

EVALUASI METODE FBD DAN DDBD PADA SRPM DI WILAYAH 2 DAN 6 PETA GEMPA INDONESIA

Ivan William Susanto¹, Patrik Rantetana², Ima Muljati³

ABSTRAK : *Direct Displacement Based Design* (DDBD) merupakan sebuah metode yang dikembangkan sebagai prosedur baru dalam merencanakan bangunan terhadap gempa, dengan prosedur perencanaan yang lebih singkat dibanding metode perencanaan yang sudah sering digunakan saat ini, yaitu metode *Force Based Design* (FBD). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur kinerja bangunan hasil desain secara DDBD dan kemudian dibandingkan dengan kinerja bangunan FBD, sehingga dapat diverifikasi keandalan dari metode DDBD. Bangunan yang diteliti adalah bangunan 6 lantai di wilayah 2 dan 6 Peta Gempa Indonesia. Kinerja bangunan diuji dengan analisis *dynamic nonlinear time history*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bangunan yang direncanakan secara DDBD menghasilkan kinerja yang tidak jauh berbeda dengan bangunan yang didesain secara FBD. Kebutuhan bahan dari kedua metode juga tidak jauh berbeda. Kedua metode memiliki performa yang baik, akan tetapi hasil DDBD memberikan hasil yang lebih mendekati target.

KATA KUNCI: *force based design, direct displacement based design, performance based design, moment resisting frame.*

1. PENDAHULUAN

Setelah terjadinya serangkaian gempa, baik yang terjadi di Indonesia maupun di negara-negara lain, tuntutan dan kebutuhan akan desain ketahanan struktur bangunan terhadap gempa meningkat. Semakin banyak peneliti yang bergerak di bidang kegempaan demi untuk menjawab kebutuhan-kebutuhan tersebut. Adapun pendekatan-pendekatan yang sudah banyak diaplikasikan selama ini adalah dengan menggunakan metode *Force-Based Design* (FBD). Metode FBD lebih mengarah pada bagaimana menentukan kekuatan yang diperlukan oleh bangunan berdasarkan beban gempa yang terjadi. Kuat perlu yang diperoleh tersebut digunakan untuk mendesain komponen struktural bangunan. Hasil desain akan dikontrol melalui perpindahan maksimum yang diijinkan. Namun metode FBD memiliki kelemahan yaitu mengenai penggunaan konsep daktilitas yang digunakan secara konstan untuk berbagai struktur dan untuk mendapatkan kekakuan struktur akhir dari bangunan seringkali perlu dilakukan iterasi ulang.

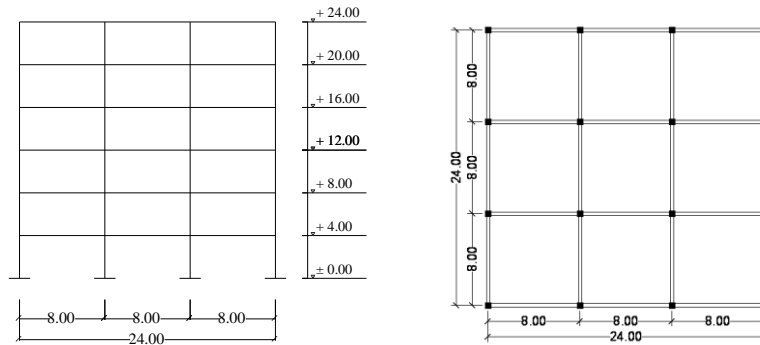
Sekarang ini muncul metode lain selain FBD yaitu *Direct Displacement Based Design* (DDBD) dimana perpindahan menjadi acuan untuk menentukan kekuatan yang diperlukan oleh bangunan terhadap beban gempa rencana. Pada penelitian kali ini akan dibahas mengenai penggunaan metode DDBD dan evaluasi kinerja bangunan Sistem Rangka Pemikul Momen 6 lantai yang didesain dengan FBD dan DDBD berdasarkan kriteria dari standart *Asian Concrete Model Code* (ACMC).

¹ Alumni Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, vaan091@gmail.com.

² Alumni Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, patrik_rantetana@yahoo.com.

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, imuljati@peter.petra.ac.id.

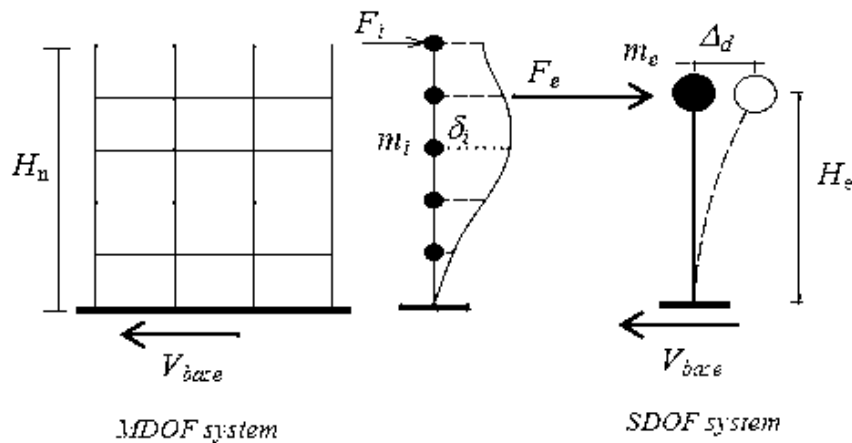
Denah bangunan yang akan ditinjau pada penelitian ini, dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1.Denah Struktur dan Elevasi Bangunan SRPM 6 Lantai yang Ditinjau.

2. PROSEDUR DESAIN DDBD

Langkah 1 : Mendefinisikan target *displacement shape* (Persamaan 1) dan amplitudo dari struktur MDOF pada dasar bangunan sesuai dengan kriteria kinerja desain (*strain* atau *drift limits*) dan dari sana didapatkan *design displacement* (Persamaan 3) dari struktur SDOF pengganti, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Permodelan SDOF dari bangunan bertingkat (Massena et.al, 2012)

Target desain *displacement* setiap lantai Δ_i didapatkan dengan menggunakan *shape vector* dari persamaan 2, berdasarkan skala dari *critical story displacement* Δ_c dan *mode shape at the critical story level* δ_c .

Target *desain displacement* dari setiap lantai didapatkan dari :

$$\Delta_i = \delta_i \left(\frac{\Delta_c}{\delta_c} \right) \quad (1)$$

$$\text{untuk } n \leq 4 : \delta_i = \frac{H_i}{H_n}; \quad \text{untuk } n \geq 4 : \delta_i = \frac{4}{3} \cdot \left(\frac{H_i}{H_n} \right) \cdot \left(1 - \frac{H_i}{4H_n} \right) \quad (2)$$

dimana H_i tinggi tiap lantai, H_n tinggi total bangunan.

Equivalent design displacement didapatkan dari :

$$\Delta_d = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)} \quad (3)$$

dimana m_i massa pada lantai ke-i.

The mass of substitute structure m_e dan tinggi efektif H_e diberikan dengan persamaan:

$$m_e = \left(\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i) / \Delta_d \right) \quad (4)$$

$$H_e = \left(\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i H_i) / \sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i) \right) \quad (5)$$

Langkah 2 : Mengestimasi level dari *equivalent viscous damping* ζ_{eq} . Untuk mendapatkan *equivalent viscous damping* ζ_{eq} harus diketahui terlebih dahulu *displacement ductility* μ dari struktur.

$$\mu = \frac{\Delta_d}{\Delta_y} \quad (6)$$

Yield displacement Δ_y didapatkan dari :

$$\Delta_y = \frac{2M_1 \theta_{y1} + M_2 \theta_{y2}}{2M_1 + M_2} \cdot H_e \quad (7)$$

$$\theta_{y1} = 0.5 \varepsilon_y \frac{L_{b1}}{H_{b1}} \quad (8)$$

$$\theta_{y2} = 0.5 \varepsilon_y \frac{L_{b2}}{H_{b2}} \quad (9)$$

Dimana M_1 dan M_2 adalah momen dari bentang luar dan dalam , θ_y rotasi dari balok , ε_y strain dari tulangan baja, L_b dan H_b adalah panjang dan tinggi balok.

Equivalent viscous damping ζ_{eq} didapatkan dari :

$$\zeta_{eq} = 0.05 + 0.565 \cdot \left(\frac{\mu - 1}{\mu \pi} \right) \quad (10)$$

Langkah 3 : Menentukan *effective period* T_e dari *SDOF structure* pada saat *peak displacement response* dengan menggunakan *design displacement* pada langkah 1 dan *design displacement response spectrum* sesuai dengan damping level yang didapatkan pada langkah 2, ζ_{eq} .

Berdasarkan pada *design displacement Spectrum* maka *effective period* T_e didapatkan dari :

$$\Delta_\xi = R_\xi \times \Delta_d \quad (11)$$

$$R_\xi = \left(\frac{0.07}{0.02 + \xi} \right)^{0.5} \quad (12)$$

$$T_e = \frac{\Delta_d}{\Delta_\xi} T_d \quad (13)$$

dimana T_d adalah *corner period*, Δ_ξ *displacement demand* untuk level dari *equivalent viscous damping* ζ_{eq}

Langkah 4 : Menentukan kekakuan efektif K_e dari SDOF structure dan *design base shear* V_{base} . *Effective stiffness* K_e didapatkan dari :

$$K_e = \frac{4\pi^2 m_e}{T_e^2} \quad (14)$$

Design base shear V_{base} didapatkan dari :

$$V_{base} = K_e \Delta_d \quad (15)$$

Langkah 5 : Mendistribusikan *design base shear* secara vertikal dan horizontal ke elemen-elemen penahan beban lateral.

$$F_i = V_{base} \left(m_i \Delta_i / \sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i) \right) \quad (16)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Berikut ini merupakan tahapan-tahapan penelitian :

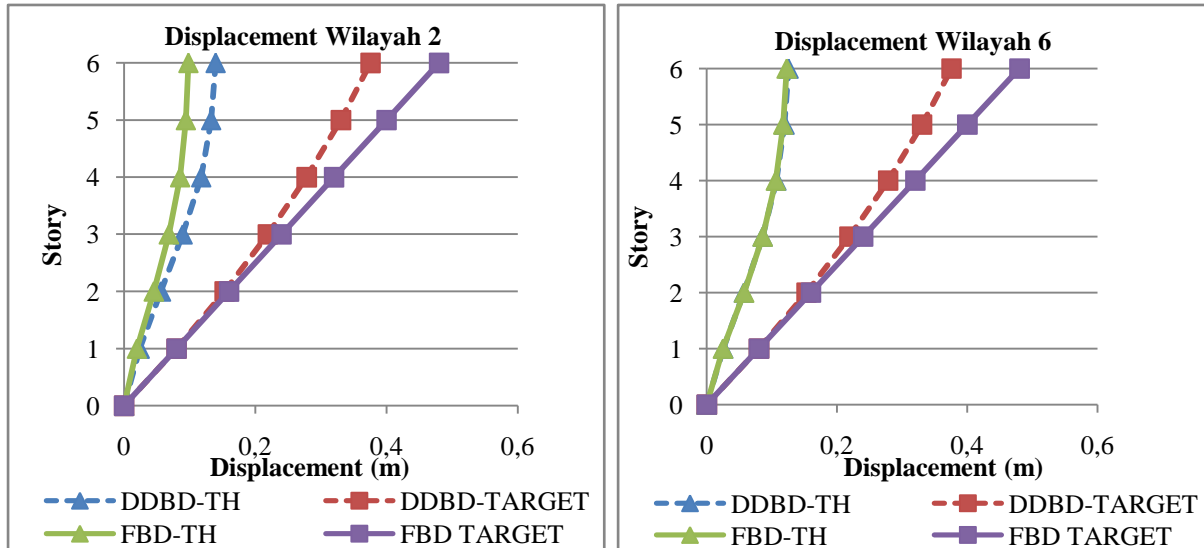
1. Dilakukan desain gempa dengan metode FBD dan DDBD. Bangunan yang didesain dengan FBD dimodelkan dalam program ETABS v9.6 (CSI, 2005), diberikan beban-beban yang terjadi. Sedangkan untuk metode DDBD perhitungan dilakukan seperti yang dijelaskan pada bagian 2.
2. Untuk prosedur FBD dilakukan pemodelan struktur, bangunan dianalisis secara statis dan dihasilkan gaya-gaya dalam berdasarkan 18 kombinasi pembebanan. Tulangan longitudinal balok dan kolom plastis didesain terhadap momen *ultimate*. Tulangan transversal seluruh komponen struktur didesain dengan momen *probable* akibat tulangan terpasang. Desain tulangan tersebut dicek rasio tulangannya sesuai SNI 03-2847-2002. Untuk prosedur DDBD dilakukan desain kapasitas sesuai dengan rekomendasi dari Priestley *et.al* (2007), untuk balok gaya dalam yang terjadi diambil yang terbesar antara gaya gempa dan gravitasi. Sedangkan untuk kolom gaya dalam didapatkan dari balok yang diperbesar dengan faktor omega sesuai dengan syarat-syarat yang sesuai dengan rekomendasi Priestley *et.al* (2007).
3. Verifikasi terhadap struktur berdasarkan analisis dinamis *Time History Nonlinear* dengan gempa periode ulang 500 tahun menggunakan program SAP2000 v11 (CSI, 2007) berupa *displacement*, *drift ratio*, lokasi sendi plastis, dan pola keruntuhan yang terjadi. Hubungan *moment-curvature* untuk balok dan kolom ditentukan dengan program CUMBIA (Montejo, 2007). *Output hinge properties* dari CUMBIA merupakan *input* untuk analisis *time history nonlinear* dengan program SAP2000 v11.

4. HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS

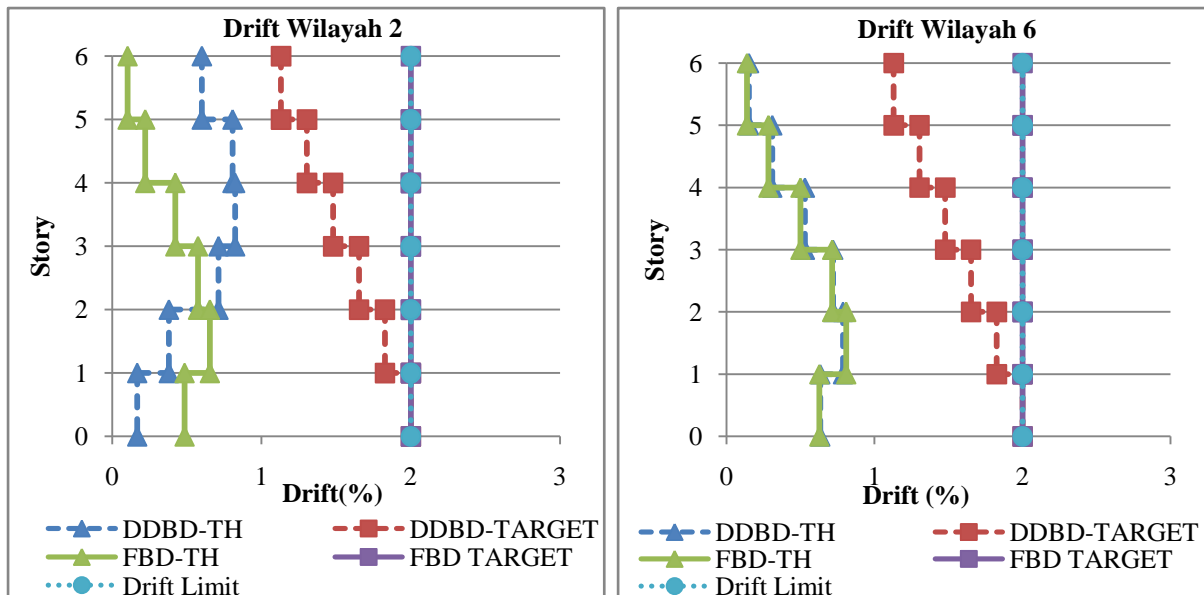
Hasil penelitian berupa verifikasi yang memperlihatkan perbandingan hasil yang diperoleh antara FBD dan DDBD berdasarkan parameter *displacement* dan *drift ratio*.

Displacement dan Drift:

Gambar 3 dan 4 memperlihatkan hasil berupa *displacement* dan *drift* pada metode FBD dan DDBD pada wilayah 2 dan 6. Target *displacement* dan *drift* DDBD merupakan hasil dari perhitungan metode DDBD. Target *displacement* dan *drift* untuk FBD berdasarkan *seismic level* yang *driftnya* dibatasi 2%. Dari Gambar 3 dan 4 terlihat bahwa pada metode FBD (garis solid) perbedaan antara target *displacement/drift* dengan *displacement/drift* yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan metode DDBD (garis putus-putus).



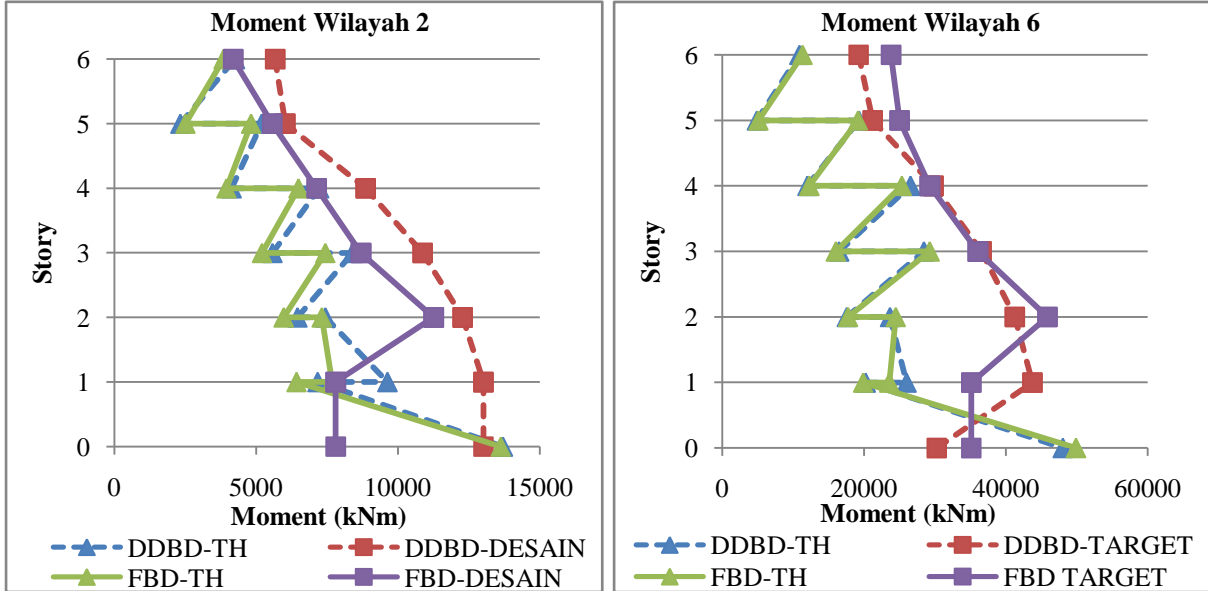
Gambar 3. Grafik Perbandingan *Displacement*



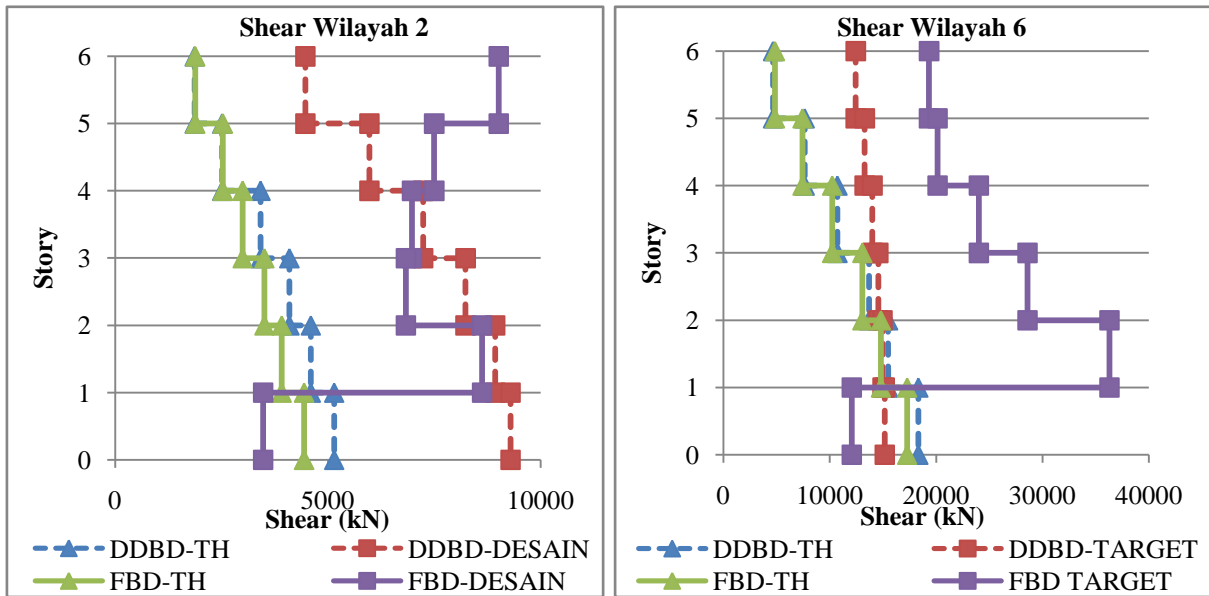
Gambar 4. Grafik Perbandingan *Drift*

Moment dan Shear:

Gambar 5 dan 6 memperlihatkan hasil berupa *moment/shear* pada metode FBD dan DDBD pada wilayah 2 dan 6. Target *moment/shear* FBD dan DDBD merupakan *moment/shear* dari hasil perhitungan metode FBD dan DDBD. Dari Gambar 5 dan 6 terlihat bahwa pada metode FBD (garis *solid*) perbedaan antara target *moment/shear* dengan *moment/shear* yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan metode DDBD (garis putus-putus).



Gambar 5. Grafik Perbandingan *Moment*



Gambar 6. Grafik Perbandingan *Shear*

Tabel 1 memperlihatkan hasil dari daktilitas yang terjadi (μ terjadi) dari analisis *pushover* dibandingkan dengan daktilitas rencana (μ rencana) untuk setiap metode.

Tabel 1. Daktilitas Struktur dari *Pushover* analisis

Metode	Wilayah Gempa	Δu (mm)	Δy (mm)	μ Terjadi	μ Rencana
FBD	Wilayah 2	137	61	2.25	4
	Wilayah 6	140.27	74	1.88	
DDBD	Wilayah 2	91.72	48.83	1.89	1.332
	Wilayah 6	90.45	58.08	1.56	1.807

Matrix Performance:

Tabel 2,3, dan 4 memperlihatkan hasil dari kinerja bangunan berdasarkan standar ACMC yang dianalisis menggunakan analisis *Dynamic Time History Non-linear*.

Tabel 2. Matrix Performance Bangunan Berdasarkan Damage Index (Balok)


Periode Ulang (tahun)	Struktur Bangunan	Performance Level				
		<i>First Yield</i>	<i>Serviceability Limit State</i>	<i>Damage Control Limit State</i>	<i>Safety Limit State</i>	<i>Unacceptable Limit State</i>
		TH	TH	TH	TH	TH
500	FBD-Wil 2	0				
	FBD-Wil 6	0				
	DDBD-Wil 2		0			
	DDBD-Wil 6	0				
<i>Damage Index Maksimum</i>		< 0,1	0,1 - 0,25	0,25 - 0,4	0,4 - 1	> 1

Tabel 3. Matrix Performance Bangunan Berdasarkan Damage Index (Kolom)

Periode Ulang (tahun)	Struktur Bangunan	Performance Level				
		<i>First Yield</i>	<i>Serviceability Limit State</i>	<i>Damage Control Limit State</i>	<i>Safety Limit State</i>	<i>Unacceptable Limit State</i>
		TH	TH	TH	TH	TH
500	FBD-Wil 2	0				
	FBD-Wil 6	0				
	DDBD-Wil 2	0				
	DDBD-Wil 6	0				
<i>Damage Index Maksimum</i>		< 0,1	0,1 - 0,25	0,25 - 0,4	0,4 - 1	> 1

Tabel 4. Matrix Performance Bangunan Berdasarkan Drift Ratio

Periode Ulang (tahun)	Struktur Bangunan	Performance Level			
		Serviceability Limit State	Damage Control Limit State	Safety Limit State	Unacceptable Limit State
		TH	TH	TH	TH
500	FBD-Wil 2		0,653759375		
	FBD-Wil 6		0,80845		
	DDBD-Wil 2		0,82195405		
	DDBD-Wil 6		0,78815		
Drift ratio max (%)		0-0,5	0,5-1	1-2	>2

Keterangan : O = berada pada kisaran nilai tersebut
 = Standar ACMC

Selain itu, disajikan pula kebutuhan bahan (untuk balok daerah tumpuan dan kolom) dari masing-masing bangunan, baik yang didesain secara FBD maupun DDBD. Kebutuhan bahan tersebut dapat dilihat pada **Tabel 5** berikut ini.

Tabel 5. Tabel Kebutuhan Bahan

Wilayah Gempa	Metode	Struktur	Tulangan (kg)	Beton (m ³)
Wilayah 2	FBD	Balok	5223,16	252
		Kolom	1178,43	351,36
	DDBD	Balok	5854,48	252
		Kolom	1261,53	363,36
Wilayah 6	FBD	Balok	14138,44	410,10
		Kolom	2032,41	737,28
	DDBD	Balok	13723,98	410,10
		Kolom	1949,22	737,28

Dari **Tabel 5** dapat dilihat bahwa kebutuhan beton dan besi untuk kedua metode tidak jauh berbeda.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja bangunan beraturan 6-lantai di wilayah 2 dan 6 peta gempa Indonesia yang direncanakan dengan metode FBD dan DDBD disimpulkan bahwa:

1. Kebutuhan bahan untuk beton dan besi tulangan antara kedua metode tidak jauh berbeda.
2. Kedua metode menghasilkan kinerja struktur yang baik. Akan tetapi prosedur DDBD lebih singkat dan sederhana serta memberikan hasil yang lebih mendekati target desain.

6. DAFTAR REFERENSI

- Computer and Structures, Inc. (2005). *ETABS v9.0.7, Extended Three Dimensional Analysis of Building System*. Berkeley, California, USA.
- Computer and Structures, Inc. (2007). *SAP2000 v11, Structural Analysis Program*. Berkeley, California, USA.
- Massena, B., Bento, R., Degee, H. (2012). *Assessment of Direct Displacement-Based Seismic Design of Reinforced Concrete Framei*, 15 WCEE LISBOA, Lisbon.
- Montejo, L. A. (2007). *CUMBIA*. Department of Civil, Construction, and Environmental Engineering. North Carolina State University, North Carolina, USA.
- Priestley, M.J.N, Calvi, G.M, dan Kowalsky, M.J. (2007). *Displacement-Based Seismic Design of Structure*. IUSS Press Pavia.
- SNI 03-1726-2002 (2002). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Rumah dan Gedung..* Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.