

Evaluasi Kinerja Kekuatan Struktur Gedung A Markas Kepolisian Daerah Lampung Baru menggunakan *Direct Displacement Based Design* (DDBD) sebagai Metode Desain Gaya Geser Dasar

Zihan Ramdan Hilmi¹⁾

Bayzoni²⁾

Hasti Riakara Husni³⁾

Abstract

Direct Displacement Based Design (DDBD) is a new method in computing the loading of earthquakes resistant building structures with displacement as a performance target, which is considered to be more efficient than the method often used previously, namely the Force Based Design (FBD). The purpose of this research is evaluate the performance of the Lampung Regional Police Headquarters building based on the ATC-40 and FEMA 440, where the dimensions of the structure used from shop drawings and can be change if the dimensions not meet requirements. The loads used are gravity loads and base shear force designed using DDBD, where the design performance target is life safety. In the evaluation process of this research, there is one type of main beam that must be changes in dimensions, and the result of structure performance evaluation is immediate occupancy, based on ATC-40 and FEMA 440.

Keywords: Displacement, DDBD, Evaluation of Performance.

Abstrak

Metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD) merupakan metode baru dalam perhitungan pembebanan struktur bangunan terhadap gempa, dimana target kinerja bangunan ditentukan lebih dahulu dalam bentuk *displacement*, yang dinilai lebih efisien dibanding metode yang sering dipakai sebelumnya yaitu metode *Force Based Design* (FBD). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja Gedung Mapolda Lampung berdasarkan metode ATC-40 dan FEMA 440, dimana dimensi struktur yang digunakan dalam evaluasi berasal dari *shop drawing* dan dapat berubah apabila tidak memenuhi syarat. Beban yang digunakan merupakan beban gravitasi dan gaya geser yang direncanakan menggunakan metode DDBD dengan target kinerja desain adalah *life safety*. Pada evaluasi awal diperlukan perubahan dimensi untuk satu tipe balok induk dan hasil dari kinerja strukur adalah *immediate occupancy* berdasarkan perhitungan evaluasi kinerja metode ATC-40 dan FEMA 440.

Kata Kunci: Perpindahan, DDBD, Evaluasi Kinerja Struktur.

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. surel: zihanramdanhilmi10@gmail.com

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145. surel: bayzoni1973@eng.unila.ac.id

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.surel: hasti.riakara.h@eng.unila.ac.id

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki risiko tinggi terhadap kejadian gempa bumi. Hal ini sebagai akibat interaksi antar tiga lempeng raksasa yang mengelilingi Indonesia, yaitu Lempeng Samudera Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Samudra Pasifik (Setiawan, 2016). Oleh karena itu struktur bangunan di Indonesia harus direncanakan sedemikian rupa sehingga mampu menahan beban yang ditimbulkan oleh pengaruh gempa bumi.

Konsep perencanaan bangunan tahan gempa yang konvensional (*Force Based Seismic Design*) dinilai tidak efisien dan kurang cocok dengan kondisi riil, dikarenakan pada kondisi riil perilaku keruntuhan struktur saat terkena gempa adalah inelastis (*material non-linier*). Hal ini mendorong adanya pengembangan konsep desain alternatif yang disebut *Performance Based Seismic Design* (PBSD). Salah satu metode pada PBSD yang baru-baru ini sedang gencar-gencar nya dikembangkan yaitu *Direct Displacement Based Design* (DDBD). Pada DDBD nilai *displacement* atau perpindahan lebih ditekankan sebagai acuan untuk menentukan kekuatan yang diperlukan bangunan terhadap gempa desain. *Performance Based Seismic Design* (PBSD) merupakan salah satu konsep mendesain bangunan dimana target kinerja bangunan (*performance objective*) ditentukan terlebih dahulu dan di akhir proses desain, target tersebut dijadikan parameter minimum yang harus dipenuhi. Secara singkat proses perencanaan dimulai dengan membuat desain awal bangunan kemudian melakukan simulasi kinerja terhadap beberapa beban gempa. (Tavio dan Wijaya, 2018).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merencanakan tulangan pelat, balok, dan kolom akibat gaya geser desain DDBD, dengan asumsi awal dimensi yang direncanakan sama dengan dimensi pada gambar rencana dan mengevaluasi kinerja berdasarkan ATC-40 dan FEMA 440 dengan target kinerja *life safety*.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Gempa Bumi

Gempa bumi adalah berguncangnya bumi yang disebabkan oleh tumbukan antar lempeng bumi, patahan aktif aktivitas gunung api atau runtuh batuan. Adapun berdasarkan penyebabnya, gempa bumi dapat dikelompokkan menjadi gempa tektonik, vulkanik, runtuh batuan, jatuhnya meteor, dan gempa bumi buatan manusia. (Sunarjo dkk, 2012).

Sedangkan gempa bumi yang disebabkan oleh pergeseran lempeng tektonik merupakan gempa bumi yang dapat mengakibatkan getaran yang besar. Hal ini disebabkan karena adanya dinamika yang terjadi pada lapisan mantel bumi, lempeng tektonik terus menerima energi dari lapisan tersebut. Gempa bumi adalah peristiwa bergetar atau berguncangnya bumi karena pergerakan/pergeseran lapisan batuan pada kulit bumi secara tiba-tiba akibat pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Pergerakan tiba-tiba dari lapisan batuan di dalam bumi menghasilkan energi yang dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempa bumi atau gelombang seismik. Ketika gelombang ini mencapai permukaan bumi, getarannya dapat merusak segala sesuatu di permukaan bumi seperti bangunan dan infrastruktur lainnya sehingga dapat menimbulkan korban jiwa dan harta benda. (Sunarjo dkk, 2012).

2.2. Repons Spektrum Berdasarkan SNI 1726:2012

1. Menentukan parameter percepatan tanah S_S dan S_1 .

Parameter S_S dan S_1 ditetapkan berdasarkan respons spektrum percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun sesuai dengan lokasi yang ditinjau.

2. Menentukan klasifikasi situs.

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs diklasifikasikan sebagai kelas situs S_A , S_B , S_C , S_D , S_E , atau S_F .

3. Menentukan faktor koefisien situs (F_a , F_v) dan menghitung parameter spektrum respons percepatan yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs (S_{MS} , S_{M1}).

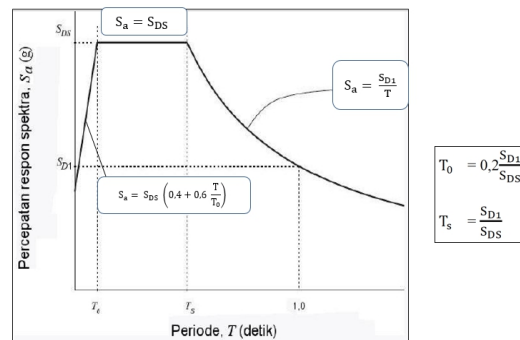
$$S_{MS} = F_a * S_s \quad (1)$$

$$S_{M1} = F_v * S_1 \quad (2)$$

Menghitung parameter percepatan spektrum desain (S_{DS} , S_{D1}).

$$S_{DS} = \frac{2}{3} * S_{MS} \quad (3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} * S_{M1} \quad (4)$$



Gambar 1. Respons Spektrum.

2.3. Pembebanan Gravitasi

Tabel 1. Beban Mati Tambahan.

No	Jenis Beban	Berat (kN/m ²)
1	Ceramic or quarr tile (3/4-in.) on 1-in. mortar bed	1.10
2	Mechanical duct allowance	0.19
3	Suspended steel channel sistem	0.1
4	Acoustical fiberboard	0.05
5	Clay tile roman	0.57

(Sumber: ASCE 7-10 Table C3-1).

Tabel 2. Beban Hidup.

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Gedung perkantoran:		
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian		
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	2 000 (8,90)
Kantor	50 (2,40)	2 000 (8,90)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	2 000 (8,90)

(Sumber: SNI 1727-2013)

2.4. Metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD)

Secara umum, langkah perhitungan gaya geser dasar dengan metode DDBD adalah sebagai berikut:

1. Menghitung desain perpindahan tingkat
2. Menghitung desain perpindahan SDOF yang setara (ekuivalen)
3. Menghitung massa efektif
4. Menghitung tinggi efektif
5. Menghitung desain daktilitas perpindahan (displacement ductility)
6. Menghitung redaman viscous ekuivalen (equivalent viscous damping)
7. Menghitung periode efektif
8. Menghitung kekakuan efektif
9. Menghitung gaya geser dasar

2.5. Evaluasi Kinerja Struktur

2.5.1 ATC-40

Dalam metode ATC-40, metode yang digunakan untuk menentukan tingkat kinerja dari struktur adalah dengan metode spektrum kapasistas. Kurva kapasitas diperoleh dari analisis pushover yaitu dengan memberikan beban lateral statik tertentu pada struktur yang kemudian ditingkatkan secara bertahap hingga struktur mencapai suatu batas tertentu atau mengalami kegagalan struktur, dengan hasil akhir merupakan hubungan antara gaya geser dengan perpindahan pada atap. Untuk merubah kurva kapasitas kedalam format *Acceleration-Displacement Response Spectra* (ADRS), maka digunakan persamaan-persamaan berikut:

$$\alpha_i = \frac{(\sum ((w_i \phi_{il})/g))^2}{((\sum (w_i/g))(\sum (w_i \phi_{il}^2)/g))} \quad (5)$$

$$PF_1 = \frac{\sum ((w_i \phi_{il})/g)}{\sum ((w_i \phi_{il}^2)/g)} \quad (6)$$

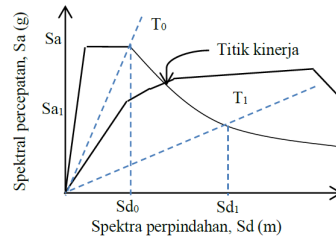
Dari rumus tersebut selanjutnya dicari nilai S_a dan S_d sebagai berikut:

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_i} \quad (7)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \phi_{roof1}} \quad (8)$$

Redaman efektif dihitung dengan persamaan:

$$\beta_{eff} = \frac{63,7 k (a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{(a_{pi} d_{pi})} \quad (9)$$



Gambar 2. Titik Kinerja Struktur.

2.5.2 FEMA 440

Metode FEMA 440 merupakan metode pengembangan dari metode koefisien perpindahan FEMA 356 atau juga bisa disebut metode koefisien perpindahan yang diperbaiki. Secara garis besar dasar dalam perhitungan metode FEMA 440 ini sama dengan FEMA 356, yaitu dengan hasil akhir menentukan nilai target perpindahan (δ_T). Selanjutnya target perpindahan didapat dari modifikasi respon elastik linier dari system SDOF ekuivalen dengan beberapa faktor koefisien perpindahan dan dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(\frac{T_e^2}{4\pi^2} \right) g \quad (10)$$

Namun dalam proses analisis, hasil dari evaluasi kinerja menggunakan metode FEMA 440 sudah dapat dihitung menggunakan program yang digunakan penulis.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif, karena hasil penelitian yang dilakukan berupa angka atau bilangan yaitu merupakan hasil analisis pushover suatu struktur bangunan gedung yang didesain menggunakan metode DDBD. Pada analisis penelitian ini digunakan software Microsoft Excel, dan ETABS 2016.

3.2. Data Penelitian

Pada penelitian ini, analisis struktur bangunan dilakukan pada sebuah gedung yang baru dibangun pada tahun 2018 yang terletak di Jalan Terusan Ryacudu, Way Hui Kabupaten Lampung Selatan, yaitu Gedung Markas Kepolisian Daerah Lampung yang berfungsi sebagai gedung perkantoran. Berikut adalah data struktur gedung Mapolda Lampung:

Mutu beton	: K300
Mutu baja tulangan utama	: BJTS 420B
Mutu baja tulangan sengkang	: BJTP 280
Mutu profil baja	: BJ 37

3.2. Tahapan-Tahapan Penelitian

1. Studi literatur.
2. Menyiapkan data-data struktur berupa *shop drawing* beserta beban gravitasi yang membebaninya.

3. Memodelkan struktur bangunan dan menginput beban gravitasi kedalam program.
4. Menghitung berat bangunan tiap lantai menggunakan program.
5. Menghitung respons spektrum pada koordinat lokasi penelitian berdasarkan SNI 1726-2012.
6. Menghitung gaya geser dasar menggunakan metode Direct Displacement Based Design (DDBD)
7. Menghitung distribusi gaya geser dasar pada tiap lantai struktur bangunan gedung.
8. Menghitung gaya dalam (momen, lintang, dan normal) pada elemen struktur menggunakan program.
9. Mendesain tulangan pada elemen struktur berupa pelat, balok dan kolom berdasarkan gaya dalam hasil analisis struktur dan SNI 2847:2013, apabila terjadi perubahan dimensi karena tidak mencukupi standar, maka kembali lagi pada langkah 2 dengan mengubah dimensi pada data struktur.
10. Menginput tulangan hasil desain ke dalam program.
11. Menganalisis *pushover*.
12. Mengevaluasi kinerja berdasarkan ATC-40 dan FEMA 440 dengan hasil akhir berupa *performance point* dan kinerja struktur. Hasil evaluasi kinerja berdasarkan ATC-40 dan FEMA 440 harus lebih aman dibandingkan dengan kinerja rencana struktur yang didesain menggunakan metode DDBD.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Massa Bangunan Tiap Lantai

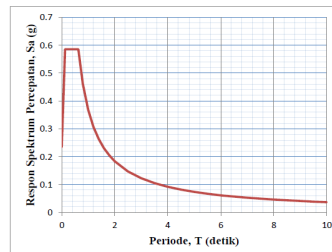
Massa bangunan akibat beban gravitasi tiap lantai yang dihitung dengan kombinasi beban yang digunakan merupakan massa efektif bangunan akibat gempa yaitu 1,0 beban mati dan 0,5 beban hidup.

Tabel 3. Massa Efektif Bangunan Tiap Lantai.

Lantai	Massa (ton)
Lantai 4	584,70746
Lantai 3	2761,1776
Lantai 2	2443,0082
Lantai 1	2765,1551

4.2. Respons Spektrum Redaman 5%

Respons spektrum yang dihitung berdasarkan SNI 1726-2012 dengan redaman 5% dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 3. Respons Spektrum Redaman 5%.

4.3. Distribusi Gaya Geser Metode DDBD

Tabel 4. Gaya geser tiap lantai arah x.

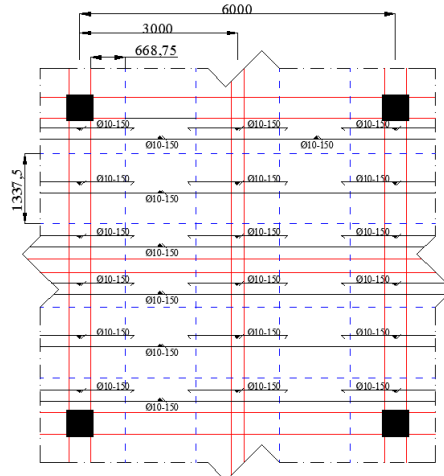
Tingkat	M (T)	F_i (kN)
Lantai 4	584,7075	955,4479
Lantai 3	2761,178	1703,7491
Lantai 2	2443,008	1004,9512
Lantai 1	2765,155	568,7344
Total		4232,8827

Tabel 5. Gaya geser tiap lantai arah y.

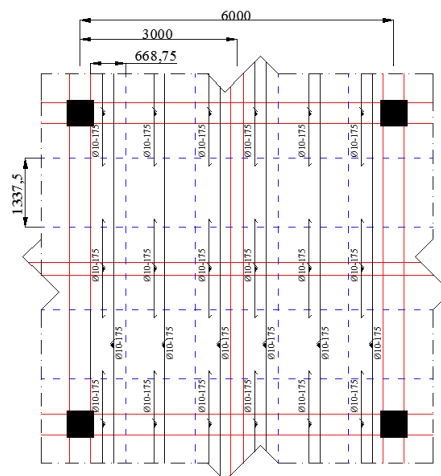
Tingkat	M (T)	F_i (kN)
Lantai 4	584,7075	1014,01
Lantai 3	2761,178	1808,176
Lantai 2	2443,008	1066,547
Lantai 1	2765,155	603,5935
Total		4492,326

4.4. Desain Elemen Struktur Bangunan

4.4.1. Pelat

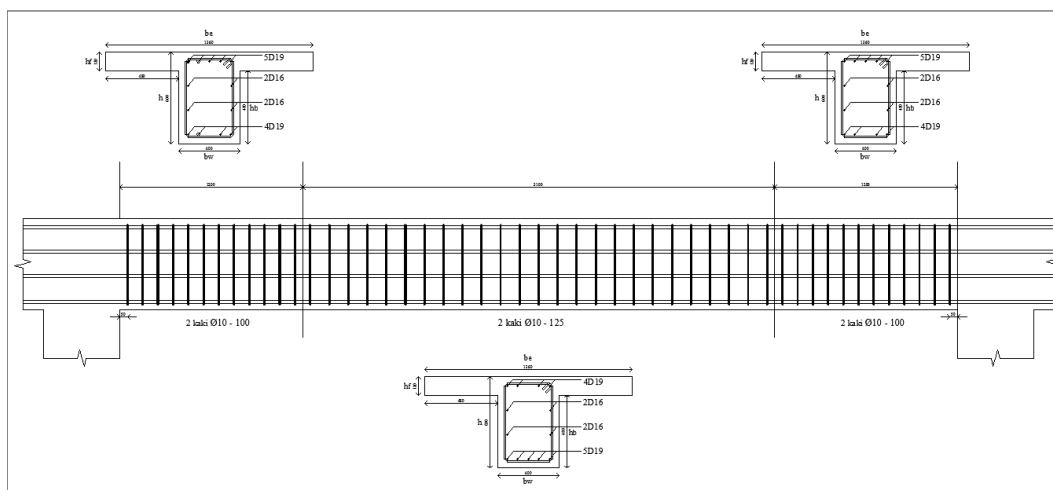


Gambar 4. Penulangan Pelat Arah X.



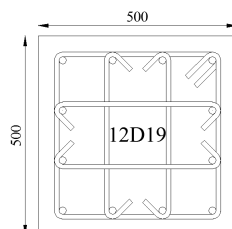
Gambar 5. Penulangan Pelat Arah Y.

4.4.2. Balok



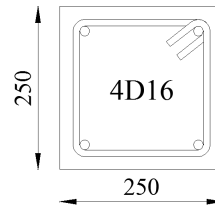
Gambar 6. Contoh Salah Satu Detail Penulangan Balok (B1 Interior).

4.4.3. Kolom



Gambar 7. Penampang Kolom K1.

Dimana tulangan transversal (senggang) kolom menggunakan tulangan polos 4 kaki dengan diameter 12 jarak 100 mm.



Gambar 8. Penampang Kolom K2.

Dimana tulangan transversal (senggang) kolom menggunakan tulangan polos 2 kaki dengan diameter 10 jarak 62,5 mm.

4.4.3. Cek Rasio Kapasitas Momen Lentur Balok Kolom dan Geser pada Joint

Elemen struktur yang ditinjau adalah hubungan balok kolom pada joint 23 dimana pada joint tersebut didapatkan nilai kekuatan nominal lentur kolom terendah dan kekuatan nominal balok tertinggi (*joint* yang paling menentukan). Berdasarkan perhitungan menggunakan SNI 2847-2013 Pasal 21.6, didapatkan rasio kapasitas balok kolom sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Sigma M_{nc} &\geq (1,2) \Sigma M_{nb} \\ 768,8548 \text{ kNm} &\geq (1,2) 584,9829 \text{ kNm} \\ 768,8548 \text{ kNm} &\geq 701,9795 \text{ kNm (OK)} \\ \text{Dengan rasio} &= \Sigma M_{nc} / (1,2) \Sigma M_{nb} \\ &= 768,8548 / 701,9795 \\ &= 1,0953. . > 1,0 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

Sedangkan berdasarkan perhitungan geser pada joint, dihitung menggunakan SNI 2847-2013 Pasal 21.7 dan didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Arah x} \\ \phi V_n \text{ x-x} &> V_u \text{ x-x} \\ 1575,3765 \text{ kN} &> 1334,4385 \text{ kN} . . \text{ (OK)} \\ \text{Arah y} \\ \phi V_n \text{ y-y} &> V_u \text{ y-y} \\ 1575,3765 \text{ kN} &> 1334,4385 \text{ kN} . . \text{ (OK)}\end{aligned}$$

4.5. Pushover Analysis

Hasil dari analisis *pushover* menggunakan program, didapatkan data untuk arah x dan arah y sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil analisis *pushover* arah x.

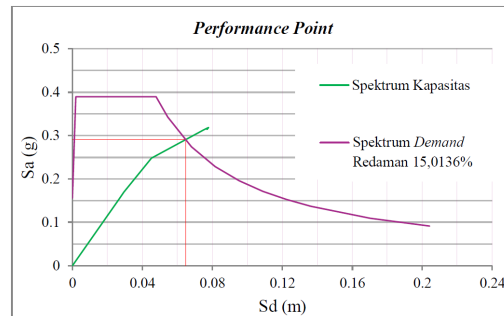
Step	Monitored Displ (mm)	Base Force (kN)	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	-0,0110	0	4336	0	0	0	0	4336	0	0	0	4336
1	39,9891	10700,64	4332	4	0	0	0	4336	0	0	0	4336
2	44,1312	11807,21	4312	24	0	0	0	4336	0	0	0	4336
3	67,6171	17245,37	3850	486	0	0	0	4332	0	0	4	4336
4	112,4936	21753,90	3418	918	0	0	0	4320	8	0	8	4336
5	116,4824	22133,78	3410	926	0	0	0	4305	23	0	8	4336
6	115,3041	21818,45	3410	926	0	0	0	4305	23	0	8	4336

Tabel 7. Hasil analisis *pushover* arah y.

Step	Monitored Displ (mm)	Base Force (kN)	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LSLS-CP	>CP	Total
0	-0,2223	0,0000	4336	0	0	0	0	4336	0	0	4336
1	39,7778	10703,131	4336	0	0	0	0	4336	0	0	4336
2	43,6594	11741,774	4320	16	0	0	0	4336	0	0	4336
3	68,5598	17340,834	3806	530	0	0	0	4332	0	0	4336
4	110,0047	21424,023	3414	922	0	0	0	4313	0	0	4336
5	111,6926	21574,294	3406	930	0	0	0	4311	2	0	4336
6	111,6921	21573,894	3406	930	0	0	0	4311	2	0	4336
7	111,6950	21574,304	3406	930	0	0	0	4311	2	0	4336
8	111,5177	21526,838	3406	930	0	0	0	4311	2	0	4336

4.6. Evaluasi Kinerja

4.6.1. ATC-40



Gambar 9. *Performance Point* Metode ATC-40 Arah X.

Performance point:

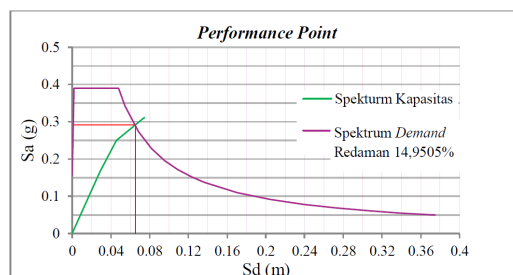
Sa = 0,2908 g

Sd = 0,0649 m

Daktilitas = 1,4358

Displacement = 97,1498 mm

Rasio simpangan struktur yaitu perbandingan *displacement maximum* dengan tinggi struktur = 97,1498 mm / 17700 mm = 0,00549. Karena rasio simpangan struktur kurang dari 0,01 maka struktur bangunan termasuk dalam kinerja struktur *immediate occupancy*.



Gambar 10. *Performance Point* Metode ATC-40 Arah Y.

Performance point:

Sa = 0,2917 g

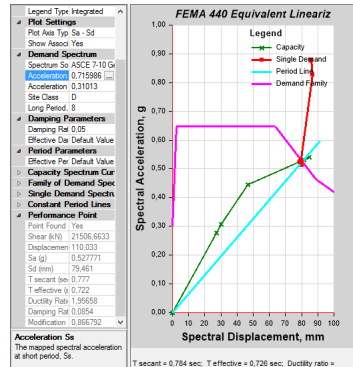
Sd = 0,0652 m

Daktilitas = 1,4267

Displacement = 97,6961 mm

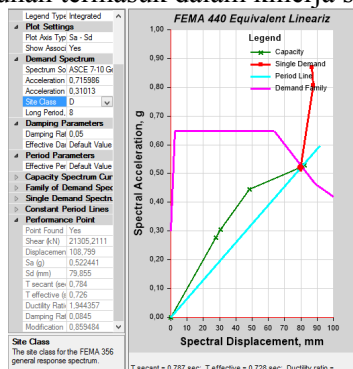
Rasio simpangan struktur yaitu perbandingan *displacement maximum* dengan tinggi struktur = $97,6961 \text{ mm} / 17700 \text{ mm} = 0,00552$. Karena rasio simpangan struktur kurang dari 0,01 maka struktur bangunan termasuk dalam kinerja struktur *immediate occupancy*.

4.6.2. FEMA 440



Gambar 11. *Performance Point* Metode FEMA 440 Arah X.

Displacement struktur bangunan berdasarkan FEMA 440 arah x-x adalah 110,033 mm. Rasio simpangan struktur yaitu perbandingan *displacement maximum* dengan tinggi struktur = $110,033 \text{ mm} / 17700 \text{ mm} = 0,00622$. Karena rasio simpangan struktur kurang dari 0,01 maka struktur bangunan termasuk dalam kinerja struktur *immediate occupancy*.



Gambar 12. *Performance Point* Metode FEMA 440 Arah Y.

Displacement struktur bangunan berdasarkan FEMA 440 arah y-y adalah 108,799 mm. Rasio simpangan struktur yaitu perbandingan *displacement maximum* dengan tinggi struktur = $108,799 \text{ mm} / 17700 \text{ mm} = 0,00615$. Karena rasio simpangan struktur kurang dari 0,01 maka struktur bangunan termasuk dalam kinerja struktur *immediate occupancy*.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Terdapat tipe balok yang membutuhkan perbesaran dimensi yang digunakan sebagai elemen struktur Gedung Mapolda Baru, diantaranya adalah balok B2. Dimana ukuran balok B2 pada *shop drawing* masih belum mencukupi batasan penampang untuk menahan gaya geser dan momen torsi berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 11.5.3.1.a.
2. Dari hasil desain struktur dengan desain gaya geser dasar menggunakan metode DDBD, didapat hasil kinerja struktur yang dihitung menggunakan metode ATC-40 dan FEMA 440 adalah *immediate occupancy*.
3. Perbandingan target *displacement* metode DDBD dengan *displacement* hasil evaluasi kinerja metode ATC 40 dan FEMA 440 memiliki selisih yang cukup jauh, dimana

displacement yang direncanakan dengan metode DDBD sebesar 210,93 mm (*life safety*) dan *displacement* hasil evaluasi kinerja sebesar 110,033 mm arah x dan 108,799 mm arah y metode FEMA 440 dan 97,1498 mm arah x dan 97,6961 mm arah y metode ATC 40.

DAFTAR PUSTAKA

- ASCE 7-10. 2010. *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. American Society of Civil Engineers: Virginia.
- ATC-40. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Vol 1. Applied Tecnology Council: California.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung (SNI 1726: 2012)*. BSN: Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727: 2013)*. BSN: Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847: 2013)*. BSN: Jakarta.
- FEMA 356. 2000. *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Federal Emergency Management Agency: Wasington, D.C.
- FEMA 440. 2005. *Improvement of Nonlinear Static Seismic Anaysis Procedures*. Federal Emergency Management Agency: Wasington, D.C.
- Setiawan, Agus. 2016. *Perancangan Struktur Beton Bertulang*. Erlangga: Jakarta..
- Sunarjo, dkk. 2012. *Gempa Bumi Indonesia Edisi Populer*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG): Jakarta.
- Tavio dan Wijaya, U. 2018. *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Permormance Based Design)*. Penerbit ANDI: Yogyakarta.