

**Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Terhadap Beban Gempa
Dengan Metode *Pushover Analysis*
(Studi Kasus: Gedung Rawat Inap Non – Bedah Rumah Sakit Umum Daerah
Dr. H. Abdul Moeloek)**

Risty Amelia Firdha¹⁾

Mohd. Isneini²⁾

Hasti Riakara Husni³⁾

Ratna Widyawati⁴⁾

Abstract

The condition of the tectonic arrangement is so complex that the Indonesian territory becomes an active seismic area with a high frequency of earthquakes. Considering that earthquakes can cause casualties and damages to infrastructure, it is necessary to analyze the structure of the building using the right method. This study aims to analyze the structure in needed to fulfill the safety requirements based on SNI 1726:2019 with the interstory drift and ATC-40 which is observed based on the maximum total drift and see the mechanism of the collapse that occurs. Structural analysis was carried out using the pushover analysis method added with a structural analysis program. From the analysis results, the displacement values obtained by the ATC-40 method are 63,939 mm in the x – direction and 85,299 mm in the y – direction. The performance level generated based on this method is immediate occupancy where the structural and non-structural elements experience minimum damage so that the building remains safe for reuse. The structure collapse mechanism shows the concept of a strong column weak beam mechanism. The interstory drift that occurs is still in the safe category because it does not exceed the interstory drift, which is 42 mm.

Key words: pushover analysis, performance level, failure mechanism, interstory drift.

Abstrak

Kondisi tatanan tektonik yang begitu kompleks menyebabkan wilayah Indonesia menjadi kawasan seismik aktif dengan frekuensi kegempaan yang tinggi. Mengingat gempa bumi dapat mengakibatkan korban jiwa dan hancurnya infrastruktur sehingga diperlukan analisis terhadap struktur bangunan tersebut dengan menggunakan metode yang tepat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur dalam memenuhi persyaratan keamanan berdasarkan SNI 1726:2019 dengan tinjauan simpangan antar tingkat dan ATC-40 yang ditinjau berdasarkan *maximum total drift* serta melihat mekanisme keruntuhan yang terjadi. Analisis struktur yang dilakukan menggunakan metode *pushover analysis* dengan bantuan program analisis struktur. Dari hasil, didapatkan nilai *displacement* dengan metode ATC-40 sebesar 63,939 mm arah – x dan 85,299 mm arah – y. Level kinerja yang dihasilkan adalah *immediate occupancy* dimana elemen struktural dan non-struktural mengalami kerusakan minimum sehingga bangunan tetap aman digunakan kembali. Mekanisme keruntuhan struktur menunjukkan konsep mekanisme *strong column – weak beam*. Simpangan antar tingkat yang terjadi masih dalam kategori aman karena tidak melebihi simpangan antar tingkat izin yaitu 42 mm.

Kata kunci: analisis pushover, level kinerja, mekanisme keruntuhan, simpangan antar tingkat.

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Surel: ristyfirdha@gmail.com

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung.

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung.

⁴⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung.

1. PENDAHULUAN

Letak geografis Indonesia berada di garis khatulistiwa yang dilalui oleh jalur pertemuan tiga lempeng tektonik. Kondisi tatanan tektonik yang begitu kompleks menyebabkan wilayah Indonesia menjadi kawasan seismik aktif dengan frekuensi kegempaan yang tinggi. Kota Bandar Lampung merupakan ibukota Provinsi Lampung yang terletak di bagian selatan Pulau Sumatera dan merupakan salah satu wilayah dengan resiko gempa yang cukup tinggi.

Perancangan gedung yang aman agar tidak mengakibatkan adanya korban jiwa menjadi suatu keharusan dalam perancangan sebuah gedung. Hal ini terutama pada gedung fasilitas rumah sakit yang merupakan bangunan dimana terdapat banyak manusia yang beraktifitas di dalamnya. Mengingat gempa bumi dapat mengakibatkan korban jiwa dan hancurnya infrastruktur sehingga diperlukan analisis terhadap struktur bangunan tersebut dengan menggunakan metode yang tepat.

Saat ini terdapat metode perencanaan bangunan tahan gempa yang dikenal dengan Perencanaan Berbasis Kinerja (*Performance Based Design*). Metode ini dapat digunakan untuk perancangan bangunan baru maupun perkuatan bangunan yang sudah ada. Salah satu pendekatan analisis yang dapat digunakan adalah analisis statis non-linier atau analisis *pushover*. Analisis *pushover* dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statis pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan sampai komponen struktur mengalami pelelehan (sendi plastis) yang kemudian menghasilkan kurva *pushover*. Kurva *pushover* akan memperlihatkan hubungan antara gaya geser dan perpindahan atap.

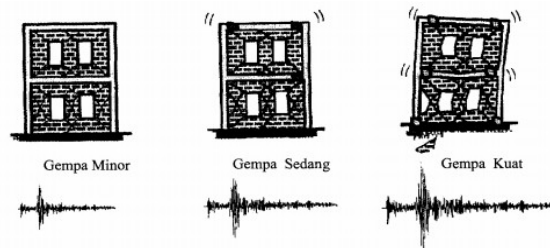
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konsep Struktur Bangunan Tahan Gempa

Menurut Pawirodikromo (2012) filosofi bangunan tahan gempa adalah sebagai berikut:

1. Pada gempa kecil (*light* atau *minor earthquake*) yang sering terjadi, maka struktur utama bangunan harus tidak rusak dan berfungsi dengan baik. Kerusakan kecil yang masih dapat ditoleransi pada elemen non-struktur masih dibolehkan.
2. Pada gempa menengah (*moderate earthquake*) yang relatif jarang terjadi, maka struktur utama bangunan boleh rusak/retak ringan tapi masih dapat diperbaiki. Elemen non-struktur dapat saja rusak tetapi masih dapat diganti yang baru.
3. Pada gempa kuat (*strong earthquake*) yang jarang terjadi, maka bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total (*totally collapse*) yang tujuannya adalah melindungi manusia/penghuni bangunan secara maksimum.

Untuk ilustrasi mengenai filosofi bangunan tahan gempa dapat dilihat pada Gambar 1.



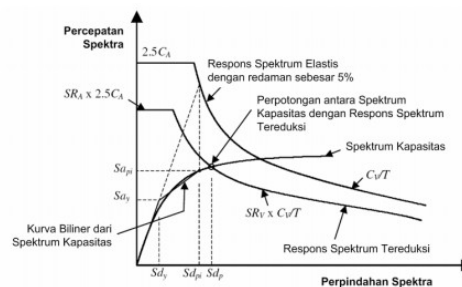
Gambar 1. Ilustrasi Level Kerusakan Bangunan (Pawirodikromo, 2012)

2.2. Analisis *Pushover* dengan Metode Spektrum Kapasitas

Menurut Badan Standardisasi Nasional (2002) analisis beban dorong atau analisis statis *pushover* adalah suatu analisis non-linier statis, yang dalam analisisnya pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban statis pada pusat massa masing – masing lantai.

Metode spektrum kapasitas menyajikan secara grafis dua buah grafik yang disebut spektrum kapasitas (*capacity spectrum*) yang menggambarkan kapasitas struktur berupa hubungan gaya geser dasar (*base shear*) dengan *displacement* lateral struktur yang disebut kurva kapasitas (*capacity curve*), dan *spectrum demand* yang menggambarkan besarnya *demand* (tuntutan kinerja) akibat beban gempa dengan periode ulang tertentu. Kurva tersebut diplotkan dalam format *Acceleration Displacement Response Spectrum* (ADRS). *Capacity spectrum* merupakan hasil transformasi *capacity curve* ke dalam satuan *spectral displacement* dan *spectral acceleration* (S_d , S_a). Sedangkan *demand spectrum* merupakan hasil transformasi *response spectrum* elastik gempa rencana ke dalam kondisi inelastik dengan satuan S_a dan S_d (Andalas *et al.*, 2016).

Penentuan *performance point* dengan metode spektrum kapasitas dilakukan dengan mencari titik potong antara *capacity spectrum* dan *demand spectrum*. Pada *performance point* dapat diperoleh informasi mengenai periode bangunan dan redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadi sendi plastis. Berdasarkan informasi tersebut respons struktur lainnya seperti nilai simpangan antar tingkat dan posisi sendi plastis dapat diketahui. Untuk gambaran lebih jelas mengenai titik perpotongan antara *capacity spectrum* dan *demand spectrum* sebagai penentuan *performance point* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Penentuan Titik Kinerja Menurut Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40, 1996)

2.3. Perancangan Bangunan Berbasis Kinerja

Menurut Dewobroto (2006) salah satu prosedur untuk mendapatkan tingkat kinerja bangunan dengan prosedur statis non-linier *pushover*. Analisis ini dimulai dengan membuat model rencana bangunan kemudian melakukan simulasi kinerjanya terhadap berbagai kejadian gempa. Setiap simulasi memberikan informasi tingkat kerusakan (*level of damage*) dan ketahanan struktur, sehingga dapat memperkirakan beberapa besar keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*)

yang akan terjadi. Dalam ATC-40 (1996) tingkat kinerja bangunan diklasifikasikan menjadi beberapa kategori:

1. *Immediate Occupancy (IO)*

Elemen struktural dan non-struktural mengalami kerusakan minimum. Ancaman adanya korban jiwa nyaris nol.

2. *Damage Control*

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.

3. *Life Safety (LS)*

Terjadi kerusakan struktural tetapi tidak terjadi keruntuhan, komponen non-struktural tidak berfungsi tetapi bangunan masih dapat digunakan setelah dilakukan perbaikan.

4. *Structural Stability*

Ancaman terjadinya korban jiwa mungkin cukup tinggi dikarenakan gagal/runtuh nya elemen – elemen non-struktural. Elemen struktural diharapkan tidak mengalami keruntuhan, sehingga kemungkinan adanya korban jiwa dapat dicegah/diminimalisir. Pada level ini bangunan sudah tidak dapat digunakan sama sekali.

ATC-40 (1996) memberikan batasan rasio simpangan/*displacement* atap pada struktur yang dievaluasi pada kondisi titik kinerja (*performance point*) yang dicapai oleh struktur. Adapun batasan rasio simpangan/*displacement* atap ditampilkan pada Tabel 1.

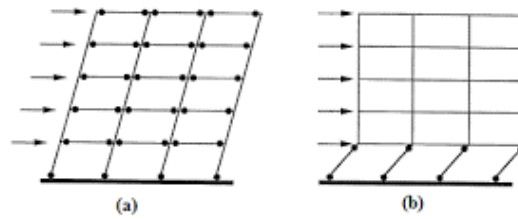
Tabel 1. Batasan Rasio Simpangan/*Displacement* Atap

Parameter	Performance Level			
	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Structural Stabilit
Maximum Total Drift	0,01	0,01 – 0,02	0,02	0,33 Vi/Pi
Maximum Inelastic Drift	0,005	0,005 – 0,0015	No Limit	No Limit

Sumber: ATC-40 (1996)

2.4. Mekanisme Keruntuhan

Perencanaan suatu bangunan pada daerah resiko gempa besar harus sesuai dengan konsep desain kolom kuat dan balok lemah. Mekanisme kelelahan pada bangunan berupa kolom kuat dan balok lemah merupakan keadaan keruntuhan struktur bangunan yang lebih terkontrol. Konsep ini bertujuan agar sendi plastis terbentuk pada balok terlebih dahulu daripada kolom. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari adanya bahaya ketidakstabilan struktur akibat patahan pada kolom terjadi lebih dulu dibandingkan balok struktur. Kerusakan yang terjadi pada kolom – kolom bangunan akan lebih sulit diperbaiki dibandingkan jika kerusakan terjadi pada balok untuk mendapat gambaran lebih detail dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sendi Plastis pada Balok (a) dan Kolom (b)

2.5. Simpangan Antar Tingkat

Pada pasal 7.8.6. Badan Standardisasi Nasional (2019) nilai simpangan antar tingkat ditentukan oleh persamaan berikut:

$$\delta_x = C_d \cdot \delta_{xe} / I_e \quad (1)$$

$$\Delta = \delta_x - \delta_{xe} \leq \Delta a \quad (2)$$

Dimana:

C_d : faktor amplikasi defleksi

δ_x : Perpindahan yang diperbesar pada lantai yang ditinjau

δ_{xe} : Perpindahan elastik akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

I_e : faktor keutamaan gempa

Δ : Simpangan antar tingkat

Δa : Simpangan antar tingkat izin (dapat dilihat pada Tabel 2.)

Tabel 2. Simpangan Antar Tingkat Izin

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Selain struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit – langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat	0,025h _{sx}	0,020h _{sx}	0,015h _{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010h _{sx}	0,010h _{sx}	0,010h _{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007h _{sx}	0,007h _{sx}	0,007h _{sx}
Semua struktur lainnya	0,020h _{sx}	0,015h _{sx}	0,015h _{sx}

Sumber: Badan Standardisasi Nasional (2019)

3. METODE PENELITIAN

3.1. Gambaran Umum Gedung

Objek dari penelitian ini yaitu struktur gedung 4 lantai tipikal dan satu lantai atap tambahan. Jenis tanah yaitu tanah sedang. Berdasarkan Badan Standardisasi Nasional (2019), untuk gedung rumah sakit termasuk dalam kategori IV dan faktor keutamaan (I_e)

adalah 1,5. Klasifikasi jenis tanah diasumsikan dalam jenis tanah sedang (SD).

3.2. Lokasi dan Data Penelitian

Objek dari penelitian ini adalah Gedung Rawat Inap Non – Bedah Rumah Sakit Umum Daerah Dr. H. Abdul Moeloek yang berlokasi di Jl. Dr. Rivai No.6, Kota Bandar Lampung. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa gambar eksisting gedung dan respons spektrum gempa rencana dari *software* RSA2019 dengan memasukkan jenis tanah dan koordinat lokasi tinjauan.

3.3. Prosedur Penelitian

Berikut adalah beberapa prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini:

1. Melakukan studi literatur.
2. Menyiapkan data – data penelitian berupa data sekunder berupa data struktur gedung.
3. Menghitung pembebanan pada struktur gedung berupa beban mati sendiri, beban mati tambahan, beban hidup dan beban gempa.
4. Memodelkan struktur gedung.
5. Menganalisis struktur dengan program analisis struktur.
6. Menganalisis kinerja struktur sesuai SNI 1726:2019 dan ATC-40.
7. Menyimpulkan hasil akhir.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Parameter Respons Spektrum

Parameter respons spektral yang ditentukan berdasarkan SNI 1726:2019 untuk wilayah gedung Rawat Inap Non – Bedah RSUD Dr. H. Abdul Moeloek, Bandar Lampung yaitu: kelas situs D (tanah sedang), nilai $S_s = 0,8727$ g dan $S_1 = 0,4317$ g. Parameter respons

spektrum elastik desain diperoleh untuk nilai $S_{ds} = 0,6696$ g dan $S_{d1} = 0,5377$ g.

4.2. Gaya Lateral Gempa

Sistem struktur untuk arah X dan Y sama yaitu dengan menggunakan sistem ganda. Nilai $R = 7$, $\Omega_0 = 2,5$, dan $C_d = 5,5$. Nilai parameter kegempaan yang lain yaitu:

1. Periode fundamental struktur (T) = 0,6324 detik
2. Koefisien respons seismik (C_s) = 0,1435
3. Gaya geser dasar (V) = 102498,38 kN
4. Distribusi vertikal gaya seismik (F)

Pada Tabel 3. ditampilkan nilai distribusi vertikal gaya seismik untuk arah x dan y.

Tabel 3. Distribusi Vertikal Gaya Seismik

Lantai	h_i (m)	h_x^k (m)	W (kN)	$W \times h_x^k$ (m)	C_v (kN)	F (kN)
Lantai atap dak	20,3	24,78	301,97	7481,98	0,01	97,41
Lantai atap	16,8	20,25	18883,85	382397,75	0,34	4978,45
	12,6	14,90	24964,29	371992,63	0,33	4842,99
Lantai 3	8,4	9,67	25746,05	248987,31	0,22	3241,58
Lantai 2	4,2	4,62	25746,05	118910,18	0,11	1548,10
Lantai 1						
Jumlah				1129769,85	1,00	14708,52

4.3. Pengecekan Gaya Reaksi Dasar Struktur

Setelah semua elemen struktur dimodelkan, maka dilakukan running awal program untuk perhitungan gaya geser dasar. Menurut pasal 7.9.1.4.1. Badan Standardisasi Nasional (2019) apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (Vt) kurang dari 100% dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya

tersebut harus dikalikan dengan $\frac{V}{V_t}$. Pada Tabel 4. disajikan data gaya reaksi dasar

sebelum dikoreksi sedangkan gaya reaksi dasar yang sudah dikoreksi disajikan pada Tabel 5.

Tabel 4. Gaya Reaksi Dasar Sebelum Dikoreksi

Load Case	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)
RSP X Max	9657,048	1656,252	0
RSP Y Max	1656,252	9307,954	0

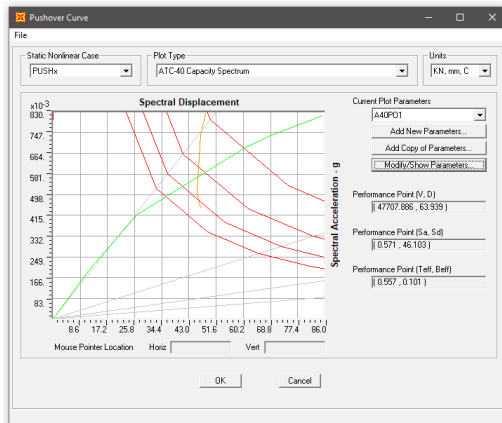
Tabel 5. Gaya Reaksi Dasar Setelah Dikoreksi

Load Case	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)
RSP X Max	14708,52	2505,911	0
RSP Y Max	2599,895	14708,52	0

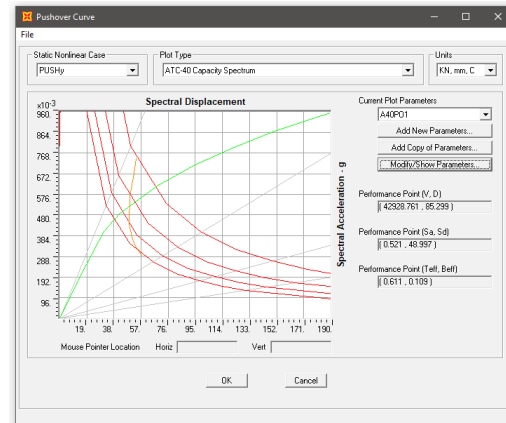
4.4. Analisis Pushover

4.4.1. Metode Spektrum Kapasitas

Dari program analisis struktur didapat kurva spektrum kapasitas. *Performance point* didapat dari titik perpotongan antara *demand spectra* (garis merah) dengan *capacity curve* (garis hijau) dan *single demand* (garis kuning). Kurva spektrum kapasitas ditampilkan pada Gambar 4. dan Gambar 5. Nilai *performance point* disajikan pada Tabel 6. yang selanjutnya akan digunakan untuk menentukan level kinerja struktur.



Gambar 4. Kurva Pushover Arah – x



Gambar 5. Kurva Pushover Arah – y

Tabel 6. *Performance Point*

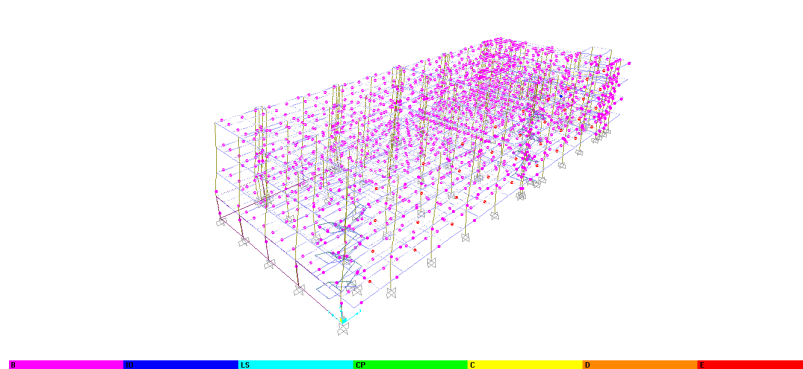
Nilai	Arah – x	Arah – y
Shear, V (kN)	47707,886 kN	42928,761 kN
Displacement, D (mm)	63,939 mm	85,299 mm
Sa (g)	0,571 g	0,521 g
Sd (mm)	46,103 mm	48,997 mm
T _{eff} (detik)	0,557 sec	0,611 sec
Damping Ratio, B _{eff}	0,101	0,109

4.4.2. Level Kinerja Struktur

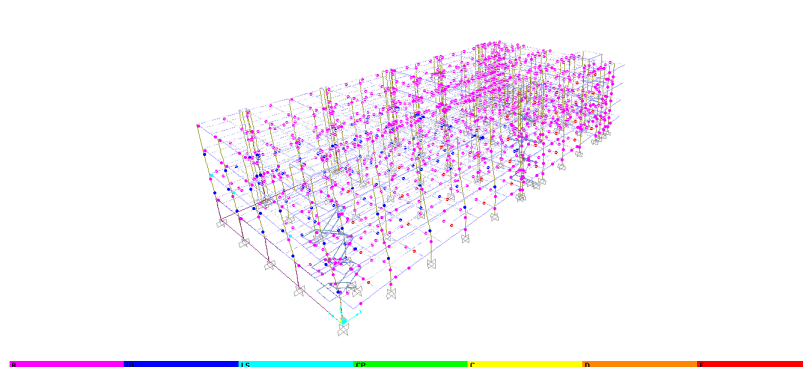
Level kinerja ditentukan berdasarkan nilai *displacement* (D) yang diperoleh dari *performance point*. Syarat yang digunakan untuk menentukan level kinerja adalah ATC-40. Rasio simpangan maksimum 0,0031 pada arah – x dan 0,0042 pada arah – y. Sehingga kinerja struktur termasuk ke dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO), yaitu bila terjadi gempa hanya sedikit kerusakan struktural yang terjadi.

4.5. Mekanisme Keruntuhan

Mekanisme keruntuhan untuk portal sumbu – x dan sumbu – y diawali dengan pembentukan sendi plastis pada balok di lantai terendah dan secara bertahap naik keatas seiring dengan pertambahan beban dorong yang diberikan kemudian terjadi pembentukan sendi plastis pada kolom hingga struktur mengalami keruntuhan. Mekanisme keruntuhan seperti ini menggambarkan bahwa perencanaan struktur bangunan tersebut sesuai dengan konsep desain kolom kuat dan balok lemah (*strong column – weak beam*) yang dikehendaki. Lokasi terjadinya sendi plastis pada step 7 arah – x ditunjukkan pada Gambar 6. dan step 9 arah – y pada Gambar 7.



Gambar 6. Sendi Plastis Step 7 Arah – x



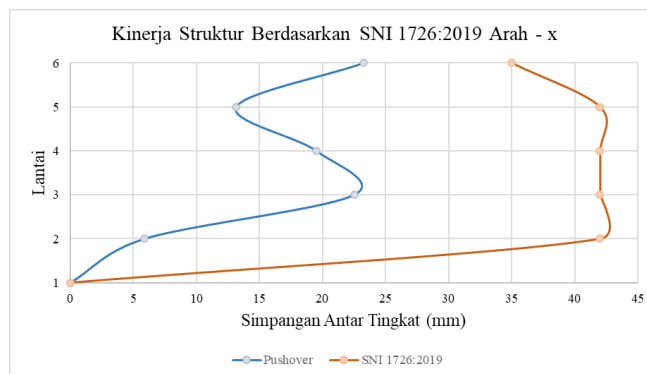
Gambar 7. Sendi Plastis Step 9 Arah – y

4.6. Simpangan Antar Tingkat

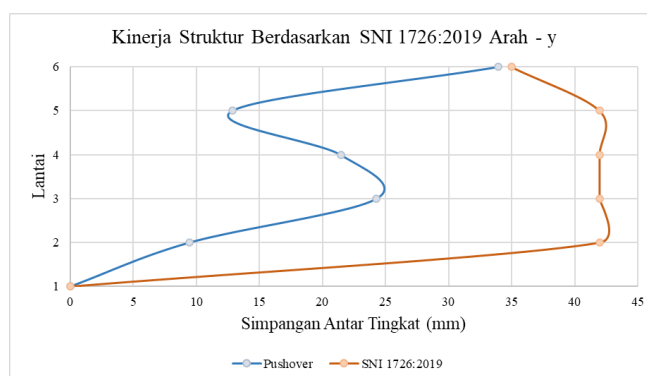
Simpangan antar tingkat izin dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$\Delta a = 0,010 \cdot h_{sx} \quad (3)$$

Kemudian hasil dari perhitungan diplotkan seperti pada Gambar 8. dan Gambar 9.



Gambar 8. Simpangan Antar Tingkat Arah – x



Gambar 9. Simpangan Antar Tingkat Arah – y

Penelitian serupa sebelumnya pernah dilakukan oleh Pangemanan dan Mantiri (2017). Dari penelitian ini didapatkan hasil untuk level kinerja bangunan dengan kategori *life safety*. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan Afandi (2010) hasil kinerja bangunan yang didapatkan kategori *immediate occupancy*, hal ini serupa dengan penelitian dilakukan dimana hasil level kinerja bangunan pada kategori *immediate occupancy*. Sedangkan untuk mekanisme keruntuhan dari penelitian yang dilakukan oleh Pangemanan dan Mantiri (2017), Afandi (2010) dan penelitian ini didapatkan hasil serupa yaitu konsep desain *strong column weak beam*.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis *pushover* yang dilakukan, diperoleh besar perpindahan atap yang terjadi pada arah – x sebesar 63,939 mm dan pada arah – y sebesar 85,299 mm. Rasio simpangan total maksimum pada arah – x sebesar 0,0031 dan pada arah – y sebesar 0,0042. Berdasarkan ATC-40, struktur tersebut termasuk ke dalam kategori *Immediate Occupancy (IO)*, yaitu elemen struktural dan non-struktural mengalami kerusakan minimum namun bangunan tetap aman digunakan kembali. Mekanisme keruntuhan yang terjadi sesuai dengan konsep *strong column – weak beam* yang diharapkan ditandai dengan terbentuknya sendi plastis diawali pada elemen balok. Gedung Rawat Inap Non – Bedah Rumah Sakit Umum Daerah Dr. H. Abdul Moeloek dinyatakan telah memenuhi syarat simpangan antar tingkat izin berdasarkan SNI 1726:2019 yaitu sebesar 42 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, N.R., 2010. Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Analisis Pushover Menggunakan Program SAP 2000. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Andalas, G., Suyadi, dan Husni, H.R., 2016. Analisis Layout Shearwall terhadap Perilaku Struktur Gedung. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain (JRSDD)*, 1 (1), 491–502.
- ATC-40, 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Applied Technology Council. California.
- Badan Standardisasi Nasional, 2002. SNI 1726:2002 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung.
- Badan Standardisasi Nasional, 2019. SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
- Dewobroto, W., 2006. Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000. *Jurnal Teknik Sipil*, 3 (1), 17–18.
- Pangemanan, S. dan Mantiri, H.G., 2017. Analisis Pushover Perilaku Seismik Struktur Bangunan Bertingkat : Studi Kasus Bangunan Ruko. *Prosiding Simposium II*, 40 (September), 978–979.
- Pawirodikromo, W., 2012. *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Pertama. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.