

# EVALUASI KINERJA *DIRECT DISPLACEMENT BASED DESIGN* DAN *FORCED BASED DESIGN* PADA *REGULAR FRAME* 12 LANTAI

Kristofer Widjaja<sup>1</sup>, Nancy Weliem<sup>2</sup>, Ima Muljati<sup>3</sup>

**ABSTRAK :** Adanya kelemahan pada metode *Forced Based Design* (FBD) membuat banyak peneliti untuk menemukan metode baru sebagai alternatif desain bangunan. *Direct Displacement Based Design* (DDBD) merupakan sebuah metode yang dikembangkan sebagai alternatif untuk menangani kelemahan dari metode FBD. Prosedur desain pada metode ini juga lebih singkat dibandingkan metode FBD. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja bangunan hasil desain DDBD dan kemudian membandingkannya dengan kinerja bangunan FBD, sehingga dapat dilihat metode mana yang memiliki kinerja lebih unggul. Bangunan yang diteliti adalah bangunan *regular frame* 12 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:** *direct displacement based design, forced based design, regular frame.*

## 1. PENDAHULUAN

Banyaknya kebutuhan akan bangunan menjadi salah satu alasan berkembangnya dunia teknik sipil di dunia. Sangatlah penting untuk diperhatikan dalam mendesain suatu struktur bangunan yang tahan gempa. Metode desain yang diaplikasikan selama ini adalah menggunakan *Forced Based Design* (FBD) yang mengarah pada bagaimana menentukan kuat perlu bangunan berdasarkan beban gempa yang terjadi. Namun metode FBD memiliki kelemahan yaitu mengenai konsep daktilitas yang digunakan secara konstan pada berbagai struktur dan untuk mendapatkan kekakuan struktur akhir dari bangunan seringkali perlu dilakukan iterasi ulang.

Sekarang ini mulai muncul metode baru yaitu *Direct Displacement Based Design* (DDBD) sebagai alternatif untuk mengatasi kelemahan dari FBD. DDBD merupakan metode yang menggunakan perpindahan sebagai acuan untuk menentukan kekuatan yang diperlukan oleh bangunan terhadap beban gempa rencana. Pada penelitian kali ini akan mengevaluasi kinerja *regular frame* 12 lantai yang menggunakan metode DDBD dan FBD.

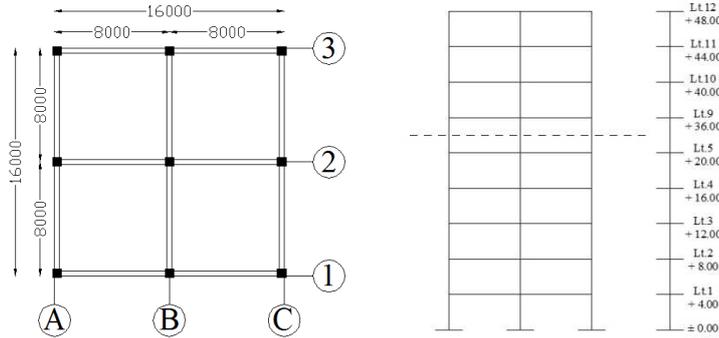
---

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya [kristofer\\_wd@hotmail.com](mailto:kristofer_wd@hotmail.com)

<sup>2</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, [nancy\\_w91@yahoo.com](mailto:nancy_w91@yahoo.com).

<sup>3</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, [imuljati@peter.petra.ac.id](mailto:imuljati@peter.petra.ac.id).

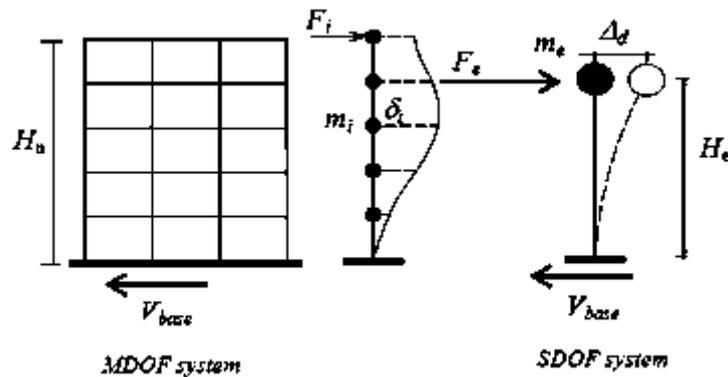
Denah bangunan yang akan ditinjau pada penelitian ini, dapat dilihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1. Denah Struktur dan Elevasi Bangunan Regular Frame 12 Lantai**

## 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 pada **Gambar 2**.



**Gambar 2. Permodelan SDOF dari Bangunan Bertingkat**

Target desain *displacement* setiap lantai  $\Delta_i$  didapatkan dengan menggunakan *shape vector* dari persamaan 2, berdasarkan skala dari *critical story displacement*  $\Delta_c$  dan *mode shape at the critical story level*  $\delta_c$ .

Target *desain displacement* dari setiap lantai didapatkan dari :

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

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

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 :** Mengontrol efek *Higher Mode Drift Amplification* untuk mereduksi *displacement* pada lantai dasar struktur bangunan. Reduksi tersebut dilakukan dengan mengalikan antara nilai *displacement*  $\Delta_i$  pada lantai dasar dengan faktor  $\omega_\theta$ , dapat dilihat pada persamaan :

$$\Delta_{i,\omega} = \omega_\theta \times \Delta_i \quad (6)$$

$$\omega_\theta = 1.15 - 0.034H_n \leq 1.0 \quad (7)$$

dimana  $H_n$  adalah tinggi total bangunan dalam satuan meter.

**Langkah 3 :** Mengestimasi level dari *equivalent viscous damping*  $\xi_{eq}$ . Untuk mendapatkan *equivalent viscous damping*  $\xi_{eq}$  harus diketahui terlebih dahulu *displacement ductility*  $\mu$  dari struktur.

$$\mu = \frac{\Delta_d}{\Delta_y} \quad (8)$$

*Yield displacement*  $\Delta_y$  didapatkan dari :

$$\Delta_y = \frac{2M_1\theta_{y1} + M_2\theta_{y2}}{2M_1 + M_2} \cdot H_e \quad (9)$$

$$\theta_{y1} = 0.5\varepsilon_y \frac{L_{b1}}{H_{b1}} \quad (10)$$

$$\theta_{y2} = 0.5\varepsilon_y \frac{L_{b2}}{H_{b2}} \quad (11)$$

Dimana  $M_1$  dan  $M_2$  adalah momen dari bentang luar dan dalam,  $\theta_y$  rotasi dari balok,  $\varepsilon_y$  *strain* dari tulangan baja,  $L_b$  dan  $H_b$  adalah panjang dan tinggi balok.

*Equivalent viscous damping*  $\xi_{eq}$  didapatkan dari :

$$\xi_{eq} = 0.05 + 0.565 \cdot \left( \frac{\mu - 1}{\mu\pi} \right) \quad (12)$$

**Langkah 4 :** Menentukan periode efektif  $T_e$  dari struktur SDOF 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,  $\xi_{eq}$ .

Berdasarkan pada *design displacement Spectrum* maka periode efektif  $T_e$  didapatkan dari :

$$\Delta_\xi = R_\xi \times \Delta_d \quad (13)$$

$$R_\xi = \left( \frac{0.07}{0.02 + \xi} \right)^{0.5} \quad (14)$$

$$T_e = \frac{\Delta_d}{\Delta_\xi} T_d \quad (15)$$

dimana  $T_d$  adalah *corner period*,  $\Delta_\xi$  *displacement demand* untuk level dari *equivalent viscous damping*  $\zeta_{eq}$ .

**Langkah 5 :** Menentukan kekakuan efektif  $K_e$  dari struktur SDOF dan *Ibeban geser dasar*  $V_{base}$ . Kekakuan efektif  $K_e$  didapatkan dari :

$$K_e = \frac{4\pi^2 m_e}{T_e^2} \quad (16)$$

Dsain beban geser dasar  $V_{base}$  didapatkan dari :

$$V_{base} = K_e \Delta_d \quad (17)$$

**Langkah 6 :** Mendistribusikan desain beban geser secara vertikal dan horizontal ke elemen-elemen penahan beban lateral.

$$F_i = V_{base} \left( m_i \Delta_i / \sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i) \right) \quad (18)$$

**Langkah 7 :** Mengontrol struktur bangunan terhadap efek P- $\Delta$  dengan *stability index*  $\theta_\Delta$ . Kontrol ini akan mempengaruhi desain beban geser dasar  $V_{base}$  yang diterima oleh bangunan. *Stability index*  $\theta_\Delta$  didapatkan dari :

$$\theta_\Delta = P \frac{\Delta_d}{M_d} \quad (19)$$

Apabila *stability index*  $\theta_\Delta$  yang didapatkan dari persamaan 19 bernilai  $\leq 0.1$ , maka nilai desain beban geser dasar  $V_{base}$  dihitung melalui persamaan 17. Jika *stability index*  $\theta_\Delta$  yang didapatkan bernilai  $> 1$ , maka nilai desain beban geser dasar  $V_{base}$  harus dihitung ulang melalui persamaan 20.

$$V_{base} = k_e \Delta_d + C \times P \frac{\Delta_d}{H} \quad (20)$$

dimana C bernilai 0.5 untuk struktur beton, P adalah gaya berat bangunan,  $M_d$  adalah total OTM yang diterima struktur (persamaan 21) dan H adalah tinggi total struktur.

$$OTM = \sum_{j=1}^n F_j (H_j - H_i) \quad (21)$$

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Berikut ini merupakan tahapan-tahapan penelitian :

1. Pada 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).

Pada prosedur FBD dilakukan pemodelan struktur, bangunan dianalisis berdasarkan respons spektrum 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 diperiksa rasio tulangnya sesuai SNI 03-2847-2002.

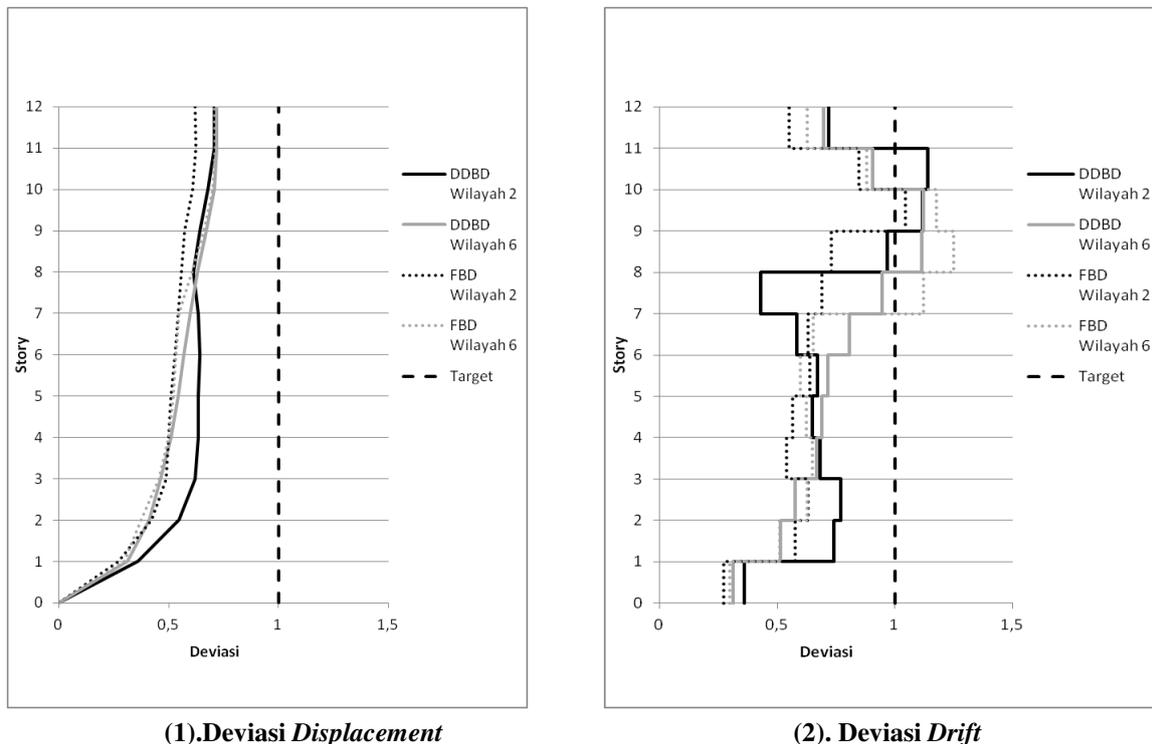
- Evaluasi kinerja struktur berdasarkan analisis dinamis *Time History Nonlinear* dengan gempa periode ulang 500 tahun menggunakan program Seismostruct v.6 berupa *displacement*, *drift*, geser, momen, *damage index*, lokasi sendi plastis. Hubungan *moment-curvature* untuk balok dan kolom ditentukan dengan program CUMBIA (Montejo, 2007). *Output hinge properties* dari CUMBIA merupakan *input* untuk analisis *time history nonlinear* dengan program Seismostruct v.6.

#### 4. HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS

Hasil penelitian berupa deviasi antara hasil *time history analysis* dengan target desain dari metode DDBD dan metode FBD. Parameter yang digunakan terdiri dari *displacement*, *drift*, geser, momen, dan daktilitas. Dari deviasi tersebut dapat ditarik kesimpulan kinerja dari metode mana yang lebih baik.

##### *Displacement dan Drift:*

**Gambar 3** memperlihatkan hasil deviasi *displacement* dan *drift* antara *time history analysis* dengan target desain pada metode DDBD dan FBD pada wilayah 2 dan 6 hasil. Dari **Gambar 3** terlihat bahwa deviasi pada metode DDBD (garis *solid*) memiliki kinerja yang lebih baik dibanding metode FBD (garis titik-titik) karena grafik DDBD lebih mendekati target desain (garis putus-putus).

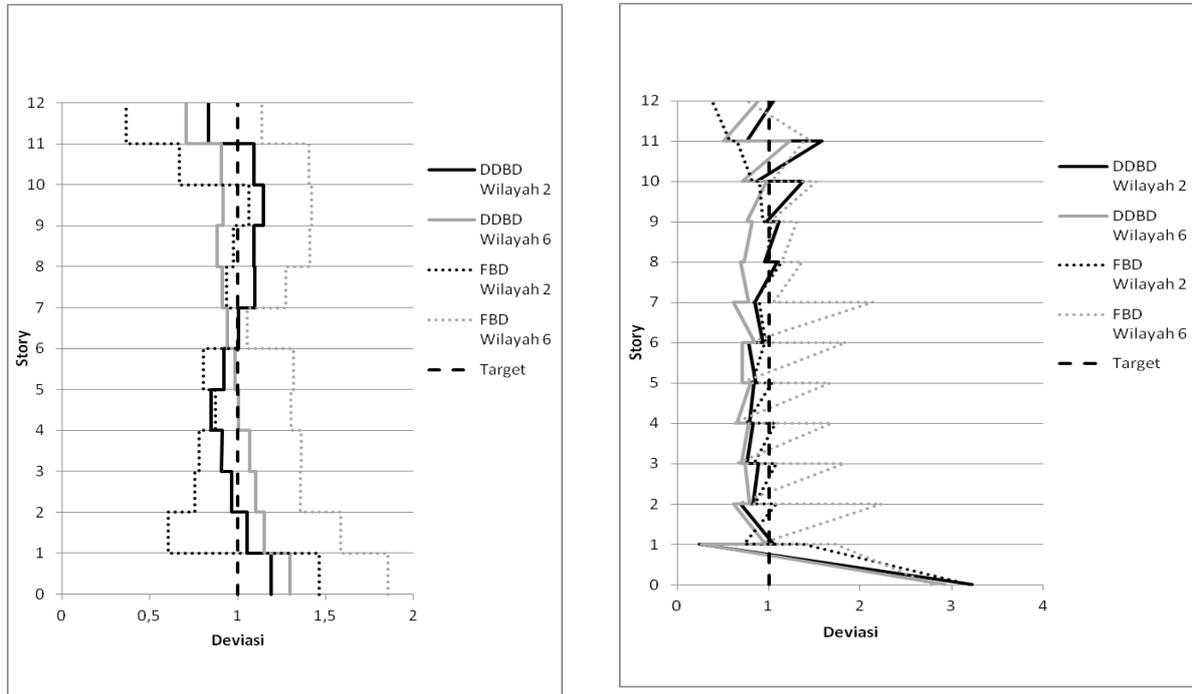


**Gambar 3.** Deviasi *Displacement* dan *Drift*

##### **Geser dan Momen:**

**Gambar 4** memperlihatkan hasil deviasi geser dan momen antara *time history analysis* dengan target desain pada metode DDBD dan FBD pada wilayah 2 dan 6 hasil. Dari **Gambar 4** terlihat bahwa

deviasi pada metode DDBD (garis *solid*) memiliki kinerja yang lebih baik dibanding metode FBD (garis titik-titik) karena grafik DDBD lebih mendekati target desain (garis putus-putus).



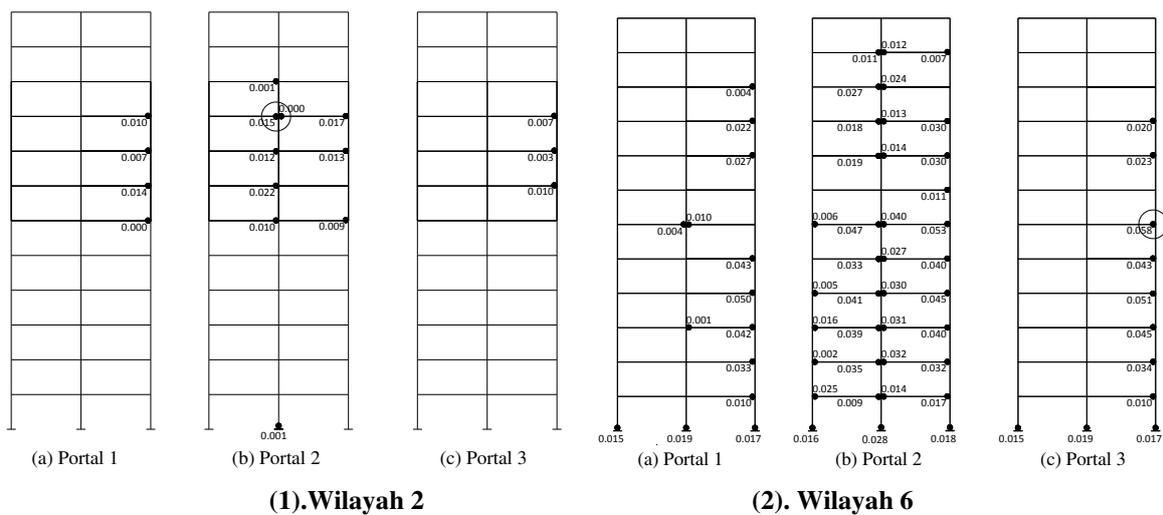
(1).Deviasi Total Geser Kolom

(2). Deviasi Total Momen Kolom

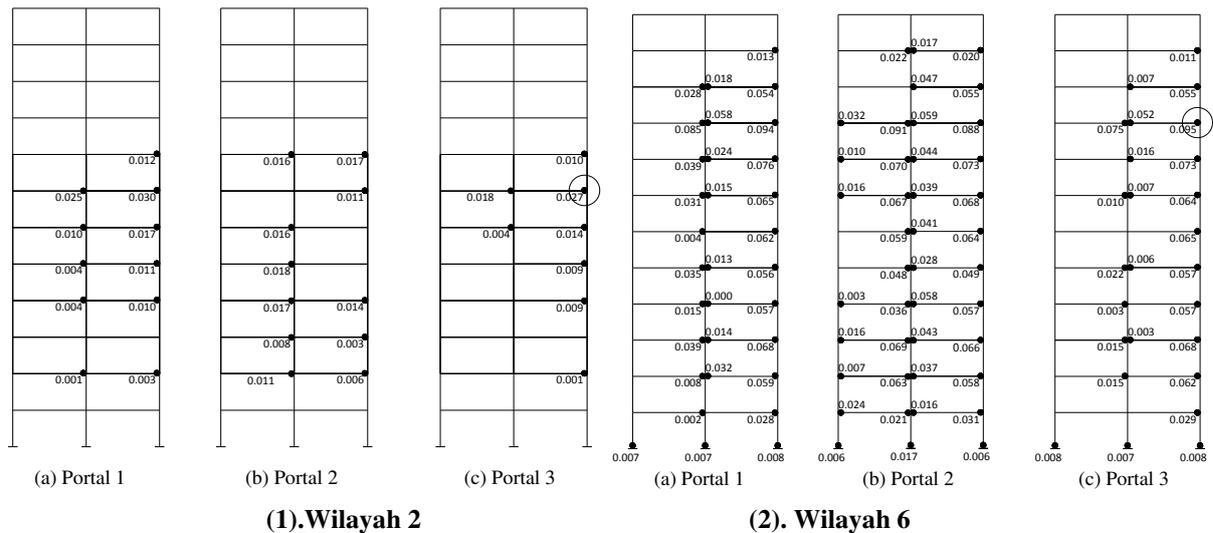
Gambar 4. Deviasi Total Geser dan Momen Kolom

**Damage Index dan Lokasi Sendi Plastis:**

Gambar 5-6 memperlihatkan lokasi sendi plastis dan *damage index* pada struktur *regular frame* 12 lantai dari metode DDBD dan FBD pada wilayah gempa 2 dan 6. Sendi plastis yang dilingkari menandakan *damage index* yang terbesar pada struktur.



Gambar 5. Lokasi Sendi Plastis dan Damage Index DDBD Wilayah 2 dan 6



Gambar 6. Lokasi Sendi Plastis dan Damage Index FBD Wilayah 2 dan 6

**Daktilitas:**

Tabel 1 memperlihatkan hasil dari daktilitas yang terjadi ( $\mu$  terjadi) dari analisis *pushover* dibandingkan dengan daktilitas rencana ( $\mu$  rencana) untuk setiap metode. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa struktur yang didesain dengan menggunakan metode FBD menghasilkan daktilitas yang lebih jauh dari target dibandingkan dengan DDBD.

Tabel 1. Daktilitas Struktur dari *Pushover* Analisis

Metode	Wilayah Gempa	$\Delta_u$ (mm)	$\Delta_y$ (mm)	$\mu$ Terjadi	$\mu$ Rencana
DDBD	Wilayah 2	0.51004	0.36142	1.41122	4
	Wilayah 6	0.51239	0.28966	1.76895	
FBD	Wilayah 2	0.44419	0.30004	1.48041	1.30163
	Wilayah 6	0.51278	0.27411	1.87075	2.23202

**5. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja *regular frame* 12 lantai di wilayah 2 dan 6 peta gempa Indonesia yang direncanakan dengan metode DDBD dan FBD dapat disimpulkan bahwa metode DDBD memiliki hasil kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan FBD dilihat dari parameter *displacement*, *drift*, total geser dan momen kolom, dan daktilitas yang terjadi.

**6. DAFTAR REFERENSI**

Priestley, M.J.N, Calvi, G.M dan Kowalsky, M.J. (2007). *Displacement-Based Seismic Design of Structure*, IUSS Press, Pavia.  
 Departemen Pekerjaan Umum. (2002). *SNI-03-2847-2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.  
 Montejo, L.A. (2007). *CUMBIA*. Department of Civil, Construction, and Environmental Engineering, North Carolina State University, North Carolina.