in the modified building without dilation (model B1) at the x-direction which is at the structural stability level. The structural collapse mechanism indicates the strong column weak beam mechanism.

Keywords: dilation, pushover, immediate occupancy, structural stability.

Abstrak

Laboratorium Teknik 3 ITERA menerapkan dilatasi pada pembangunannya dengan asumsi masing-masing bangunan dapat berdefleksi saat terjadi gempa. Analisis pushover merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui perilaku keruntuhan bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bangunan dilatasi (model A1 & A2) dengan bangunan tanpa dilatasi (model B1) sebagai pembanding terhadap level kinerja struktur, gaya geser dasar maksimum yang ditahan struktur dan pola keruntuhan akibat beban gempa.

Berdasarkan hasil analisis, total simpangan gedung *existing* dengan dilatasi (model A1 & A2) sebesar 96,54 mm tidak melebihi jarak yang tersedia yaitu 250 mm. Nilai *target displacement* metode FEMA-440 dengan level kinerja paling baik pada gedung *existing* dengan dilatasi (model A1) pada arah-x yang berada pada tingkat *Immediate Occupancy* dan level kinerja paling rendah pada gedung modifikasi tanpa dilatasi (model B1) pada arah-x yang berada pada tingkat *Structural Stability*. Mekanisme keruntuhan struktur menunjukan mekanisme *strong column weak beam*.

Kata kunci: dilatasi, *pushover*, i*mmediate occupancy, structural stability.*

[1)] Mahasiswa S1 pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
Surel: rizkyprihandoyo@gmail.com
[2)] Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 . Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.
[3)] Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro no. 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.
[4)] Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro no. 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

1. PENDAHULUAN

Guna menunjang aktifitas perkuliahan, khususnya dalam melaksanakan praktikum dan kegiatan akademis lainnya, maka dibangun Laboratorium. Laboratorium merupakan salah satu fasilitas pendidikan yang termasuk bangunan penting sehingga dibutuhkan perencanaan struktur tahan gempa dimana bangunan harus tetap berdiri setelah diberikan beban gempa rencana. Laboratorium ini enerapkan dilatasi pada pembangunannya yaitu pemisahan bangunan secara fisik dengan asumsi masing-masing bangunan dapat berdefleksi saat terjadi gempa. Mengingat gempa ini dapat mengakibatkan keruntuhan bangunan sehingga diperlukan evaluasi terhadap struktur bangunan tersebut dengan menggunakan metode yang tepat salah satunya dengan analisis *Pushover*. Analisis *Pushover* adalah analisis statik nonlinear untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan atau struktur. Dengan analisis ini, bangunan diberikan beban lateral secara bertahap sampai komponen struktur mengalami plastis dan rusak yang kemudian menghasilkan kurva *pushover*/kapasitas. Kurva tersebut menggambarkan hubungan antara gaya geser dan *displacement* pada atap.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Umum

Pada saat ini banyak dijumpai perencanaan struktur bangunan gedung yang hanya memperhitungkan beban gravitasi saja yang artinya gedung didesain tanpa memperhitungkan beban gempa, hal ini sangat berbahaya mengingat sebagian besar wilayah Indonesia masuk dalam katagori gempa dengan intensitas moderat hingga tinggi. Maka perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa menjadi sangat penting terutama untuk bangunan dalam tipe kelas situs SC, SD, SE, dan SF.

B. Konsep Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa

Struktur bangunan tahan gempa harus memiliki kekuatan yang cukup untuk mencegah terjadinya keruntuhan atau kegagalan struktur. Oleh karena itu dalam perencanaannya harus memenuhi beberapa kondisi batas, yaitu:

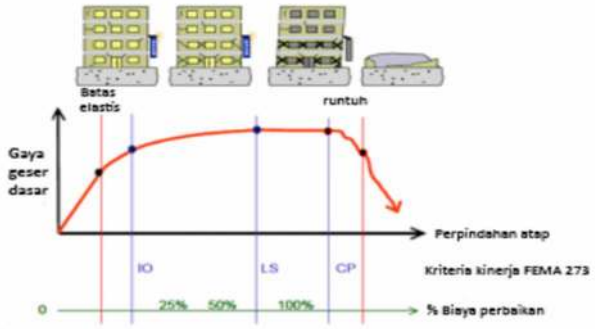
1. Struktur bangunan yang direncanakan harus memiliki kekakuan dan kekuatan yang cukup sehingga bila terjadi gempa yang berkekuatan kecil struktur bersifat elastik.
2. Bila terjadi gempa berkekuatan sedang, struktur bangunan tidak boleh mengalami kerusakan struktural namun dapat mengalami kerusakan non struktural ringan.
3. Pada saat terjadi gempa kuat, struktur bangunan dapat mengalami kerusakan struktural namun harus tetap berdiri sehingga korban jiwa dapat dihindarkan.

Agar struktur-struktur bangunan dapat berdeformasi maksimum, maka perlu perancangan sendi-sendi plastis yang akan terjadi pada daerah-daerah yang dapat menunjang tujuan desain bangunan tahan gempa

C. Performance Desain Struktur Bangunan

Perancangan bangunan tahan gempa berbasis kinerja merupakan proses yang dapat digunakan untuk perancangan bangunan baru maupun perkuatan bangunan yang sudah ada dengan pemahaman terhadap aspek resiko keselamatan (life), kesiapan pakai (occupancy) dan resiko kerugian finansial yang timbul akibat gempa (economic loss). ATC-40 menetapkan level kinerja untuk perancangan struktur tahan gempa sebagai berikut:

- ***Immediate Occupancy*** adalah kondisi dimana elemen struktural dan non-struktural mengalami kerusakan minimum. Ancaman adanya korban jiwa nyaris nol.
- ***Damage Control*** adalah kondisi yang mana elemen struktural dan non-struktural mengalami kerusakan minimum, namun fasilitas operasional gedung mungkin ada yang tidak dapat digunakan. Sebaiknya dilakukan perbaikan sebelum digunakan kembali. Ancaman adanya korban jiwa sangat kecil.
- ***Life Safety*** yaitu suatu kondisi dimana terjadi kerusakan struktural tetapi tidak terjadi keruntuhan, komponen non struktural tidak berfungsi tetapi bangunan masih dapat digunakan setelah dilakukan perbaikan.
- ***Structural Stability*** yaitu suatu kondisi dimana ancaman terjadinya korban jiwa mungkin cukup tinggi dikarenakan gagal/runtuh nya elemen-elemen non struktural. Elemen struktural diharapkan tidak mengalami keruntuhan. Pada level ini bangunan sudah tidak dapat digunakan sama sekali.

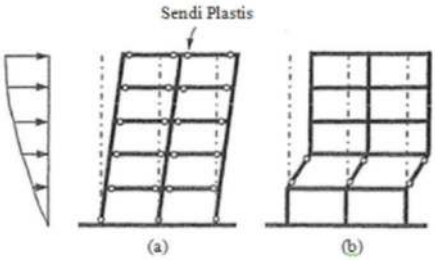


Gambar 1. Ilustrasi kinerja bangunan

Gambar 1 menjelaskan level kinerja (*performance levels*) (FEMA-273 1997) yang digambarkan bersama dengan suatu kurva hubungan gaya perpindahan yang menunjukkan perilaku struktur secara menyeluruh terhadap pembebanan lateral. Kurva tersebut dihasilkan dari analisis statik nonlinier pushover, sehingga disebut juga sebagai kurva pushover.

D. Mekanisme Keruntuhan

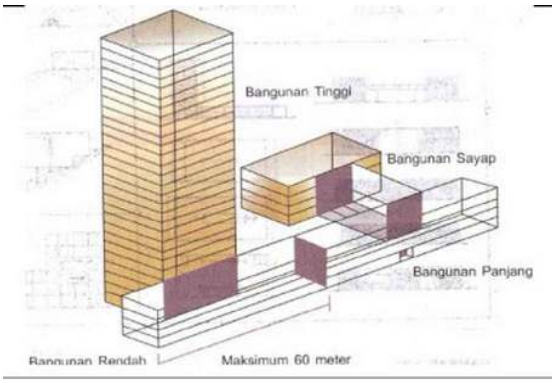
Dalam suatu perencanaan bangunan, perlu dilakukan perencanaan suatu mekanisme keruntuhan struktur bangunan untuk menghindari keruntuhan total bangunan. Terbentuknya sendi plastis pertama, kedua, ketiga dan seterusnya sampai terbentuk jumlah sendi plastis yang cukup untuk menyebabkan struktur tersebut mengalami keruntuhan. Perencanaan suatu bangunan harus sesuai dengan konsep desain kolom kuat dan balok lemah. Apabila terjadi keruntuhan struktur, maka yang runtuh adalah baloknya dahulu. Apabila kolomnya runtuh maka struktur langsung hancur.



Gambar 2. Sendi plastis pada balok (a) dan pada kolom (b)

E. Dilatasi

Dilatasi adalah sebuah sambungan/garis pada sebuah bangunan yang karena sesuatu hal memiliki sistem struktur berbeda. Dilatasi baik digunakan pada pertemuan antara bangunan yang rendah dengan yang tinggi, antara bangunan induk dengan bangunan sayap, dan bagian bangunan lain yang memiliki kelemahan geometris.



Gambar 3. Pemisahan bangunan

Di samping itu, bangunan yang sangat panjang tidak dapat menahan deformasi akibat penurunan fondasi, gempa, muai susut, karena akumulasi gaya yang sangat besar pada dimensi bangunan yang panjang, dan menyebabkan timbulnya retakan atau keruntuhan struktur. Oleh karenanya, suatu bangunan yang besar perlu dibagi menjadi beberapa bangunan yang lebih kecil, di mana tiap bangunan dapat bereaksi secara kompak dan kaku dalam menghadapi pergerakan bangunan yang terjadi. Dalam penerapannya terdapat beberapa bentuk pemisahan bangunan yang umum digunakan, diantaranya :

- Dilatasi dengan 2 kolom
- Dilatasi dengan balok kantilever
- Dilatasi dengan balok gerber
- Dilatasi dengan balok konsol

F. Analisis Nonlinear Statik *Pushover*

Analisis nonlinear statik *pushover* adalah suatu analisis statik nonlinier yang digunakan untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu struktur bangunan, dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan tersebut dianggap sebagai beban statik yang bekerja pada pusat massa masing-masing lantai. Konsep metode ini didasarkan pada pemutakhiran pola beban yang diterapkan dari analisis dorong batas atas konvensional pada setiap langkah pembebanan untuk mempertimbangkan perubahan progresif dalam karakteristik dinamis struktur selama respons inelastis (Rahmani *et al.* 2019). Analisis Nonlinear Statik *Pushover* menghasilkan kurva *pushover* yang akan memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku nonlinier.

1) Metode *Target Displacement* FEMA-356

Pada metode *target displacement (FEMA-356 2000)* titik kinerja berada pada koordinat *target displacement* dan gaya geser dasar yang terjadi pada *target displacement* tersebut, perhitungan dilakukan dengan memodifikasi respons elastik linier sistem struktur SDOF ekivalen dengan faktor modifikasi C_0, C_1, C_2 dan C_3 sehingga dapat dihitung *target displacement* (δ), dengan menetapkan dahulu waktu getar efektif (T_e) untuk memperhitungkan kondisi inelastik struktur gedung.

$$\delta = C_0 . C_1 . C_2 . C_3 . S_a . \left(\frac{T_e}{2.}\pi\right)^2 . g \quad (1)$$

Dimana,

δ = *Target displacement*

C_0 = Faktor modifikasi yang menghubungkan spektral *displacement* dengan peralihan lantai atap pada bangunan berdasarkan Tabel 3-2 dari (FEMA-356 2000)

C_1 = Faktor modifikasi untuk menghubungkan peralihan inelastik maksimum dengan peralihan respons elastik linier. $C_1 = 1{,}0$ dan untuk $T_e < T_s$

$$C_1 = \frac{\left(1+(R-1)\frac{T_s}{T_e}\right)}{R} \quad (2)$$

T_e = Perioda getar alami efektif bangunan

T_s = Perioda karakteristik dari respon spektrum

R = Rasio "kuat elastis perlu" terhadap "koefisien kuat leleh terhitung

$$R = \frac{S_a}{(V_y/W)} . C_m \quad (3)$$

S_a = R*esponse spectrum acceleration* pada periode alami efektif

V_y = Gaya geser dasar pada saat kondisi leleh, dari idealisasi kurva *pushover* menjadi bilinear

W = Beban gempa efektif

C_m = Faktor massa efektif berdasarkan Tabel 3-1 dari (FEMA-356 2000)

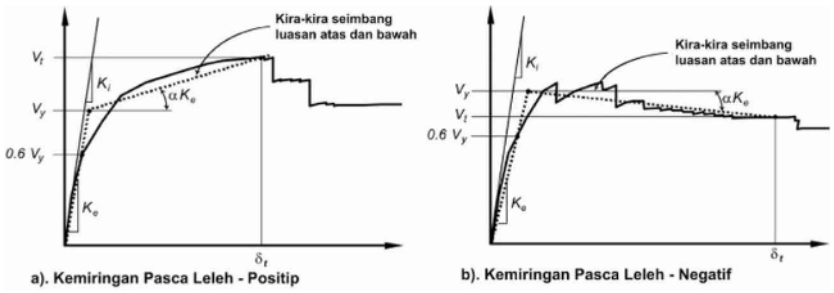
C_2 = Faktor modifikasi untuk memperlihatkan *pinched hysteresis shape*, degradasi kekakuan dan penurunan kekuatan pada respon peralihan maksimum berdasarkan Tabel 3-3 dari (FEMA-356 2000)

C_3 = Faktor modifikasi untuk memperlihatkan kenaikan peralihan akibat efek p-delta. Untuk gedung dengan perilaku kekakuan pasca-leleh bernilai positif maka $C_3 = 1{,}0$. Sedangkan untuk gedung dengan perilaku pasca-leleh bernilai negatif,

$$C_3 = 1{,}0 + \frac{(|\alpha|(R-1)^{3/2})}{T_e} \quad (4)$$

α = Rasio kekakuan pasca-leleh terhadap kekakuan elastik efektif

g = Percepatan gravitasi 9,81 m/s²



Gambar 4. Perilaku pasca leleh sistem struktur

2) Metode *Target Displacement* FEMA-440

Merupakan koefisien perpindahan pada (FEMA-440 2005) yang telah dimodifikasi dan diperbaiki. Persamaan yang digunakan untuk menghitung target displacement tetap sama, akan tetapi mengalami modifikasi dan perbaikan dalam menghitung faktor C1 dan C2 sebagai berikut :

$$1+\frac{R-1}{\alpha . T_e^2} \tag{5}$$

Nilai konstanta α adalah 130, 90 dan 60 untuk kategori desain B, C dan D. Untuk waktu getar < 0,2 detik maka nilai C1 pada 0,2 detik dapat dipakai, sedangkan untuk waktu getar > 1 detik maka C1 = 1,0.

$$1+\frac{1}{800}\left(\frac{R-1}{T_e}\right)^2 \tag{6}$$

Untuk waktu getar < 0,2 detik maka nilai C2 pada 0,2 detik dapat dipakai, sedangkan untuk waktu getar > 0,7 detik maka C2 = 1,0.

3. METODE PENELITIAN

Pendekatan penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif karena hasil penelitian yang didapatkan berupa angka ataupun bilangan yaitu merupakan hasil dari analisis struktur gedung dengan dilatasi dan gedung tanpa dilatasi dengan menggunakan perangkat lunak Analisis Struktur. Analisis statik pushover digunakan untuk mengevaluasi kinerja gedung. Analisis dilakukan dengan mengacu pada (SNI 1729 2019) dan Metode Koefisien Perpindahan (FEMA-440 2005). Dalam penelitian ini pemodelan gedung Laboratorium dibuat menjadi 3 model yaitu gedung existing dengan dilatasi (model A1 & A2) yang sesuai dengan gambar rencana dan gedung modifikasi tanpa dilatasi (model B1) sebagai pembanding tingkat kinerja gedung existing. Berdasarkan (SNI 1729 2019), dalam penentuan beban gempa termasuk kategori resiko untuk gedung sekolah atau fasilitas pendidikan dan Faktor keutamaan (I_e) adalah 1,5. Klasifikasi jenis tanah diasumsikan termasuk jenis tanah sedang (SD).

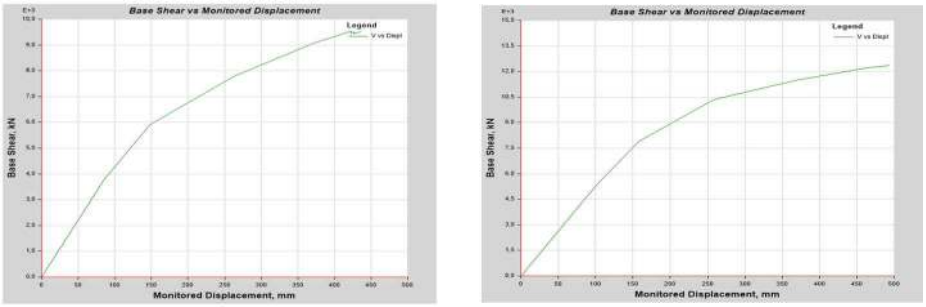
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kurva Kapasitas dan Sendi Plastis

Dari hasil analisis *pushover* didapatkan kurva kapasitas dari struktur. Kurva kapasitas adalah kurva hubungan antara *displacement* lateral lantai atap yang ditinjau dengan gaya geser dasar (*base shear*).

1) Kurva kapasitas dan sendi plastis gedung model A1

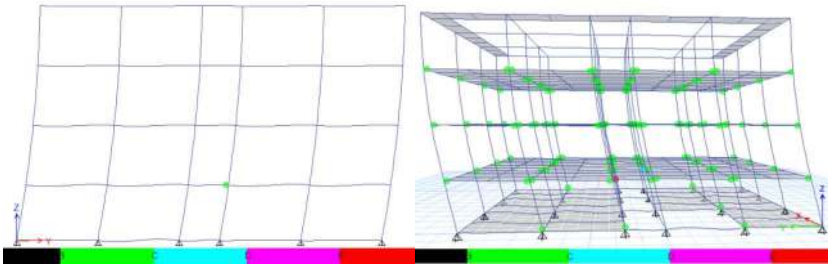
Kurva kapasitas hasil analisis *pushover* untuk masing-masing arah adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Kurva kapasitas arah-x dan arah-y gedung model A1

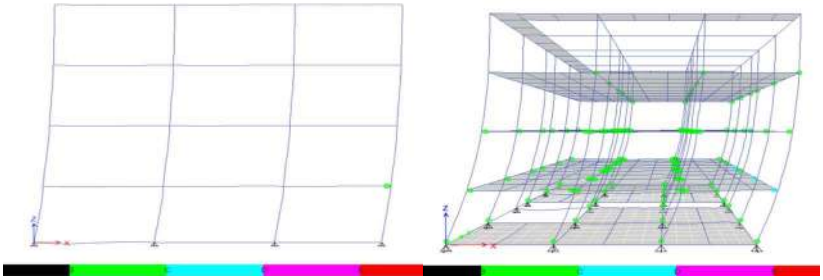
Dari grafik-grafik di atas untuk arah-x didapatkan nilai *displacement* (δ_y) 85,408 mm dan *base shear* (V_y) 3775,5701 kN pada pelelehan pertama, kemudian nilai *displacement* (δ_m) 435,323 mm dan *base shear* (V_m) 9517,0606 kN pada saat kondisi struktur diambang keruntuhan. Untuk arah-y didapatkan nilai *displacement* (δ_y) 100 mm dan *base shear* (V_y)

5254,195 kN pada pelelehan pertama, kemudian nilai *displacement* (δ_m) 492,982 mm dan *base shear* (V_m) 12358,8259 kN pada saat kondisi struktur diambang keruntuhan.



Gambar 6. *Push*-x *step* 1 dan *Push*-x *step* 12 gedung model A1

Pada arah-x step ke-1 elemen yang berada pada kondisi A-B adalah 423, kondisi B-C adalah 1, dan kondisi A-IO adalah 424. Pada step ke-12 kondisi B-C bertambah menjadi 124, A-IO berkurang menjadi 335, 88 elemen pada kondisi IO-LS dan 1 elemen pada kondisi CP.

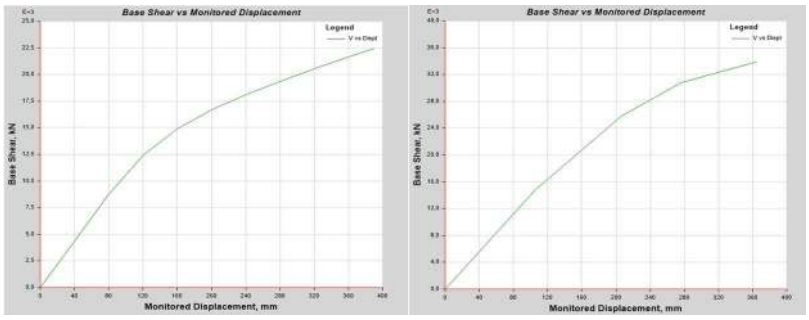


Gambar 7. *Push*-y *step* 2 dan *Push*-y *step* 8 gedung model A1

Pada arah-y step ke-2 elemen yang berada pada kondisi A-B adalah 423, kondisi B-C adalah 1, dan kondisi A-IO adalah 424. Pada step ke-8 kondisi B-C bertambah menjadi 134, A-IO berkurang menjadi 354 dan 70 elemen pada kondisi IO-LS.

2) Kurva kapasitas dan sendi plastis gedung model A2

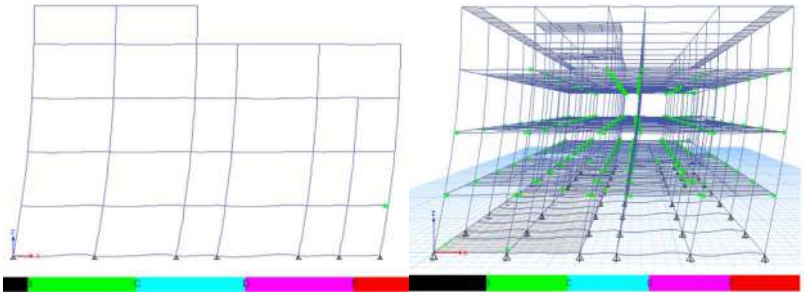
Kurva kapasitas hasil analisis *pushover* untuk masing-masing arah adalah sebagai berikut:



Gambar 8. Kurva kapasitas arah-x dan arah-y gedung model A2

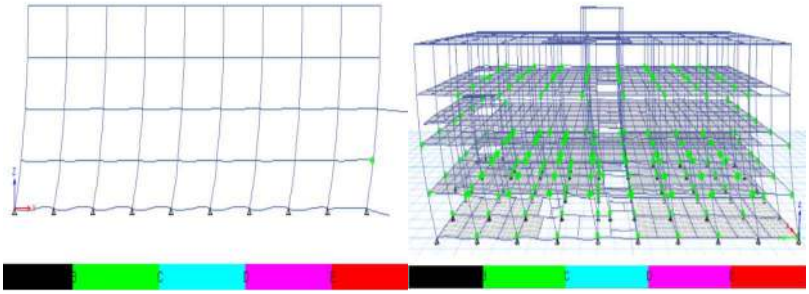
Dari grafik-grafik di atas untuk arah-x didapatkan nilai *displacement* (δ_y) 81,323 mm dan *base shear* (V_y) 8875,5231 kN pada pelelehan pertama, kemudian nilai *displacement* (δ_m) 392,687 mm dan *base shear* (V_m) 22479,753 kN pada saat kondisi struktur diambang keruntuhan. Untuk arah-y didapatkan nilai *displacement* (δ_y) 100 mm dan *base shear* (V_y)

14020,046 kN pada pelelehan pertama, kemudian nilai *displacement* (δ_m) 363,825 mm dan *base shear* (V_m) 33867,838 kN pada saat kondisi struktur diambang keruntuhan.



Gambar 9. *Push*-x *step* 1 dan *Push*-x *step* 5 gedung model A2

Pada arah-x step ke-1 elemen yang berada pada kondisi A-B adalah 1216, kondisi B-C adalah 1, dan kondisi A-IO adalah 1217. Pada step ke-5 kondisi B-C bertambah menjadi 270, A-IO berkurang menjadi 1010 dan 207 elemen pada kondisi IO-LS..

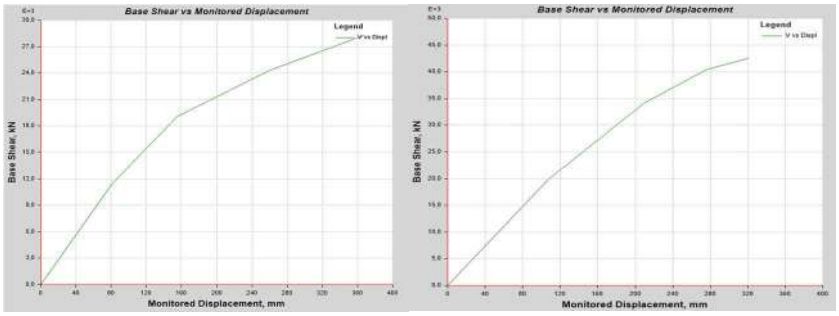


Gambar 10. *Push*-y *step* 2 dan *Push*-y *step* 5 gedung model A2

Pada arah-y step ke-2 elemen yang berada pada kondisi A-B adalah 1216, kondisi B-C adalah 1, dan kondisi A-IO adalah 424. Pada step ke-5 kondisi B-C bertambah menjadi 290, A-IO berkurang menjadi 1044 dan 172 elemen pada kondisi IO-LS.

3) Kurva kapasitas dan sendi plastis gedung model B1

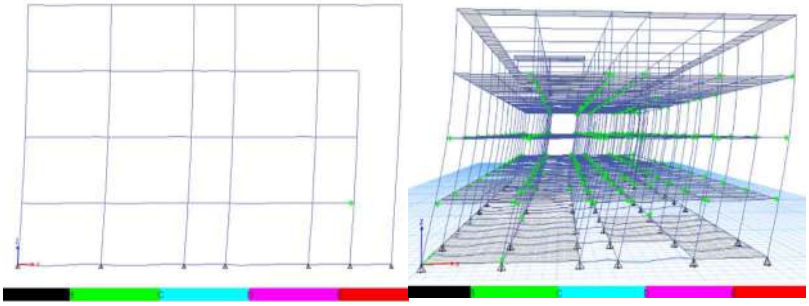
Kurva kapasitas hasil analisis *pushover* untuk masing-masing arah adalah sebagai berikut:



Gambar 11. Kurva kapasitas arah-x dan arah-y gedung model B1

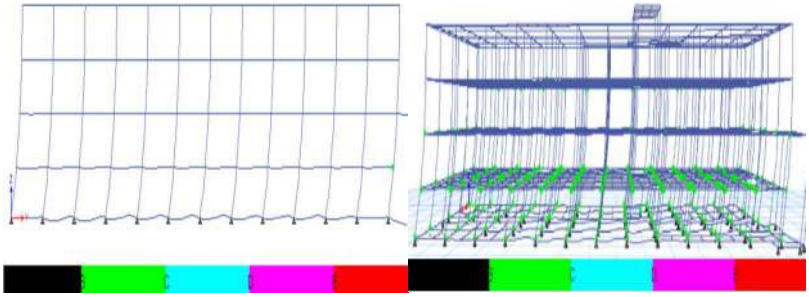
Dari grafik-grafik di atas untuk arah-x didapatkan nilai *displacement* (δ_y) 81,071 mm dan *base shear* (V_y) 11424,5064 kN pada pelelehan pertama, kemudian nilai *displacement* (δ_m) 366,675 mm dan *base shear* (V_m) 28241,625 kN pada saat kondisi struktur diambang keruntuhan. Untuk arah-y didapatkan nilai *displacement* (δ_y) 106,339 mm dan *base shear*

(V_y) 19660,116 kN pada pelelehan pertama, kemudian nilai *displacement* (δ_m) 321,057 mm dan *base shear* (V_m) 42505,218 kN pada saat kondisi struktur diambang keruntuhan.



Gambar 12. *Push*-x *step* 1 dan *Push*-x *step* 5 gedung model B1

Pada arah-x step ke-1 elemen yang berada pada kondisi A-B adalah 1555, kondisi B-C adalah 2, dan kondisi A-IO adalah 1557. Pada step ke-5 kondisi B-C bertambah menjadi 341, A-IO berkurang menjadi 1292 dan 265 elemen pada kondisi IO-LS.



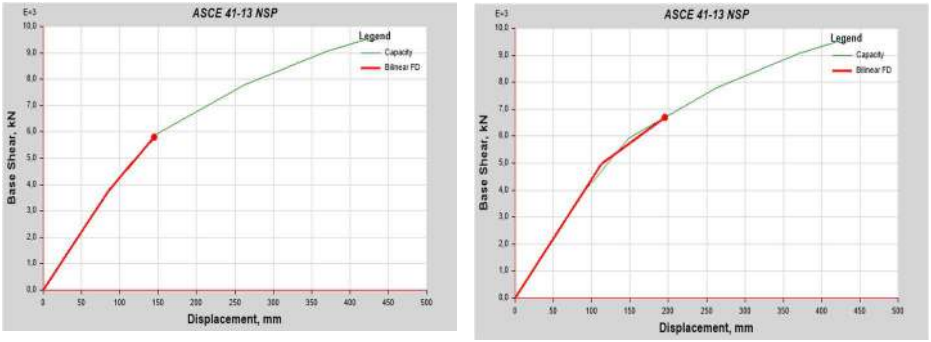
Gambar 13. *Push*-y *step* 2 dan *Push*-y *step* 5 gedung model B1

Pada arah-y step ke-2 elemen yang berada pada kondisi A-B adalah 1556, kondisi B-C adalah 1, dan kondisi A-IO adalah 1557. Pada step ke-5 kondisi B-C bertambah menjadi 363, A-IO berkurang menjadi 1370 dan 187 elemen pada kondisi IO-LS.

B. Metode *Target Displacement* FEMA-440

Pada metode *target displacement* (FEMA-440 2005) diambil kurva idealisasi bilinear (kurva bilinear *pushover*) yang didapat pada program. Kurva idealisasi bilinear ditampilkan sebagai berikut:

1) Gedung Model A1



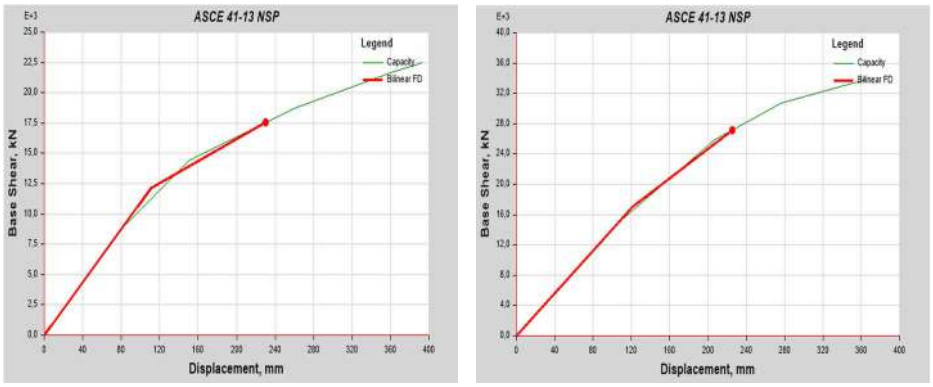
Gambar 14. Kurva bilinear *pushover* arah-x dan arah-y gedung model A1

Target displacement gedung model A1 dengan metode *target displacement(FEMA-440 2005)* pada setiap arah ditampilkan dalam Tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1. *Target displacement gedung model A1*

Parameter hitungan	Arah-x	Arah-y
C_0	1,35	1,35
C_1	1,167	1
C_2	1	1
C_3	1	1
S_a	0,624	0,470
T_e (s)	0,836	1,108
g (m/s^2)	9,81	9,81
D, δ (mm)	149,5	193,7

2) Gedung Model A2



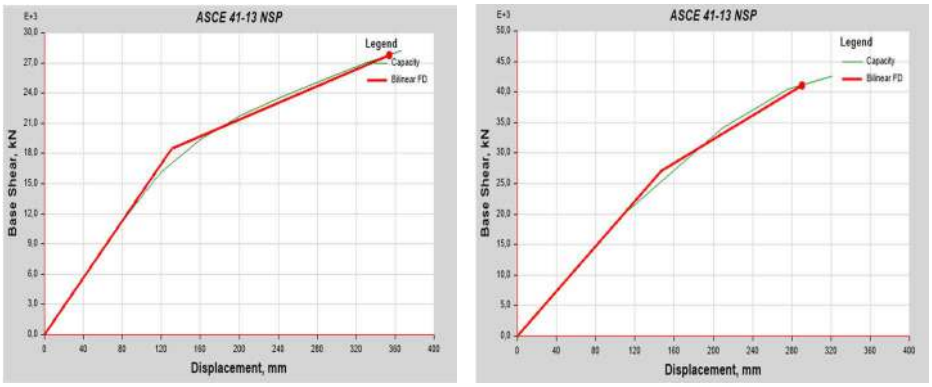
Gambar 15. Kurva bilinear *pushover* arah-x dan arah-y gedung model A2

Target displacement gedung model A2 dengan metode *target displacement (FEMA-440 2005)* pada setiap arah ditampilkan dalam Tabel 2 sebagai berikut :

Tabel 2. *Target displacement* gedung model A2

Parameter hitungan	Arah-x	Arah-y
C_0	1,35	1,35
C_1	1	1
C_2	1	1
C_3	1	1
S_a	0,392	0,412
T_e (s)	1,331	1,264
g (m/s^2)	9,81	9,81
D, δ (mm)	232,7	220,9

3) Gedung Model B1



Gambar 16. Kurva bilinear *pushover* arah-x dan arah-y gedung model B1

Target displacement gedung model B1 dengan metode *target displacement* (FEMA-440 2005) pada setiap arah ditampilkan dalam Tabel 3 sebagai berikut

Tabel 3. *Target displacement* gedung model B1

Parameter hitungan	Arah-x	Arah-y
C_0	1,35	1,35
C_1	1	1
C_2	1	1
C_3	1	1
S_a	0,590	0,522
T_e (s)	1,337	1,256
g (m/s^2)	9,81	9,81
D, δ (mm)	354	276,3

C. Penentuan Level Kinerja Struktur

(ATC-40 1996) menetapkan batasan rasio *displacement* atap sebagai berikut:

Tabel 4. Batasan rasio simpangan/*displacement* atap

Parameter	**Performance level**			
	Immediate Occupancy	**Damage control**	**Life safety**	**Structural stability**
Simpangan maksimum total	0,01	0,01 s.d. 0,02	0,02	$0{,}33\ \frac{Vi}{Pi} \approx 0{,}07$

Level kinerja struktur ditentukan melalui kriteria rasio *displacement* atap struktur yang dihitung sebagai perbandingan antara *displacement* (D) atap struktur pada saat titik kinerja tercapai terhadap ketinggian titik kontrol *displacement* (H). Level kinerja struktur gedung untuk metode (FEMA-440 2005) dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Level kinerja gedung

Model	Arah	Parameter	FEMA-440
A1	Arah-x	*Displacement*, D (mm)	149,5
		Rasio simpangan total maks.	0,0091
		Level kinerja	*Immediate Occupancy*
	Arah-y	*Displacement*, D (mm)	193,7
		Rasio simpangan total maks.	0,0117
		Level kinerja	*Damage Control*
A2	Arah-x	*Displacement*, D (mm)	232,7
		Rasio simpangan total maks.	0,0141
		Level kinerja	*Damage Control*
	Arah-y	*Displacement*, D (mm)	210,6
		Rasio simpangan total maks.	0,0121
		Level kinerja	*Damage Control*
B2	Arah-x	*Displacement*, D (mm)	354
		Rasio simpangan total maks.	0,0215
		Level kinerja	*Structural Stability*
	Arah-y	*Displacement*, D (mm)	276,3
		Rasio simpangan total maks.	0,0167
		Level kinerja	*Damage Control*

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis pada model gedung existing dengan dilatasi (model A1 & A2) pada arah y yaitu didapat nilai simpangan antar lantai pada lantai atap sebesar 42,31 mm untuk gedung model A1 dan 54,23 mm pada gedung A2. Dengan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa total simpangan gedung existing dengan dilatasi (model A1 & A2) sebesar 96,54 mm tidak melebihi jarak bersih dilatasi yang tersedia yaitu 250 mm.
2. Hasil analisis menggunakan metode target displacement FEMA-440 didapatkan nilai displacement yang lebih kecil pada model gedung existing dengan dilatasi (model A1 & A2) dibandingkan model gedung modifikasi tanpa dilatasi (model B1), sehingga tingkatan kinerja struktur model gedung existing dengan dilatasi menjadi lebih baik tingkatannya dibandingkan gedung modifikasi tanpa dilatasi. Perbedaan tingkat kinerja disebabkan karena perbedaan bentuk pada tiap model gedung.
3. Dengan metode target displacement FEMA-440 didapatkan nilai displacement terkecil pada model gedung existing dengan dilatasi (model A1) pada arah-x sebesar 149,5 mm dan didapatkan nilai displacement terbesar pada model gedung modifikasi tanpa dilatasi (model B1) pada arah-x sebesar 354 mm.
4. Tingkat kinerja struktur dengan metode target displacement FEMA-440 paling tinggi didapat dari hasil rasio model gedung existing dengan dilatasi (model A1) pada arah-

x yang berada pada tingkat *Immediate Occupancy*. Tingkat kinerja *Immediate Occupancy* dimana elemen struktural dan non-struktural mengalami kerusakan minimum serta adanya korban jiwa nyaris nihil. Tingkat kinerja struktur paling rendah didapat dari hasil rasio model gedung modifikasi tanpa dilatasi (model B1) pada arah-x yang berada pada tingkat *Structural Stability*. Tingkat kinerja *Structural Stability* dimana gagal/runtuh nya elemen-elemen non struktural, elemen struktural diharapkan tidak mengalami keruntuhan sehingga kemungkinan adanya korban jiwa dapat diminimalisir. Pada level ini bangunan sudah tidak dapat digunakan.

5. Tingkat plastifikasi pada elemen struktur pada ketiga model untuk pembebanan pushover arah-x dan arah-y sebagian besar berada pada kondisi diantara immediate occupancy (IO) dan life safety (LS). Ditemukan satu elemen kolom yang mengalami kondisi diantara immediate occupancy (IO) dan life safety (LS) pada model gedung existing dengan dilatasi (model A2) arah-y, dan satu elemen balok yang mengalami kondisi lebih dari collapse prevention (>CP) pada model gedung existing dengan dilatasi (model A1) arah-x.
6. Kondisi plastifikasi memiliki hubungan dengan biaya perbaikan. Untuk kondisi A-IO belum dibutuhkan perbaikan sehingga tidak memerlukan biaya perbaikan. Untuk kondisi IO-LS, kerusakan elemen struktur dapat menyebabkan biaya perbaikan 25% hingga 50% dapat dilakukan dengan cara pembesaran dimensi profil, penambahan sistem rangka bresing, dan penggantian baut mutu tinggi. Untuk kondisi LS-CP, kerusakan elemen struktur dapat menyebabkan biaya perbaikan hingga 100%. Salah satu opsi perbaikan tersebut dengan mengganti struktur baru.
7. Kesimpulan akhir yang dapat diperoleh dari tulisan ini adalah bahwa penerapan dilatasi pada gedung yang mempunyai kelemahan geometris dapat memberikan tingkat kinerja struktur yang lebih aman, berdasarkan kriteria FEMA-440 kinerja struktur gedung existing dengan dilatasi (model A1 dan A2) tidak ada yang melewati kondisi Life Safety, sedangkan pada gedung modifikasi tanpa dilatasi (model B1) berdasarkan kriteria FEMA-440 kinerja struktur pada arah-x berada pada tingkat Structural Stability yang mana sudah melewati kondisi Life Safety sehingga kinerja struktur dapat dikatakan kurang aman.

DAFTAR PUSTAKA

ATC-40, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings.

FEMA-273, 1997. NEHRP Guidelines For The Seismic Rehabilitation of Buildings.

FEMA-356, 2000. Prestandard And Rehabilitation Of Buildings.

FEMA-440, 2005. Improvement of Nonlinier Static Seismic Analysis Procedures.

Rahmani, A.Y., Bourahla, N., Bento, R., and Badaoui, M., 2019. *Adaptive upper-bound pushover analysis for high-rise moment steel frames*. Structures, 912–923.

SNI 1729, 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.