

# PENGARUH DILATASI PADA BANGUNAN DENGAN KETIDAKBERATURAN SUDUT DALAM YANG DIDESAIN SECARA *DIRECT DISPLACEMENT-BASED*

Aditya Hendratha<sup>1</sup>, Teodorus Adi Nugraha<sup>2</sup>, Ima Muljati<sup>3</sup>

**ABSTRAK:** Metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD) telah banyak digunakan di Eropa dalam desain bangunan yang tahan gempa dan menunjukkan kinerja yang baik, untuk bangunan beraturan maupun tidak beraturan. Khusus pada bangunan tidak beraturan, dapat dilakukan dilatasi agar didapatkan perilaku yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dilatasi pada bangunan dengan ketidakberaturan sudut dalam yang direncanakan secara DDBD. Bangunan perkantoran 6- dan 10-lantai akan digunakan sebagai studi kasus, dan direncanakan terhadap resiko gempa rendah (kota Surabaya) dan tinggi (kota Jayapura) di Indonesia. Bangunan direncanakan dalam dua skenario, yaitu tanpa dan dengan dilatasi. Kinerja bangunan yang dihasilkan (*drift* dan *damage index*) akan diuji dengan melakukan analisis *time history*. Hasil verifikasi dari penelitian ini menunjukkan bahwa opsi dilatasi menghasilkan kinerja yang baik dan lebih efisien dari segi penggunaan bahan, namun tidak disarankan untuk digunakan pada ruang lingkup bangunan penelitian ini karena adanya selisih perpindahan kolom pada bagian dilatasi yang dinilai terlalu besar.

**KATA KUNCI:** *direct displacement based design*, ketidakberaturan sudut dalam, dilatasi, *time history*.

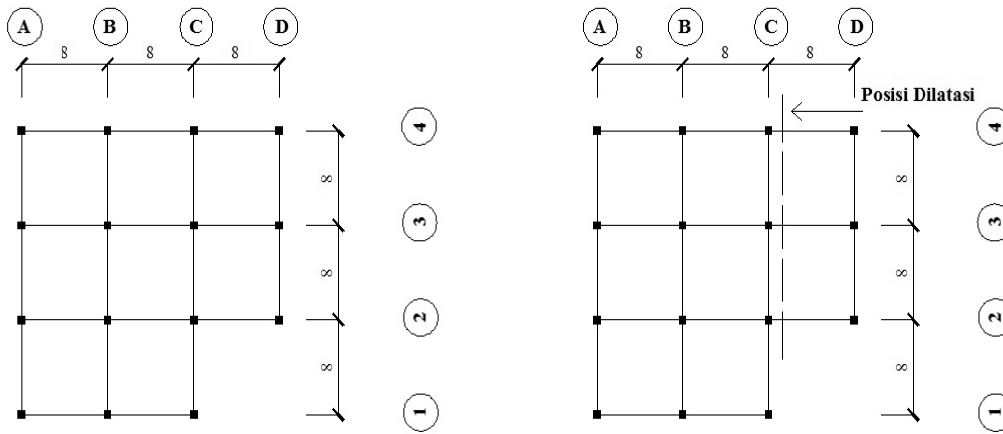
## 1. PENDAHULUAN

Penelitian sebelumnya yang dilakukan Wijaya dan Wijaya (2013) telah mengujicobakan metode DDBD pada bangunan dengan ketidakberaturan sudut dalam yang berukuran kecil dan menghasilkan kinerja struktur yang baik. Penelitian kali ini akan mengevaluasi kinerja metode DDBD pada bangunan dengan ketidakberaturan sudut dalam yang berukuran lebih besar dan dicoba dengan menggunakan dilatasi. Dilatasi dilakukan dengan harapan perilaku bangunan lebih baik dan terhindar dari torsi. Dalam penelitian ini ditinjau bangunan 6- dan 10-lantai (*re-entrant corner* 33,33%) di kota Surabaya (resiko gempa rendah) dan kota Jayapura (resiko gempa tinggi) berdasarkan SNI 1726-2012 dengan bentang 8-meter dan tinggi antar lantai 4-meter yang di desain secara DDBD menurut 2 skenario. Skenario A adalah struktur bangunan tanpa dilatasi, B adalah struktur bangunan dengan dilatasi berupa konsol pada satu bagian bangunan. Untuk memperjelas struktur bangunan yang akan ditinjau, denah struktur dapat dilihat pada **Gambar 1**.

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, [adit8055@gmail.com](mailto:adit8055@gmail.com)

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

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



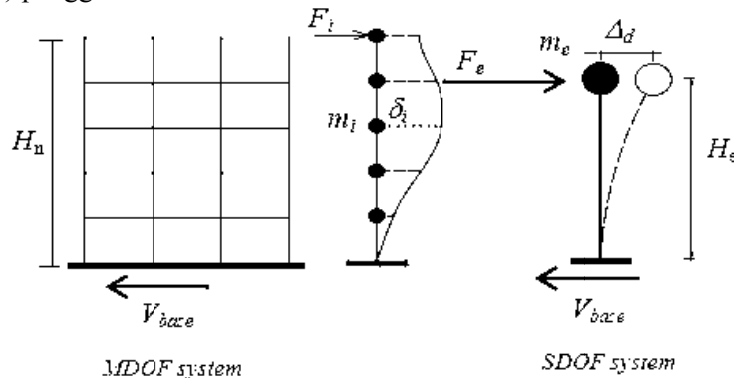
a. Skenario A

b. Skenario B

Gambar 1. Denah Struktur Bangunan yang Ditinjau, 6- dan 10-Lantai

## 2. PROSEDUR DESAIN DDBD

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



Gambar 2. Permodelan SDOF dari Bangunan Bertingkat

Target *design displacement* setiap lantai didapatkan dari Persamaan 1 berdasarkan *shape vector* yang terdapat pada Persamaan 2, proporsional terhadap *critical story displacement*  $\Delta_c$  dan *mode shape* pada *critical storey level*  $\delta_c$  (pada lantai 1 bangunan):

(1)

untuk  $n \leq 4$  : — ; untuk  $n \geq 4$  : - - - - -

(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 :

(3)

dimana  $m_i$  massa pada lantai ke- $i$ .

Massa struktur pengganti  $m_e$  dan tinggi efektif  $H_e$  dihitung dengan:

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

(4)

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

(5)

**Langkah 2 :** Mengontrol *target design displacement*  $\Delta_i$  setiap lantai terhadap *higher mode effect*. Kontrol yang dilakukan adalah memodifikasi nilai *target design displacement*  $\Delta_i$  dengan nilai amplifikasi  $\omega_\theta$  dengan ketentuan seperti pada Persamaan 7.

$$\Delta_{i,\omega} = \omega_\theta \times \Delta_i$$

(6)

$$\omega_\theta = 1,15 - 0,0034H_n \leq 1,0$$

(7)

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

**Langkah 3 :** Memperkirakan level *equivalent viscous damping*  $\zeta_{eq}$ , dimana *displacement ductility*  $\mu$  dari struktur harus diketahui terlebih dahulu sesuai Persamaan 8.

$$\mu = \frac{\Delta_d}{\Delta_y}$$

(8)

*Yield displacement*  $\Delta_y$  didapatkan dari :

$$\Delta_y = y \cdot H_e$$

(9)

$$y = 0,5 \varepsilon_y \frac{L_b}{H_b}$$

(10)

dimana  $y$  adalah rotasi dari balok,  $\varepsilon_y$  adalah *strain* dari tulangan baja,  $L_b$  dan  $H_b$  adalah panjang dan tinggi balok.

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

$$\zeta_{eq} = 0,05 + 0,565 \cdot \left( \frac{\mu - 1}{\mu \pi} \right)$$

(11)

**Langkah 4 :** 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,  $\zeta_{eq}$ .

Berdasarkan *design displacement spectrum* maka  $T_e$  didapatkan dari :

$$R_\xi = \left( \frac{0,07}{0,02 + \xi} \right)^{0,5}$$

(12)

$$T_e = \frac{\Delta_d}{\Delta_\xi} T_d$$

(13)

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

**Langkah 5 :** Menghitung kekakuan efektif  $k_e$  dari struktur SDOF dan *design base shear*  $V_{base}$ .

Kekakuan efektif  $K_e$  didapatkan dari :

$$k_e = \frac{4\pi^2 m_e}{T_e^2}$$

(14)

*Design base shear*  $V_{base}$  didapatkan dari :

$$V_{base} = k_e \Delta_d$$

(15)

**Langkah 6 :** Membagi *design base shear* secara vertikal dan horizontal ke elemen-elemen penahan beban lateral untuk lantai selain *top roof* dengan cara :

$$F_i = 0,9 \times V_{base} (m_i \Delta_i / \sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i))$$

(16)

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

$$F_i = 0,1 \times V_{base} + 0,9 \times V_{base} (m_i \Delta_i / \sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i))$$

(17)

**Langkah 7 :** Mengontrol struktur terhadap P- $\Delta$  *effect* melalui *stability index*  $\theta_{\Delta}$ . Kontrol yang dilakukan berdampak kepada *design base shear*  $V_{base}$  yang diterima oleh bangunan. *Stability index*  $\theta_{\Delta}$  didapatkan melalui :

$$\Delta = P \frac{\Delta_d}{M_d} \quad (18)$$

Jika *stability index*  $\theta_{\Delta}$  yang didapatkan bernilai  $\leq 0,1$ , maka nilai *design base shear* sama dengan  $V_{base}$ . Jika *stability index*  $\theta_{\Delta}$  yang didapatkan bernilai  $> 1$ , maka nilai *design base shear*  $V_{base}$  harus dihitung ulang melalui Persamaan 19.

$$V_{base} = k_e \Delta_d + C \times P \frac{\Delta_d}{H}$$

(19)

dimana C bernilai 0,5 untuk struktur beton, P adalah gaya berat bangunan,  $M_d$  adalah total *Over Turning Moments* (OTM) yang diterima struktur, dan H adalah tinggi total struktur.

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

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

1. Prosedur DDBD dilakukan pada kedua skenario bangunan hingga didapatkan gaya dasar  $V_{base}$ . Selanjutnya  $V_{base}$  didistribusikan ke masing-masing lantai secara proporsional menurut gaya inersia.
2. Pada skenario B, bangunan dibagi menjadi dua yaitu Bangunan Besar dan Bangunan Kecil (bangunan sayap yang dilatasi). Pada Bangunan Kecil perhitungan massa hanya diambil setengah dari massa total bangunan dengan setengah massa sisanya masuk sebagai tambahan massa Bangunan Besar dalam perhitungan gaya geser gempa. Sedangkan pada skenario A, massa bangunan yang diambil adalah penuh.
3. Pada ke dua skenario, dilakukan 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.
4. Pengevaluasian kinerja struktur dilakukan dengan analisis dinamis *time history nonlinear* menggunakan program SeismoStruct V.6 (SeismoSoft) dimana *input* beban gempa menggunakan gempa El-Centro 15 April 1940 N-S yang dimodifikasi sesuai dengan wilayah beresiko gempa rendah dan tinggi di Indonesia. Selain itu, *input* pada program SeismoStruct pada *link properties* berupa hubungan *momen-rotation* didapat dari program CUMBIA (Montejo & Kowalsky, 2007). Evaluasi dilakukan terhadap hasil *drift ratio*, lokasi sendi plastis, nilai *damage index*, dan selisih *displacement* bangunan besar dan kecil skenario B.

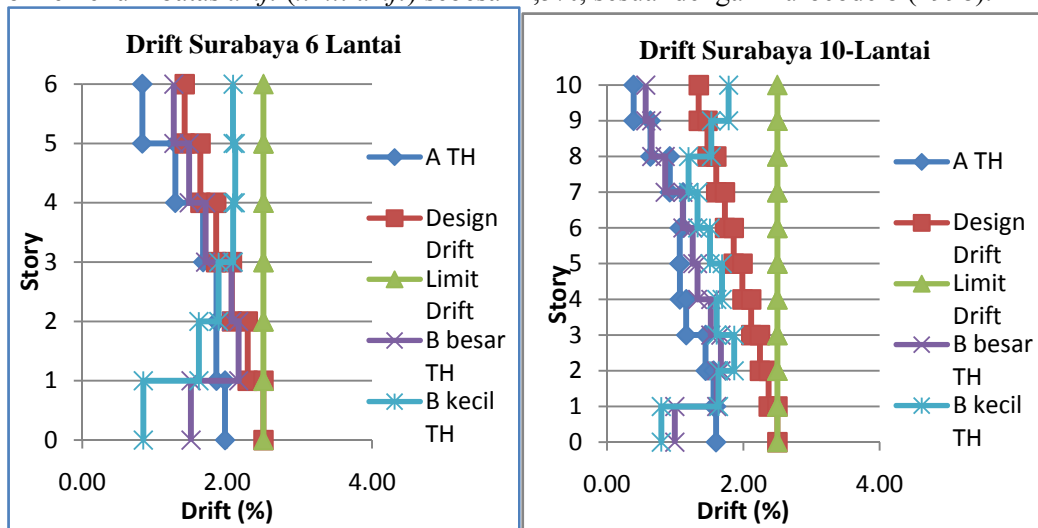
### 4. HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS

Analisis dinamis non linier riwayat waktu memberikan hasil sebagai berikut :

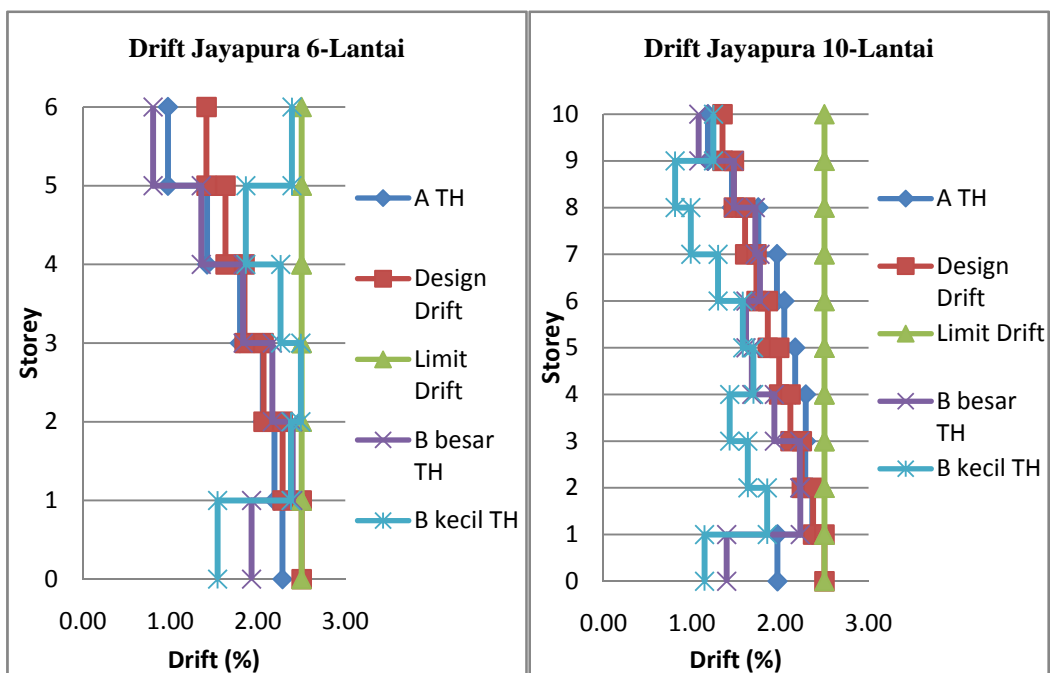
#### 4.1 Drift ratio

Dapat dilihat pada **Gambar 3** dan **Gambar 4** hasil dari *drift ratio* pada kota Surabaya dan Jayapura untuk skenario A (A TH) dan B (B Besar TH dan B Kecil TH). Hasil ini kemudian dibandingkan

dengan *drift design* yang sudah ditentukan (*design drift*). *Drift ratio* yang dihasilkan oleh semua skenario memenuhi batas *drift* (*limit drift*) sebesar 2,5%, sesuai dengan Eurocode 8 (1998).



a. 6-Lantai  
b. 10-Lantai  
Gambar 3. Grafik Perbandingan Hasil *Drift Ratio* Kota Surabaya



a. 6-Lantai  
b. 10-Lantai  
Gambar 4. Grafik Perbandingan Hasil *Drift Ratio* Kota Jayapura

*Drift ratio* yang baik dihasilkan oleh bangunan skenario A untuk kota Jayapura, dan bangunan besar untuk kota Surabaya. Hasil *drift ratio* dianggap baik karena *drift* yang dihasilkan mendekati *design drift*. Untuk bangunan lainnya, hasil *drift* kurang mendekati *design drift* sehingga secara umum tidak dapat ditarik kesimpulan skenario mana yang menghasilkan kinerja lebih baik.

#### 4.2 Damage Index

Kinerja bangunan dinilai dari *damage index* yang terjadi berdasarkan standar *Asian Concrete Model Code* (ACMC, 2001). Nilai *damage index* atau nilai kerusakan bangunan pada setiap komponen struktur bangunan dapat dianalisis salah satunya dengan menganalisis *rotation* yang terjadi dari hasil

*time history*, *yield rotation* dan *ultimate rotation*. Secara matematis, nilai *damage index* dapat dianalisis dengan menggunakan Persamaan 20.

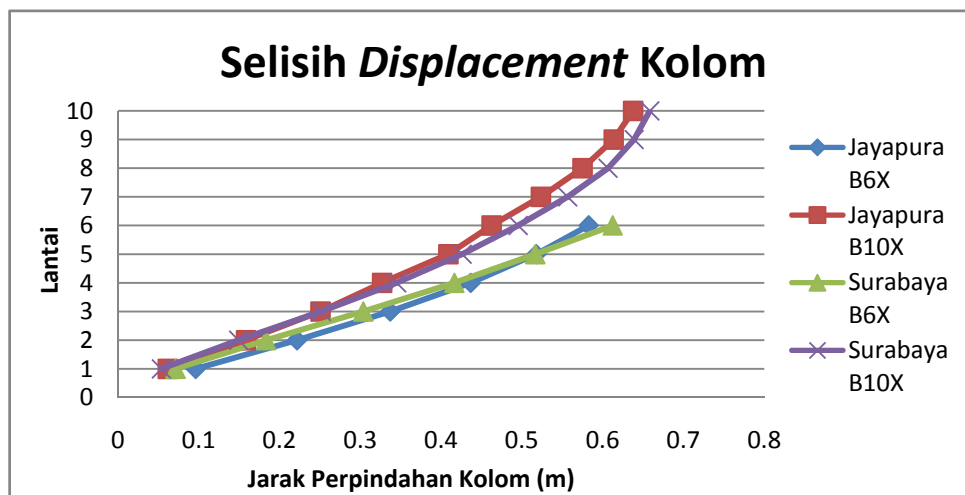
$$Damage\ Index = \frac{(\theta_{TH} - \theta_y)}{(\theta_u - \theta_y)} \quad (20)$$

dimana  $\theta_{TH}$  adalah *rotation* terjadi hasil *time history*,  $\theta_y$  adalah *yield rotation*, dan  $\theta_u$  adalah *ultimate rotation*.

Secara umum, *damage index* skenario A dan B tidak jauh berbeda dan menunjukkan kinerja yang baik dan memenuhi *beam side sway mechanism*. *Damage index* maksimum yang terjadi pada sendi plastis masih masuk kriteria *servicability*. Dari kedua skenario ini tidak ditemukan pola yang jelas mengenai skenario mana yang menghasilkan kinerja bangunan lebih baik (Hendratha & Nugraha, 2014).

#### 4.3 Selisih *Displacement* Bangunan Besar dan Kecil Skenario B

**Gambar 5** di bawah merupakan grafik selisih *Displacement* maksimum per lantai antara bangunan besar dan kecil pada skenario B untuk kolom interior arah X, karena secara umum *displacement* arah X untuk seluruh skenario lebih besar bila dibandingkan dengan arah Y. Selisih terbesar tersebut dapat ditemui pada kolom interior bangunan skenario B 10 lantai arah X kota Surabaya, yaitu sebesar 65 cm pada lantai 10.



**Gambar 5.** Selisih *Displacement* Kolom Interior Bangunan Skenario B

#### 4.4 Perbandingan Berat Tulangan Skenario A dan B

Berdasarkan penelitian Hendratha dan Nugraha (2014), skenario B dapat menghemat besi tulangan yang digunakan hingga 18% sehingga dilatasi pada skenario B membuat bangunan menjadi lebih ringan dan hemat.

### 5. KESIMPULAN

Dengan melihat hasil dari evaluasi kinerja struktur skenario A dan B di atas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kedua skenario menghasilkan mekanisme keruntuhan yang aman yaitu *beam side sway mechanism*.
2. Kedua metode sama-sama menghasilkan kinerja struktur bangunan yang baik, namun skenario dengan dilatasi tidak dianjurkan untuk dipakai karena selisih *displacement* antara bangunan besar dan kecil dinilai terlalu besar.

## 6. DAFTAR REFERENSI

- ACMC 2001. (2001). *Asian Concrete Model Code Level 1 & 2 Documents*. Author, Tokyo.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2012). SNI-03-1726-2012. *Tata Cara Perhitungan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung & Non Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- EuroCode 8 (1998). *Seismic Design of Building Part 1*. Author, Eropa.
- 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, C. dan Wijaya, S. W. (2013). *Evaluasi Kinerja Direct Displacement-Based Design dan Force Based Design Bangunan Tidak beraturan Plan 6-Lantai*. Tugas Akhir No. 1101 1894/SIP/2013. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Kristen Petra. Surabaya.