

Evaluasi Kinerja Gedung Apartemen 10 Lantai dengan Ketidakberaturan Horizontal

(Performance Evaluation of Ten Levels Apartment Building With Horizontal Irregularity)

NOVI RAHMAYANTI, HAVRI YUMNA LABIBA

ABSTRAK

*Force Based Design (FBD) and Direct Displacement Based Design (DDBD) merupakan metode yang umumnya digunakan untuk merencanakan bangunan gedung, namun metode DDBD belum familiar digunakan. Penelitian lebih lanjut dibutuhkan pada Metode DDBD dengan gedung yang memiliki ketidakberaturan horizontal, karena terdapat berbagai variasi kekakuan portal. Hal ini berbeda dengan bangunan biasa dengan kekakuan yang relatif sama. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui keandalan hasil desain dengan metode DDBD pada bangunan gedung dengan ketidakberaturan horizontal sudut dalam bentuk U terhadap metode FBD berdasarkan SNI 1726 (2012). Perencanaan metode FBD menurut SNI 1726 (2012) dilakukan dengan analisis statik ekuivalen dan analisis respon struktur. Parameter yang dibandingkan dalam penelitian ini meliputi gaya geser dasar, perpindahan, simpangan antar tingkat, jumlah tulangan dan tingkat kinerja struktur menurut ATC-40. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode DDBD menghasilkan gaya geser, perpindahan, simpangan antar lantai dan kebutuhan tulangan paling besar. Dibandingkan dengan dua metode yang lain, namun tingkat kinerja yang didapatkan dari ketiga metode sama yaitu *Damage Control (DO)*.*

Kata kunci: FBD, DDBD, Ketidakberaturan Sudut Dalam, Tingkat Kinerja Struktur.

ABSTRACT

*Force Based Design (FBD) and Direct Displacement Based Design (DDBD) can be used to plan buildings. However, the DDBD method is not familiar to use. DDBD method in buildings with horizontal irregularities needs to be further investigated because there are variations in portal stiffness, different from regular buildings with relatively the same stiffness. This study was conducted to determine the reliability of the DDBD method design results in buildings with U-shaped irregular angles compared to the FBD method according to SNI 1726 (2012). The planning of the FBD method according to SNI 1727 (2012) is carried out both with the Equivalent Static analysis and the Spectrum Response Analysis. The level of structure performance is evaluated using Pushover analysis. The parameters compared in this study are the primary shear force, displacement, story drifts, number of reinforcements, and the level of structural performance according to ATC-40. The results showed that the DDBD method produces the most significant shear force, displacement, story drift, and the number of rebars than other methods. However, the structural performance level is the same in all methods, namely *Damage Control (DO)*.*

Keywords: FBD, DDBD, Irregularity, Structure Performance Level

PENDAHULUAN

Metode *Force Based Design* (FBD) menggunakan konsep daktilitas dan faktor

reduksi gaya (R) untuk mendapatkan kebutuhan kekuatan struktur terhadap gempa. Menurut Priestley (2007) terdapat beberapa kelemahan konsep FBD, di antaranya adalah pada estimasi kekakuan awal elemen struktur dan kurang

valid untuk menunjukkan kinerja bangunan inelastik karena metode FBD dilakukan secara elastik. Karena terdapat kelemahan pada konsep FBD, konsep perencanaan bangunan tahan gempa mulai beralih kepada *Performance Based Design* (PBD). Konsep PBD merupakan gabungan dari aspek ketahanan dan aspek layan yang mendapatkan beban simultan dengan probabilitas yang berbeda (Soleman, 2006). Konsep PBD dilakukan dengan menganalisis komponen struktur secara bertahap yang memberikan gambaran perilaku nonlinear (*inelastic*) struktur saat pertama kali mengalami kegagalan, sehingga konsep ini menunjukkan secara langsung bagaimana kinerja struktur terhadap gempa yang terjadi (Purba dkk, 2016). Terdapat tiga metode PBD yang dikenal dan sering digunakan saat ini, yaitu metode Direct Displacement Based Design (Priestley, 2000), metode *capacity spectrum* (ATC-40, 1996), dan metode N2 (Fajfar, 1999).

Metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD) dikembangkan oleh Priestley (2000). Konsep dasar metode DDBD adalah dengan mengubah sistem struktur bangunan bertingkat banyak multi degree of freedom (MDOF) menjadi sistem *single degree of freedom* (SDOF) dan menentukan drift rencana stuktur sesuai level kinerja yang diinginkan. Hasil kinerja bangunan tinggi dengan denah bangunan regular yang di desain dengan metode DDBD cenderung lebih baik dibandingkan dengan metode FBD (Asisi, dkk, 2015; Ertanto, 2017; Pranata, 2007).

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi dan membandingkan kinerja hasil desain metode DDBD dan metode FBD pada struktur dengan ketidakberaturan sudut dalam berbentuk U untuk gedung 10 lantai. Metode DDBD ini masih belum umum dilakukan untuk mendesain struktur di Indonesia, sehingga metode ini masih memerlukan penelitian lebih lanjut untuk digunakan pada struktur tahan gempa di Indonesia.

Metode Force Based Design

Metode perencanaan bangunan FBD adalah metode perencanaan berbasis gaya yang umum

dipakai saat ini. Metode FBD menggunakan desain ultimit untuk mendapatkan kebutuhan kekuatan struktur yang aman terhadap gempa. Penentuan gaya gempa metode FBD dilakukan menggunakan analisis ekuivalen statik dan analisis respons spektrum (Budiono, 2017). Pada penelitian ini, perencanaan beban gempa metode FBD dilakukan sesuai dengan SNI 1726 (2012).

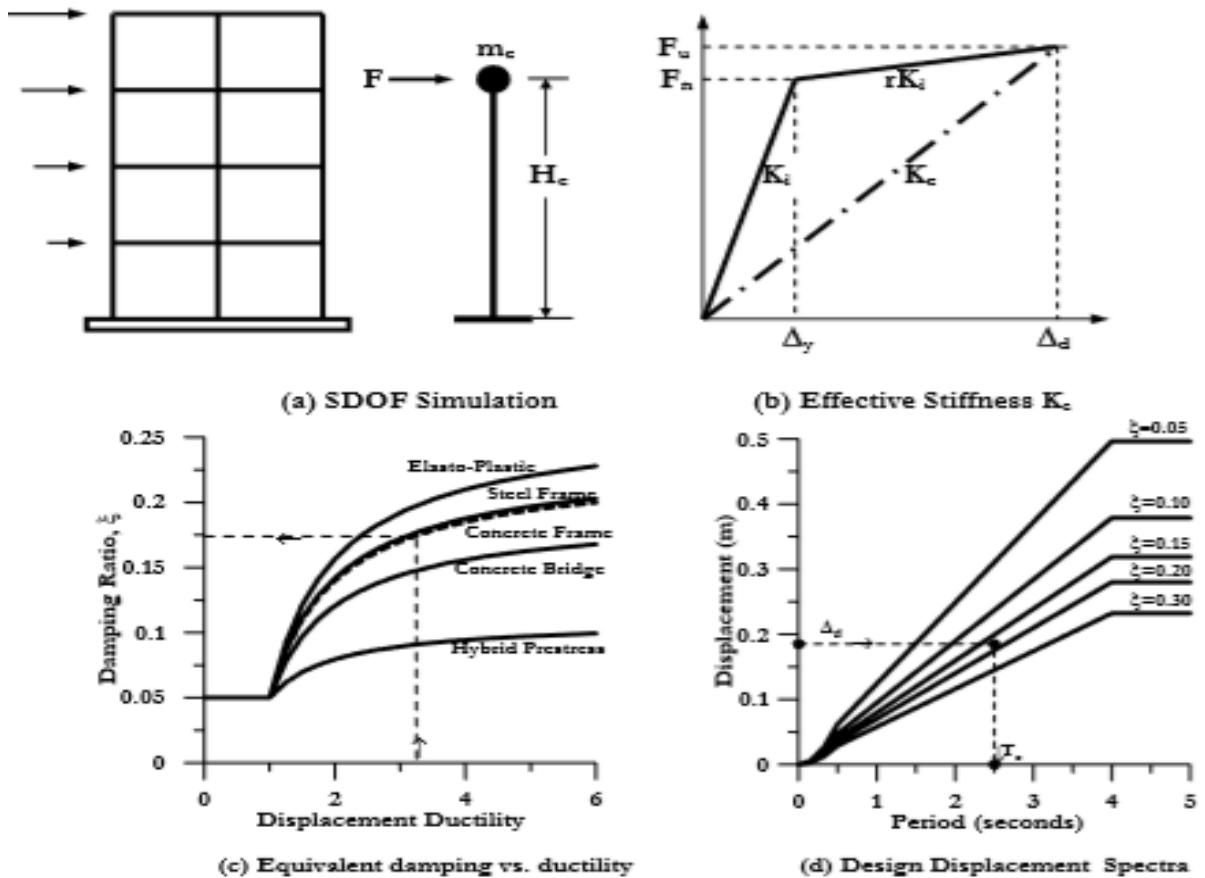
Metode Direct Displacement Based Design

Metode DDBD pertama kali diperkenalkan oleh M.J.N. Priestley pada tahun 1993. Konsep metode DDBD ditunjukkan pada Gambar 1. Pada metode ini, struktur dimodelkan sebagai sistem Single Degree of Freedom (SDOF) seperti pada Gambar 1 (a). Hubungan dari respon gaya perpindahan dari sistem SDOF dapat dilihat pada Gambar 1 (b). Nilai perpindahan maksimum (Δ_d) pada keadaan inelastik maksimum didapatkan menggunakan kekakuan efektif atau secant stiffness (K_e) (Gambar 1 (b)). Tingkat redaman viscous ekuivalen (ξ_{eq}) merupakan gabungan dari redaman elastis awal (ξ_{el}) dan energi histeresis yang diserap selama respon inelastik (ξ_{hyst}) yang nilainya bergantung pada nilai *displacement ductility* dari sistem struktur (Gambar 1 (c)). Pada metode DDBD, digunakan karakteristik struktur pada keadaan inelastis, sehingga respon gempa elastis harus dikonversi ke redaman inelastis dari struktur kemudian diubah menjadi spektra perpindahan untuk mendapatkan nilai periode efektif struktur sistem SDOF (Gambar 1 (d)).

METODE PENELITIAN

Prosedur perhitungan beban gempa metode DDBD menggunakan Persamaan (1) sampai dengan Persamaan (12) untuk mendapatkan gaya geser dasar, yang selanjutnya menggunakan Persamaan (13) untuk mendistribusikan gaya geser tiap lantai.

Menentukan target perpindahan desain SDOF ekuivalen didapat dari mengalikan desain perpindahan tingkat dengan massa tiap tingkat.



GAMBAR 1. Konsep Metode DDBD
(SUMBER: PRIESTLEY ET AL, 2007)

$$\Delta_d = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)} \quad (1)$$

$$\Delta_1 = \theta \times H_1 \quad (2)$$

$$\Delta_i = \delta_i \frac{\Delta_1}{\delta_1} \quad (3)$$

$$n \leq 4, \delta_i = \frac{H_i}{H_n};$$

$$n \geq 4, \delta_i = \frac{4}{3} \left(\frac{H_i}{H_n} \right) \left(1 - \frac{H_i}{4H_n} \right) \quad (4)$$

dimana:

Δ_d = target perpindahan desain SDOF ekuivalen

m_i = massa pada tingkat ke-i

Δ_1 = desain perpindahan lantai 1

Δ_i = desain perpindahan lantai ke-1

θ = simpangan desain sesuai tingkat kinerja rencana

n = jumlah lantai

δ_i = nilai mode shape lantai

H_i = elevasi lantai ke-i

H_n = tinggi total bangunan

Menghitung massa efektif, tingkat efektif, dan daktilitas struktur. Massa efektif (m_e) dan tinggi efektif (H_e) untuk struktur SDOF menggunakan Persamaan (5) dan (6).

$$\mu = \frac{\Delta_d}{\Delta_y} \quad (5)$$

Perpindahan leleh dihitung seperti berikut.

$$\Delta_y = \frac{\sum_{i=1}^n (M_i \theta_{yi})}{\sum_{i=1}^n M_i} \times H_e \quad (6)$$

$$\theta_y = 0,5 \varepsilon_y \frac{L_b}{h_b} \quad (7)$$

Menentukan redaman *Viscous Ekuivalen* (ξ_{eq}) seperti berikut.

$$\xi_{eq} = 0.05 + 0.565 \left(\frac{\mu-1}{\mu\pi} \right) \quad (8)$$

Konversi grafik percepatan respons spectra menjadi grafik spektra perpindahan menggunakan persamaan berikut.

$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} S_a \cdot (g) \quad (9)$$

Nilai spektra perpindahan tersebut masih berupa spektra perpindahan dengan redaman elastis awal (5%) sehingga harus dikoreksi ke tingkat redaman *viscous* ekuivalen dengan faktor koreksi seperti berikut.

$$R_\xi = \left[\frac{0.07}{0.02 + \xi_{eq}} \right]^{1/2} \quad (10)$$

Nilai periode efektif sistem SDOF didapatkan dari grafik spektra perpindahan dengan cara menarik garis secara horisontal dari nilai perpindahan rencana (Δ_d) hingga menyentuh garis grafik spektra perpindahan yang sudah dikoreksi kemudian ditarik garis vertikal ke bawah hingga mendapatkan nilai periode efektif seperti pada Gambar 2.

Kekakuan efektif (K_e) dari struktur SDOF dihitung menggunakan Persamaan

$$K_e = \frac{4\pi^2 m_e}{T_e^2} \quad (11)$$

Gaya geser dasar (V_{base}) seperti berikut.

$$V_{base} = K_e x \Delta_d \quad (12)$$

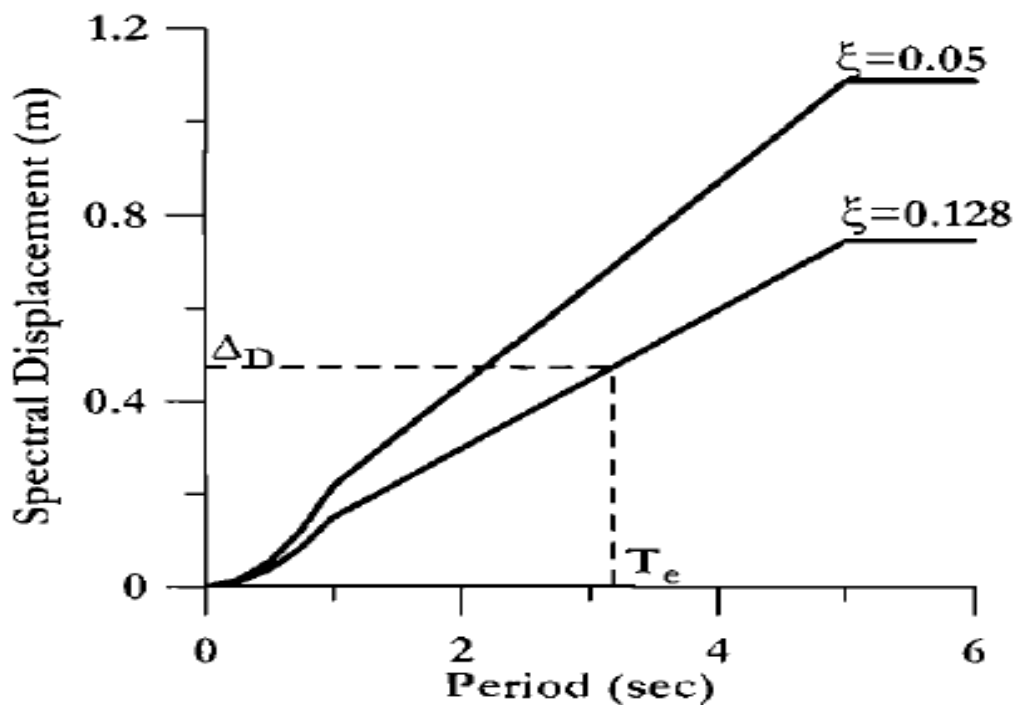
Distribusi gaya geser dasar (F_i) pada tiap tingkat menggunakan persamaan berikut.

$$F_i = F_t + 0.9V_{base} (m_i \Delta_i) / \sum_{i=1}^n m_i \Delta_i \quad (13)$$

Setelah melakukan distribusi gaya geser dasar tiap lantai, maka selanjutnya dilakukan permodelan struktur dengan program ETABS.

Tingkat Kinerja Struktur

Bangunan harus direncanakan mampu menahan gaya gempa dan diijinkan mengalami kerusakan, namun tidak boleh runtuh (Pawirodikromo, 2012; Tavio & Wijaya, 2018). Kinerja struktur merupakan tingkatan performa struktur terhadap gempa rencana yang dapat



GAMBAR 2. Periode Efektif SDOF

(Sumber: Priestley et al, 2007)

diketahui dari tingkat kerusakan pada struktur. *Applied Technology Council* (ATC-40) membagi tingkat kinerja menjadi enam kategori sebagai berikut.

1. *Immediate Occupancy* (IO), SP-1: Bangunan aman saat terjadi gempa, setelah terjadi gempa bangunan tidak mengalami kerusakan berarti, resiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak berarti, dan bangunan dapat segera digunakan kembali setelah terjadi gempa.
2. *Damage Control* (DO), SP-2: Bangunan masih dapat menahan gempa yang terjadi dan resiko korba jiwa sangat kecil.
3. *Life Safety* (LS), SP-3: Bangunan *boleh* mengalami kerusakan akan tetapi struktur utama tidak boleh mengalami keruntuhan dan bangunan dapat difungsikan kembali setelah dilakukan perbaikan struktural maupun non-struktural.
4. *Limited Safety*, SP-4: Merupakan transisi antara tingkat *life safety* dan *structural*

stability, kinerja struktur tidak sebaik *life safety* tetapi juga tidak seburuk *structural stability*.

5. *Structural Stability* (SS), SP-5: Struktur mengalami kerusakan parah hingga hampir mengalami keruntuhan setelah terkena gempa. Struktur sudah tidak mampu menahan gaya lateral.
6. *Not Considered*, SP-6: Struktur sudah mengalami keruntuhan, sudah tidak dapat digunakan lagi, dan hanya dapat dilakukan evaluasi seismik.

Batasan deformasi pada berbagai tingkat kinerja menurut ATC-40 dapat dilihat pada Tabel 1.

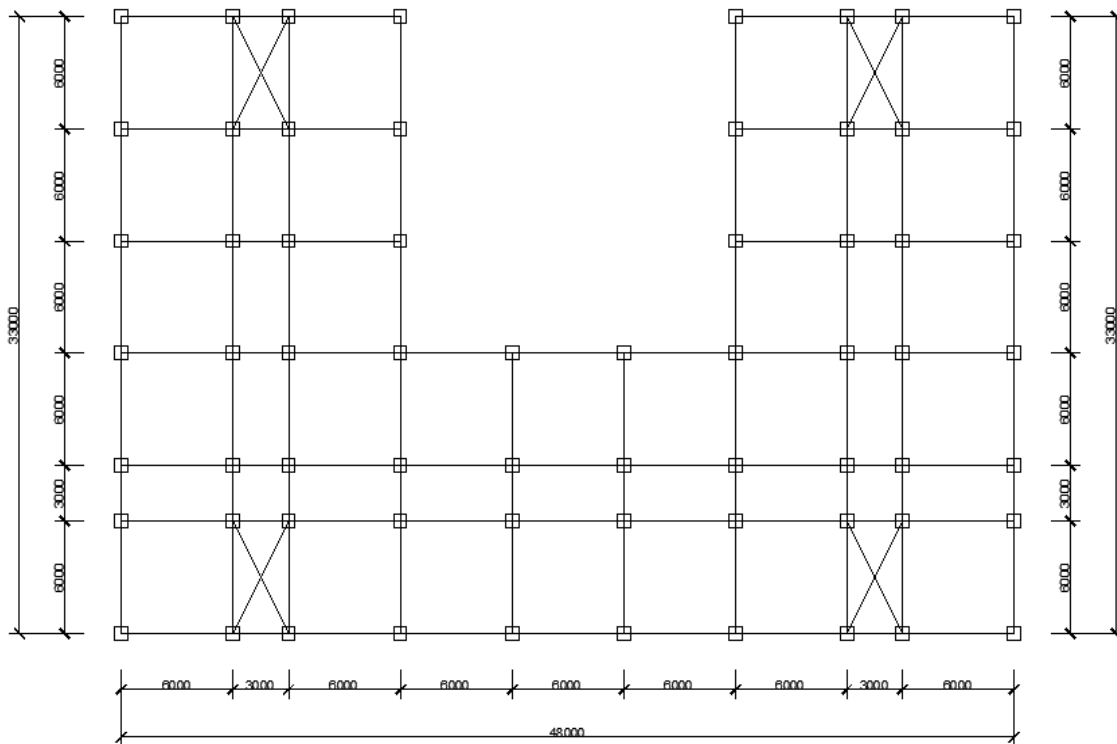
Model Struktur yang Ditinjau

Struktur merupakan bangunan dengan ketidakberaturan sudut dalam berbentuk U. Denah struktur dapat dilihat pada Gambar 3. Peraturan pembebanan yang digunakan mengacu pada SNI 1727 (2013).

TABEL 1. Batasan Deformasi Tingkat Kinerja Struktur

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

(Sumber: ATC-40)



GAMBAR 3. Denah Struktur

Spesifikasi bangunan adalah sebagai berikut.

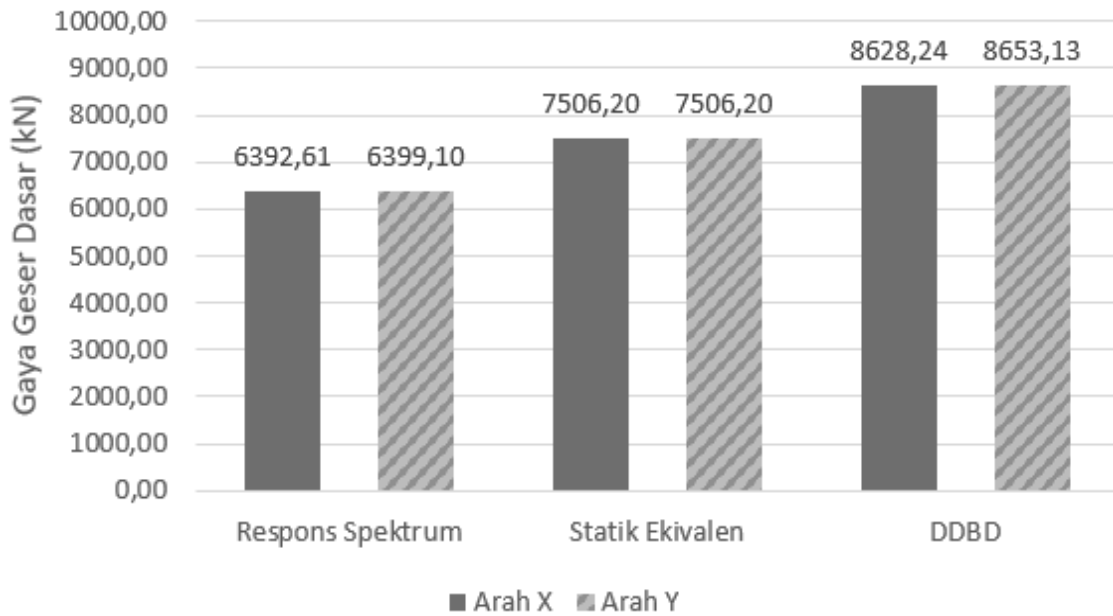
Fungsi bangunan	: Apartemen
Letak bangunan	: Yogyakarta
Jenis tanah	: Tanah Sedang
Jumlah tingkat	: 10
Tinggi antar tingkat	: 3,8 m
Balok bentang 6 m	: 0,4 x 0,6 m
Balok bentang 3 m	: 0,25 x 0,4 m
Kolom K1	: 0,8 x 0,8 m
Kolom K2	: 0,7 x 0,7 m
Tebal Pelat	: 0,15 m

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan Gaya Geser Dasar

Metode DDBD menghasilkan gaya geser dasar terbesar diikuti oleh metode FBD Statik

Ekuivalen, dan metode FBD Respons Spektrum menghasilkan gaya geser dasar paling kecil. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya oleh Zidan dkk. (2016), dimana metode FBD menghasilkan gaya geser dasar yang lebih besar dibanding metode DDBD pada struktur rangka dengan tinggi sampai 30 meter, sedangkan untuk struktur dengan tinggi lebih dari 30 meter gaya geser dasar metode DDBD lebih besar daripada metode FBD, semakin tinggi bangunan maka selisih gaya geser dasar metode DDBD dan metode FBD akan semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa metode DDBD lebih konservatif jika digunakan pada bangunan dengan tinggi lebih dari 30 meter. Gaya geser dasar hasil metode DDBD, FBD Statik Ekuivalen dan FBD Respons Spektrum dapat dilihat pada Gambar 4.

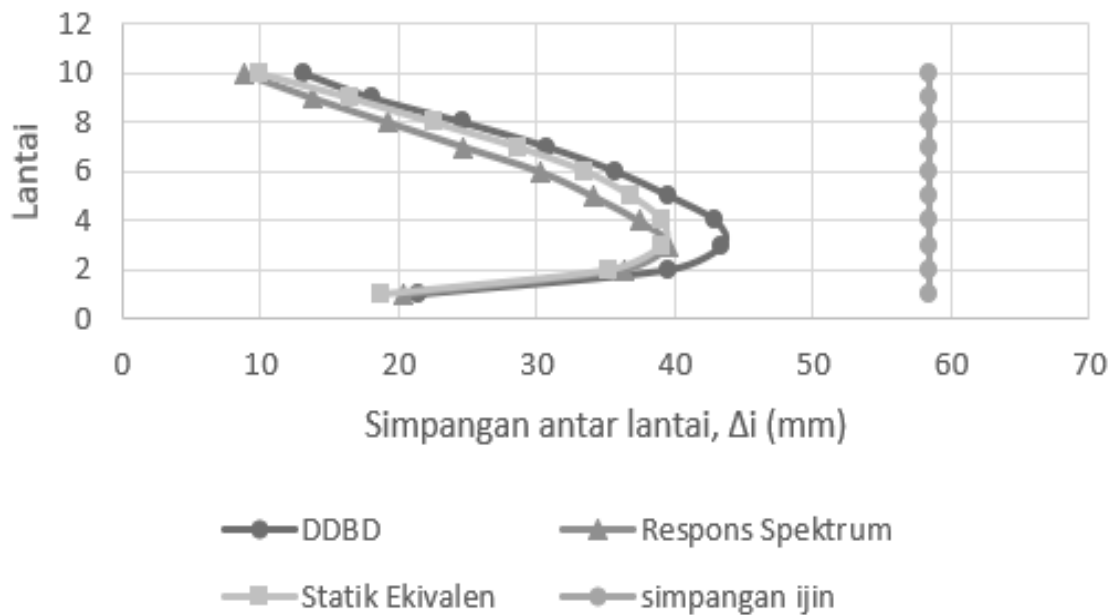


GAMBAR 4. Perbandingan Gaya Geser Dasar

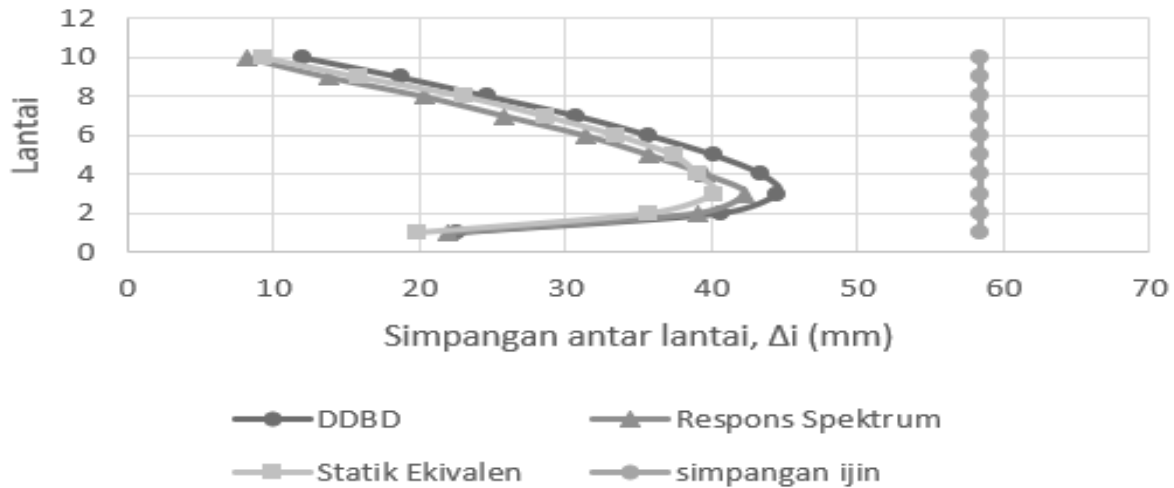
Perbandingan Simpangan Antar Lantai

Menurut SNI 1726 (2012) Pasal 7.8.6, simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan

terbawah yang ditinjau. Perbandingan simpangan metode DDBD, FBD Statik Ekuivalen dan FBD Respons Spektrum dapat dilihat pada Gambar 5 untuk arah x dan Gambar 6 untuk arah y.



GAMBAR 5. Perbandingan Simpangan Antar Lantai Arah X



GAMBAR 6. Perbandingan Simpangan Antar Lantai Arah Y

Dari grafik pada gambar 5 dan 6, baik arah x maupun arah y, simpangan metode DDBD lebih besar dibandingkan metode FBD. Hal ini disebabkan gaya geser dasar metode DDBD lebih besar daripada metode FBD. Simpangan metode DDBD maupun FBD arah x dan arah y tidak ada yang melebihi simpangan ijin sesuai SNI 1726 (2012), sehingga semua metode aman digunakan.

Perbandingan Tulangan Balok dan Kolom

Desain kebutuhan tulangan pokok pada penelitian ini dilakukan sesuai peraturan SNI 2847 (2013). Gaya dalam balok dan kolom yang digunakan untuk menghitung tulangan didapat dari hasil analisis menggunakan ETABS 2013. Hasil perhitungan tulangan lentur pada balok ada pada Tabel 2 dan 3, sedangkan perhitungan tulangan kolom ada pada Tabel 4 dan 5.

Berdasarkan Tabel 2 dan 3, Metode DDBD membutuhkan luas tulangan paling banyak

daripada metode FBD Statik Ekuivalen dan Respons Spektrum. Jika dibandingkan dengan metode FBD Respons Spektrum, metode DDBD membutuhkan tulangan lentur 1,52 kali lebih banyak dari metode Respons Spektrum dan metode FBD Statik Ekuivalen membutuhkan 1,44 kali lebih banyak dari metode Respons Spektrum. Hal ini disebabkan momen yang terjadi pada balok akibat metode DDBD lebih besar daripada metode FBD akibat gaya geser metode DDBD lebih besar daripada metode FBD.

Jumlah tulangan kolom pada tabel 4 dan 5 yang dibutuhkan untuk metode DDBD sama banyak dengan metode FBD. Hal ini dikarenakan gaya aksial kolom yang tidak jauh berbeda pada ketiga metode dan dimensi kolom yang cukup besar sehingga rasio tulangan minimum (1% dari luas penampang kolom) sudah mencukupi kebutuhan tulangan kolom.

TABEL 2. Rekapitulasi Jumlah Tulangan Lentur Balok

Balok	Respon Spektrum		Statik Ekuivalen		DDBD	
	Tulangan Atas	Tulangan Bawah	Tulangan Atas	Tulangan Bawah	Tulangan Atas	Tulangan Bawah
B1	5D22	3D22	6D22	3D22	7D22	4D22
B2	4D22	2D22	5D22	3D22	5D22	3D22
B3	5D22	3D22	6D22	4D22	7D22	4D22
B4	4D22	2D22	5D22	3D22	5D22	3D22

TABEL 3. Rekapitulasi Luas Tulangan Lentur Balok

Balok	Respon Spektrum		Statik Ekuivalen		DDBD	
	Luas Tulangan Atas (mm ²)	Luas Tulangan Bawah (mm ²)	Luas Tulangan Atas (mm ²)	Luas Tulangan Bawah (mm ²)	Luas Tulangan Atas (mm ²)	Luas Tulangan Bawah (mm ²)
B1	1900,664	1140,398	2280,796	1140,398	2660,929	1520,531
B2	1520,531	760,265	1900,664	1140,398	1900,664	1140,398
B3	760,265	1140,398	2280,796	1520,531	2660,929	1520,531
B4	1520,531	760,265	1900,664	1520,531	1900,664	1140,398

TABEL 4. Rekapitulasi Jumlah Tulangan Longitudinal Kolom

Kolom	B (mm)	H (mm)	Jumlah Tulangan		
			Respon Spektrum	Statik Ekuivalen	DDBD
K1	800	800	16D25	16D25	16D25
K2	700	700	12D25	12D25	12D25

Tabel 5. Rekapitulasi Luas Tulangan Longitudinal Kolom

Kolom	B (mm)	H (mm)	Luas Tulangan (mm ²)		
			Respon Spektrum	Statik Ekuivalen	DDBD
K1	800	800	7853,982	7853,982	7853,982
K2	700	700	5890,486	5890,486	5890,486

Perbandingan Tingkat Kinerja Struktur

Setelah dilakukain desain, kinerja struktur dievaluasi dengan *Pushover Analysis*. Hasil *outpur Pushover Analysis* berupa plot kurva spektrum kapasitas dan *demand spectrum* sesuai FEMA 440. Dari plot kurva tersebut didapatkan *displacement* pada saat *performance point*. Nilai *displacement* tersebut kemudian digunakan untuk menentukan tingkat kinerja struktur berdasarkan Tabel Batasan Deformasi ATC-40. Adapun tingkat kinerja struktur dapat dilihat pada Tabel 6.

Tingkat kinerja arah x pada Tabel 6 menunjukkan nilai pada metode FBD Respon Spektrum, FBD Statik Ekuivalen, maupun metode DDBD berada pada kategori *Damage Control* (DO). yang merupakan transisi antara *Immediate Occupancy* (IO) dan *Life Safety* (LS).

Pada kategori *Damage Control*, struktur masih mampu menahan gempa dan resiko korban jiwa sangat kecil. Nilai *drift* yang didapatkan dari metode FBD Respon Spektrum adalah yang paling besar, sedangkan metode DDBD dan FBD Statik Ekuivalen tidak jauh berbeda, *drift* arah x metode DDBD lebih besar 0,0001 dari FBD Statik Ekuivalen dan pada arah y metode DDBD lebih kecil 0,0005 dari metode FBD Statik Ekuivalen. Hal ini menunjukkan kinerja metode DDBD sedikit lebih baik daripada metode FBD Statik Ekuivalen dan metode FBD Respon Spektrum meskipun kinerja semua metode masih dalam kategori *damage control*.

Gaya geser dasar metode DDBD lebih besar dibandingkan metode FBD pada bangunan dengan ketidakberaturan sudut dalam berbentuk U dengan ketinggian 38 m, hal ini menyebabkan gaya dalam balok kolom yang terjadi pada

TABEL 6. Tingkat Kinerja Struktur

Portal	FBD Respons Spektrum				FBD Statik Ekuivalen		DDBD			
	H (m)	δ maks atap (m)	δ total	Tingkat Kinerja	δ maks atap (m)	δ total	Tingkat Kinerja	δ maks atap (m)	δ total	Tingkat Kinerja
Arah X	38	0,5744	0,015	DO	0,5041	0,0133	DO	0,5092	0,0134	DO
Arah Y	38	0,5657	0,015	DO	0,4026	0,0106	DO	0,3788	0,01	DO

struktur yang didesain dengan beban gempa metode DDBD lebih besar daripada metode FBD. Gaya dalam balok yang lebih besar menyebabkan kebutuhan tulangan yang lebih besar pada struktur yang didesain dengan beban gempa metode DDBD. Kebutuhan tulangan yang lebih besar menyebabkan hasil *Pushover Analysis* pada struktur yang didesain dengan beban gempa metode DDBD sedikit lebih baik daripada metode FBD.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian terhadap bangunan apartemen 10 lantai yang memiliki ketidakberaturan horizontal sudut dalam berbentuk U dapat disimpulkan bahwa metode DDBD menghasilkan gaya geser, perpindahan, simpangan antar lantai dan kebutuhan tulangan paling besar. Dibandingkan dengan dua metode yang lain, namun tingkat kinerja yang didapatkan dari ketiga metode sama yaitu *Damage Control* (DO).

DAFTAR PUSTAKA

- Applied Technology Council. 1996. ATC-40, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Volume 1. California.
- Asisi, F., Wilyanto, K., & Muljati, I. (2015). Perbandingan kinerja bangunan yang didesain dengan force based design dan direct displacement based design menggunakan SNI gempa 2012. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 4(1). <http://publication.petra.ac.id/index.php/teknik-sipil/article/view/3011>
- Budiono, B. (2017). *Contoh desain bangunan tahan gempa dengan sistem rangka pemikul momen khusus dan sistem dinding struktur khusus di Jakarta*. Penerbit ITB.
- Ertanto, B.C. (2017). Tinjauan Perancangan Dengan Metode Performance Based Design Untuk Memprediksi Perilaku Inelastik Struktur. Magister Thesis. (Tidak Diterbitkan). Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Yogyakarta.
- Fajfar, P. (1999). Capacity spectrum method based on inelastic demand spectra, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 28, 979-993. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9845\(199909\)28:9%3C979::AID-EQE850%3E3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9845(199909)28:9%3C979::AID-EQE850%3E3.0.CO;2-1)
- Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi teknik dan rekayasa kegempaan*. Pustaka Pelajar.
- Pranata, Y. A. (2007). Studi perencanaan berbasis perpindahan: Metode direct displacement based design studi kasus pada rangka beton bertulang bertingkat rendah. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha*, 7(2), 99-118.
- Priestley, M. J. N. (2000). Performance based seismic design. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 33(3), 325-346. <https://doi.org/10.5459/bnzsee.33.3.325-346>.
- Priestley, M. J. N., Calvi, G. M., & Kowalsky, M. J. (2007). *Displacement based seismic design of structures*. IUSS Press. Italy.
- Purba, R. P., Djauhari, Z., & Survanita, R. (2016). Kinerja struktur gedung beraturan dual system (concrete frame – RC wall

- structures) menggunakan metode direct displacement based design dan capacity spectrum method. *Jom FKTEKNIK UNRI*, 3(2), 1-14. <http://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/10401>
- Soleman, Y. (2006). Kajian Parameter dalam Beberapa Prosedur Desain Metoda Perpindahan untuk Struktur Beton Bertulang. Master Thesis. (Tidak Diterbitkan). Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2012). Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (SNI 1726-2012). Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2013). Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 2847-2013). Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2013). Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727-2013). Badan Standarisasi Nasional.
- Tavio, T., & Wijaya, U. (2018). *Desain rekayasa gempa berbasis kinerja*. Andi Offset.
- Zidan, M. K. M., Rahman, T. M. A., & Korashv, M. (2016). Seismic analysis of buildings using direct displacement based design method. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 13(6), 97-112.
-
- PENULIS:
- Novi Rahmayanti
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
Email: novi.rahmayanti@uii.ac.id
- Havri Yumna Labiba
Alumni Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
Email: hyumna.96@gmail.com