

STUDI PENENTUAN DIMENSI ELEMEN STRUKTUR PADA SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN BERATURAN YANG DIDESAIN DENGAN METODE *DIRECT DISPLACEMENT BASED DESIGN*

Alvina Surya Wijaya¹, Eunike Yenatan², dan Ima Muljati³

ABSTRAK : Pemilihan dimensi elemen struktur dalam metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD) berperan penting pada efektifitas proses desain dan kinerja bangunan. Studi ini mencoba mengestimasi dimensi balok dan kolom pada sistem rangka pemikul momen beraturan berdasarkan beban gravitasi dan bentang balok, serta rasio tegangan kolom terhadap kokoh tekan beton yang dipergunakan. Dimensi balok dan kolom diambil seragam untuk seluruh struktur. Bangunan yang diteliti terdiri dari 8 varian, bentang 6- dan 8- meter, 6- dan 10-lantai, terletak di wilayah gempa-2 dan -6 Peta Gempa Indonesia, dan direncanakan untuk kondisi *damage control*. Kinerja bangunan yang didesain menggunakan estimasi yang diusulkan dilakukan menggunakan *dynamic nonlinear time history analysis (NLTHA)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dimensi balok tidak dapat disetiasi berdasarkan beban gravitasi karena semua varian menunjukkan lebih didominasi oleh beban gempa. Penelitian ini merekomendasikan tinggi dan lebar balok diambil sebesar 1/11–1/10 kali bentang balok dan sebesar 2/3 kali tinggi balok. Dimensi kolom dapat diperkirakan berdasarkan tegangan penampang sebesar 0.13–0.17 kali kuat tekan beton yang digunakan. Struktur memiliki kinerja yang cukup baik ditinjau dari parameter *storey displacement*, *storey drift*, rata-rata momen dan geser kolom, serta *damage indices*. Seluruh parameter yang dihasilkan dari analisis NLTHA sudah mendekati target perencanaan yang ditentukan. Prosedur desain kapasitas menghasilkan kondisi *strong column weak beam*. Walaupun demikian seluruh ujung atas kolom lantai dasar mengalami pelelehan awal (*first yield*) yang dapat mengarah pada kondisi *soft storey* yang tidak diharapkan. Oleh sebab itu penelitian ini menyarankan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai estimasi dimensi balok dan kolom berdasarkan parameter lainnya agar dihasilkan struktur yang memiliki kinerja yang lebih baik.

KATA KUNCI : *Direct Displacement Based Design*, dimensi balok dan kolom, struktur rangka pemikul momen

1. PENDAHULUAN

Tingginya korban jiwa dan materiil yang dialami akibat bencana gempa menuntut dunia konstruksi untuk memiliki desain ketahanan struktur yang semakin baik. Untuk menghasilkan bangunan tahan gempa, para ahli mulai meneliti metode yang tepat untuk memenuhi kebutuhan ini. Saat ini metode yang sering dipakai adalah metode *Force-Based Design* (FBD).

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, vina.08@hotmail.com

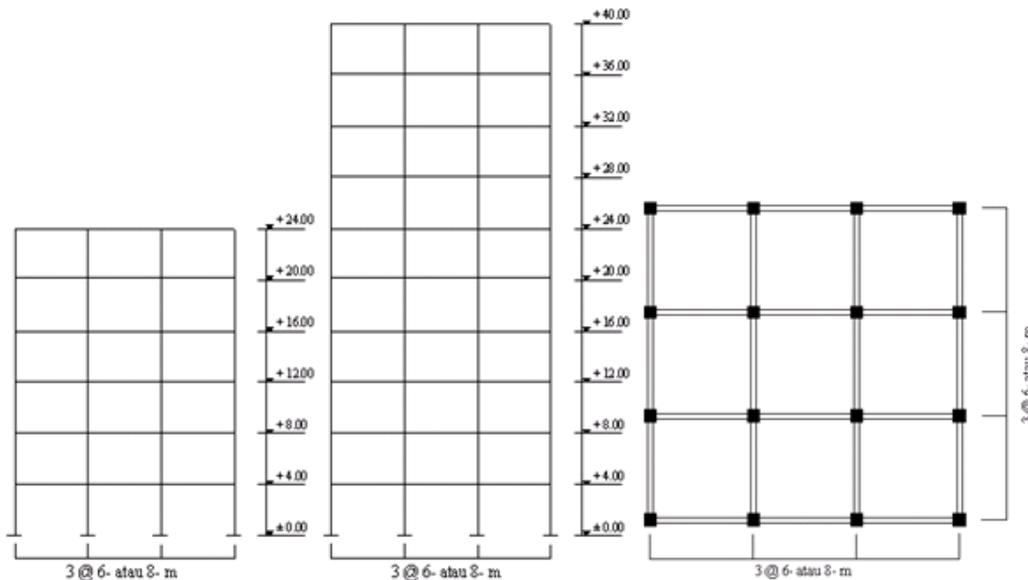
² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, ike92_blue@yahoo.com

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

Dalam prakteknya, ditemukan beberapa kelemahan pada metode ini. Untuk mengatasi permasalahan yang muncul dari penggunaan metode FBD ini, maka sejak tahun 1990-an mulai dikembangkan metode *Displacement Based Design* (DBD). Dari sekian banyak varian DBD, *Direct Displacement Based Design* (DDBD) yang dikembangkan oleh Priestley et al. (2007) menjadi yang paling prospektif untuk dikembangkan.

Penggunaan metode DDBD dalam mendesain bangunan sangat dipengaruhi oleh penentuan dimensi elemen struktur. Pemilihan dimensi yang tidak sesuai dapat menyebabkan proses desain yang berulang. Penelitian ini berusaha untuk mencari parameter pemilihan dimensi yang sesuai sehingga proses perhitungan menggunakan DDBD dapat dilakukan dengan lancar.

Penelitian ini meninjau sistem rangka pemikul momen (SRPM) beraturan 6- dan 10- lantai dengan bentang seragam 6- dan 8-meter, di wilayah gempa 2 dan 6 berdasarkan SNI 03-1726-2002 yang didesain dengan metode DDBD. Denah dan elevasi bangunan yang akan ditinjau pada penelitian ini, dapat dilihat pada **Gambar 1**, sedangkan beberapa parameter varian struktur dapat dilihat pada **Tabel 1**.



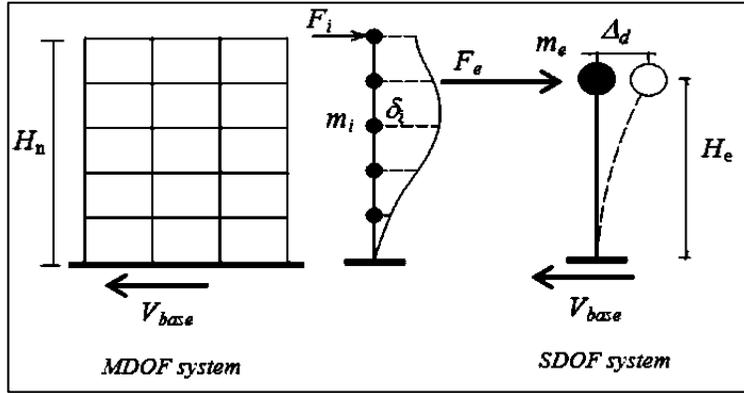
Gambar 1. Elevasi dan Denah Struktur yang Ditinjau

Tabel 1. Varian Struktur yang akan Diteliti

Nama Varian	Wilayah Gempa	Jumlah Lantai	Bentang (m)
2-6-6	2	6	6
2-6-8	2	6	8
2-10-6	2	10	6
2-10-8	2	10	8
6-6-6	6	6	6
6-6-8	6	6	8
6-10-6	6	10	6
6-10-8	6	10	8

2. PROSEDUR DESAIN DDBD

Langkah 1 : Menentukan target *design displacement* (Persamaan 1) dan *drift* struktur MDOF di dasar bangunan yang sesuai dengan kriteria kinerja struktur (*strain* atau *drift limits*) sehingga didapatkan *design displacement* (Persamaan 3) dari struktur SDOF pengganti (**Gambar 2**).



Gambar 2. Permodelan SDOF dari Bangunan Bertingkat

Target *design displacement* setiap lantai didapatkan dari Persamaan 1 berdasarkan *shape vector* yang terdapat pada persamaan 2, pada skala dari *critical story displacement* Δ_c (pada lantai 1) dan *mode shape* pada *critical storey level* δ_c (pada lantai 1 bangunan) :

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

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

dimana n adalah jumlah lantai bangunan, H_i adalah elevasi lantai ke- i , dan 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 .

Massa struktur pengganti m_e dan tinggi efektif H_e dihitung dari persamaan:

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

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

Langkah 2 : Memperkirakan level *equivalent viscous damping* ζ_{eq} , dimana *displacement ductility* μ dari struktur harus diketahui terlebih dahulu sesuai Persamaan 8.

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

Yield displacement Δ_y didapatkan dari :

$$\Delta_y = \theta \theta_y \cdot H_e \quad (7)$$

$$\theta \theta_y = 0.5 \varepsilon_y \frac{L_b}{H_b} \quad (8)$$

dimana $\theta \theta_y$ adalah rotasi dari balok, ε_y adalah strain dari tulangan baja, L_b dan H_b adalah panjang dan tinggi balok.

Equivalent viscous damping ξ_{eq} didapatkan dari :

$$\xi_{eq} = 0.05 + 0.565 \left(\frac{\mu - 1}{\mu \pi} \right) \quad (9)$$

Langkah 3 : Menentukan periode efektif T_e dari struktur SDOF pada saat respons *peak displacement* dengan memakai *design displacement* pada langkah 1 dan respons spectrum *design displacement* sesuai dengan level *damping* pada langkah 3, ξ_{eq} .

Berdasarkan *design displacement spectrum* maka T_e didapatkan dari :

$$R_\xi = \left(\frac{0.07}{0.02 + \xi} \right)^{0.5} \quad (10)$$

$$T_e = \frac{\Delta_d}{\Delta_\xi} T_d \quad (11)$$

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

Langkah 4 : Menghitung kekakuan efektif k_e dari struktur SDOF dan *design base shear* V_{base} .

Kekakuan efektif K_e didapatkan dari :

$$k_e = \frac{4\pi^2 m_e}{T_e^2} \quad (12)$$

Design base shear V_{base} didapatkan dari :

$$V_{base} = k_e \Delta_d \quad (13)$$

Langkah 5 : Membagi *design base shear* secara vertikal dan horizontal ke elemen-elemen penahan beban lateral untuk lantai selain *top roof* sesuai dengan :

$$F_i = 0.9 \times V_{base} (m_i \Delta_i / \sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)) \quad (14)$$

Sedangkan untuk lantai *top roof* didapatkan dengan cara sebagai berikut :

$$F_i = 0.1 \times V_{base} + 0.9 \times V_{base} (m_i \Delta_i / \sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)) \quad (15)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Desain dengan metode DDBD dilakukan langkah-langkah sesuai yang dijelaskan pada bagian 2. Dimensi awal elemen balok ditentukan berdasarkan beban gravitasi dan kolom menggunakan 0.3 kali kuat tekan beton, dimana dimensi balok maupun kolom diseragamkan. Asumsi dimensi awal balok ini tidak dapat digunakan pada beberapa varian karena beban akibat gempa lebih dominan. Begitu pula untuk kolom yang tidak mampu menahan gaya P-M yang terjadi. Oleh karena itu dimensi awal balok diasumsi sebesar 1/12 kali bentang balok dan kolom 0.13-0.17 kali kuat tekan beton.
2. Dalam prosedur DDBD, perhitungan desain kapasitas mengikuti rekomendasi Priestley *et.al* (2007), dimana pengambilan gaya-gaya dalam untuk balok diambil terbesar antara akibat beban gravitasi terfaktor dengan akibat beban gempa murni (Pinto,1997). Sedangkan momen desain kolom didapat dari momen desain balok yang dikalikan faktor-faktor pembesar sesuai persyaratan yang ada.
3. Pengevaluasian kinerja struktur dilakukan dengan analisis dinamis *time history nonlinear* menggunakan program SeismoStruct V.6 dimana *input* beban gempa menggunakan gempa El-Centro 15 April 1940 N-S yang dimodifikasi agar sesuai dengan spektrum respon wilayah 2 dan 6 peta gempa Indonesia. Selain itu, *input* pada program SeismoStruct pada *link properties* berupa hubungan *momen-rotation* didapat dari program CUMBIA (Montejo dan Kowalsky, 2007). Evaluasi dilakukan terhadap hasil *displacement*, *drift ratio*, *shear force*, *moment* kolom, nilai *damage index*, dan mekanisme keruntuhan.
4. Mencari parameter lain yang dapat digunakan untuk mengestimasi dimensi elemen struktur apabila kinerja bangunan yang dihasilkan berdasarkan dimensi diatas masih belum memuaskan dan melakukan kembali langkah di atas.

4. HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS

Setelah dilakukannya analisis dinamis pada bangunan, maka didapatkan hasil untuk metode DDBD terhadap berbagai varian yang diteliti adalah sebagai berikut :

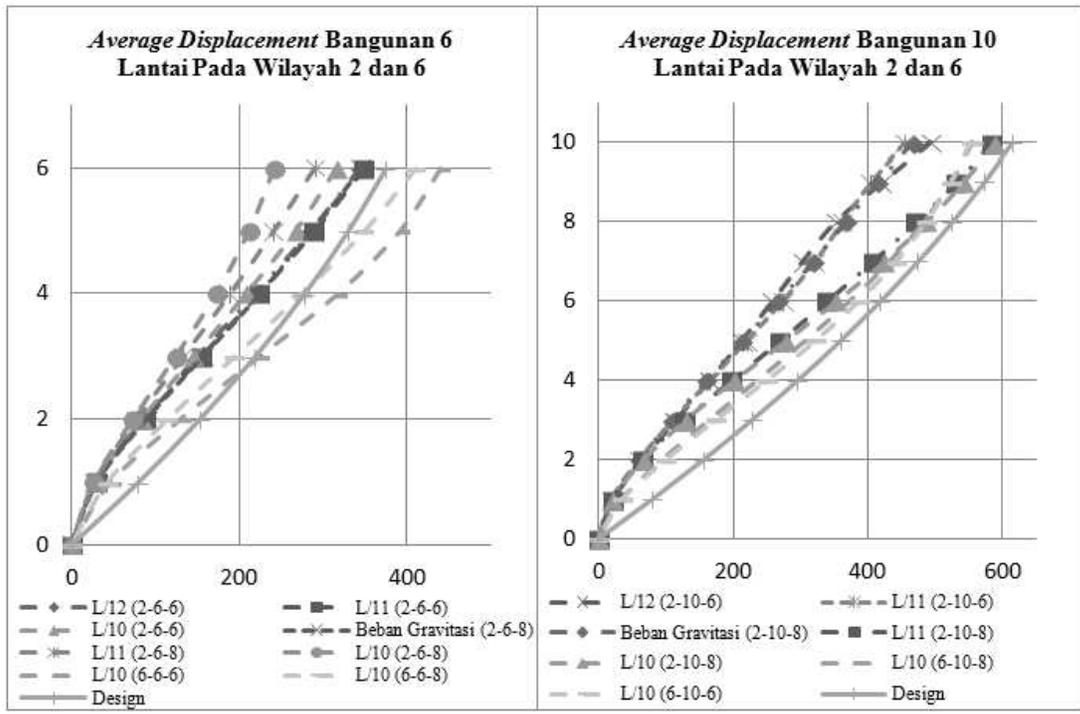
1. *Displacement* dan *drift ratio*

Gambar 3 dan **4** menunjukkan *displacement* dan *drift ratio* untuk berbagai varian. *Displacement target* dari DDBD (Persamaan 3) diperoleh dari perhitungan metode DDBD. *Drift ratio target* dari DDBD adalah *drift ratio* yang terjadi akibat *displacement* yang telah diperoleh dari perhitungan metode DDBD.

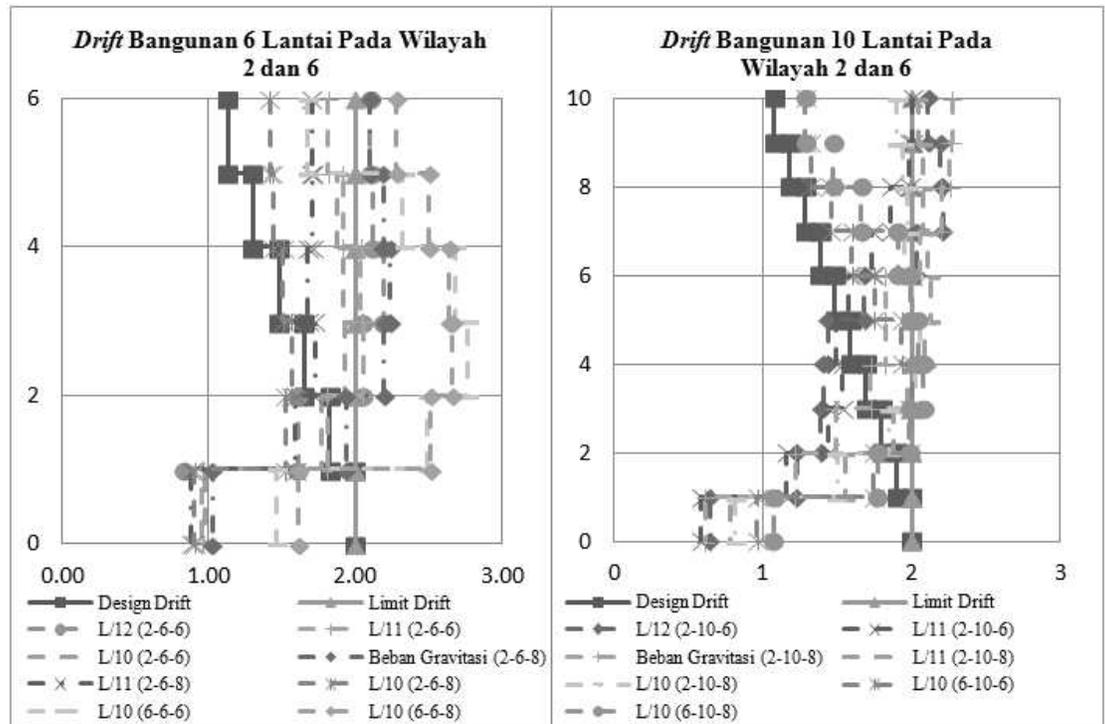
Dapat dilihat bahwa *displacement* terjadi selalu lebih kecil daripada *displacement target* kecuali untuk bangunan 6 lantai yang terletak di wilayah 6. Hasil secara keseluruhan untuk bangunan 6 dan 10 lantai baik untuk wilayah gempa 2 dan 6 dengan menggunakan dimensi balok antara 1/11-1/10 kali bentang balok sudah menghasilkan *drift* yang cukup baik.

Dari hasil grafik *drift ratio*, juga didapatkan bahwa untuk DDBD sebagian besar *drift ratio* yang terjadi lebih besar dari target *design* awal, namun masih belum melebihi *limit drift ratio* 2%.

Beberapa titik yang melewati batas masih dianggap layak karena hanya sedikit lebih besar daripada batas yang sudah ditentukan. Dari grafik **Gambar 4** terlihat dengan jelas bahwa, pemakaian dimensi balok yang semakin besar secara umum akan sangat berpengaruh dalam mengurangi besar *drift* yang terjadi.



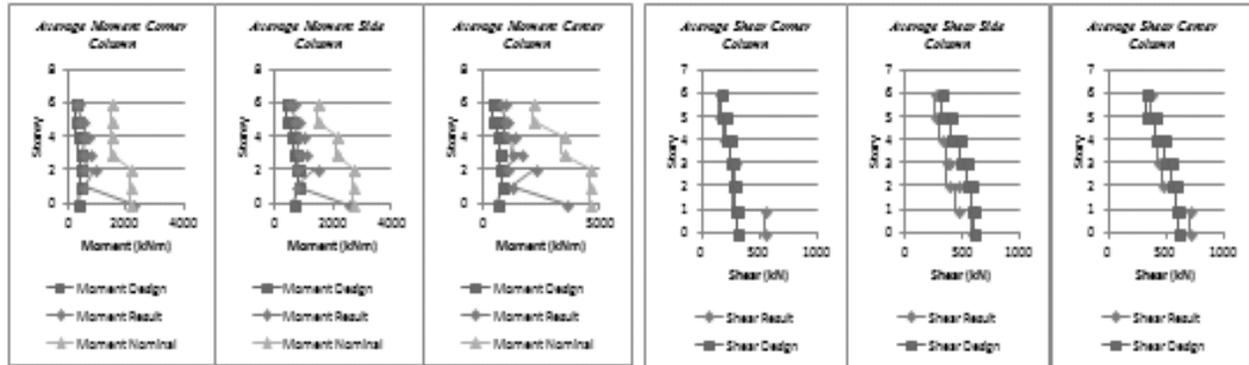
Gambar 3. Grafik Perbandingan Hasil Displacement



Gambar 4. Grafik Perbandingan Drift Ratio

2. Shear dan Moment Kolom

Gambar 5 menunjukkan salah satu contoh grafik *average shear* dan *moment* pada kolom. Hasil tersebut dihasilkan dari bangunan yang mana dimensi balok didesain terhadap parameter bentang balok yang menghasilkan drift terbaik. Untuk contoh ini, diambil dari varian 2-6-6 dengan parameter balok 1/10 kali bentang balok. Hasil selengkapnya untuk varian-varian yang lain dapat dilihat pada Wijaya dan Yenatan (2013).



Gambar 5. Grafik Average Shear dan Moment Kolom

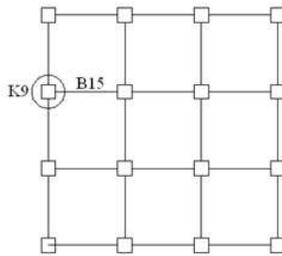
3. Damage Index dan Mekanisme Keruntuhan

Tabel 2 menampilkan kinerja bangunan yang ditinjau dari *damage index* yang terjadi berdasarkan standard *Asian Concrete Model Code* (ACMC, 2001).

Tabel 2. Damage Index Maksimum

Varian	Balok	Kolom Ujung Atas	Kolom Ujung Bawah	Mekanisme Keruntuhan
2-6-6	0.132	0.111	0.05	Semua varian menunjukkan <i>soft storey</i> pada lantai 1 dalam kondisi <i>first yield</i> , sedangkan pada beberapa ujung bawah kolom dalam kondisi <i>serviceability</i>
2-6-8	0.119	0.134	0.064	
2-10-6	0.118	0.064	0.03	
2-10-8	0.175	0.141	0.075	
6-6-6	0.117	0.16	0.05	
6-6-8	0.155	0.234	0.087	
6-10-6	0.064	0.167	0.061	
6-10-8	0.107	0.215	0.068	

Kejadian *soft storey* pada lantai 1 terjadi pada semua varian. Hal ini dapat dijelaskan dengan mengambil contoh varian 2-6-6. Maksimum *Damage Index* yang terjadi pada kolom lantai 1 atas (DI_c) adalah 0.05 dan masih dalam tahap *first yield*, dimana terjadi pada K9 (**Gambar 6**). *DI* maksimum yang terjadi pada balok B15 adalah 0.093 dengan kondisi *first yield*. Dari nilai *DI* maksimum yang terjadi pada balok dan kolom, terlihat bahwa balok B15 memiliki nilai *DI* yang lebih besar dari K9 sehingga kondisi *Strong Column Weak Beam* masih terjaga.



Gambar 6. Lokasi Kolom dengan *Damage Index* Maksimum

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dengan melihat hasil dari evaluasi kinerja struktur terhadap metode DDBD di atas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Estimasi dimensi awal dengan menggunakan beban gravitasi tidak dapat diterapkan dalam metode DDBD, karena pada umumnya beban gravitasi tidak dominan.
2. Tinggi dan lebar balok dapat diestimasi sebesar $1/11 - 1/10$ kali bentang balok dan $2/3$ kali tinggi balok, kecuali untuk bangunan 6 lantai di wilayah 6 yang memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan bangunan lainnya. Sedangkan dimensi kolom dapat diestimasi berdasarkan gaya aksial *tributary* dibagi luas penampang sedemikian sehingga menghasilkan tegangan sebesar 0.13-0.17 dari kuat tekan beton yang digunakan.
3. Mekanisme keruntuhan yang terjadi pada semua varian percobaan ini masih belum menunjukkan hasil yang diinginkan, akibat adanya *soft storey* di lantai 1. Walaupun demikian pelelehan kolom masih dalam tahap *first yield* dan kondisi *Strong Column Weak Beam* masih terjadi.
4. Peneliti menyarankan penelitian lebih lanjut terhadap bangunan 6 lantai terletak di wilayah 6 dan terhadap parameter lain yang dapat dipakai untuk mengestimasi dimensi elemen struktur.

6. DAFTAR REFERENSI

- ACMC 2001. (2001). *Asian Concrete Model Code Level 1 & 2 Documents*. Tokyo: Author.
- Computer and Structures, Inc. (2005). *ETABS v9.6.0, Extended Three Dimensional Analysis of Building System*. Berkeley, California, USA: Author.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2002). SNI-03-2847-2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Montejo, L.A. and Kowalsky, M.J. (2007). *CUMBIA*. Department of Civil, Construction and Environmental Engineering. North Carolina State University, USA : North Carolina.
- Pinto, P.E. (1997). *Seismic Design of RC Structures for Controlled Inelastic Response*, CEB Bulletin No.236, Comite Euro-International du Beton, Lausanne, Switzerland.
- Priestley, M.J.N, Calvi, G.M and Kowalsky, M.J. (2007). *Displacement- Based Seismic Design of Structure*. IUSS Press. Pavia.
- SeismoSoft, *SeismoStruct – A Computer Program for Static and Dynamic Nonlinear Analysis of Framed Structure*, <<http://www.seismosoft.com>> (2007)
- Wijaya, A. S. dan Yenatan, E. (2013). *Studi Penentuan Dimensi Elemen Struktur pada Sistem Rangka Pemikul Momen Beraturan yang Didesain dengan Metode Direct Displacement Based Design*. Tugas Akhir No. 1101 1875/SIP/2013. Program Studi Teknik Sipil. Universitas Kristen Petra. Surabaya.