

**PROSIDING**

# **KoNTeKS 10**

## **Konferensi Nasional Teknik Sipil 10**

*Menuju Masyarakat Industri Konstruksi  
Berdaya Saing Tinggi  
dan Pembangunan Infrastruktur Berkelanjutan*

**Editor :**  
**Harijanto Setiawan**  
**Ferianto Raharjo**  
**Siswadi**

**Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik  
Universitas Atma Jaya Yogyakarta**

**PROSIDING**

# **KoNTekS 10**

## **Konferensi Nasional Teknik Sipil 10**

*Menuju Masyarakat Industri Konstruksi  
Berdaya Saing Tinggi  
dan Pembangunan Infrastruktur Berkelanjutan*

ISBN : 978-602-60286-0-0

**Editor :**

Harijanto Setiawan  
Ferianto Raharjo  
Siswadi

**Desain sampul dan Tata letak**

GKM Print

**Penerbit**

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik  
Universitas Atma Jaya Yogyakarta

**Redaksi :**

Jl. Babarsari No. 44  
Yogyakarta 55281  
Telp : 0274 - 487711 ext: 2162  
email : tsipil@mail.uajy.ac.id

Cetakan pertama, Oktober 2016

Hak cipta dilindungi undang - undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara  
apapun tanpa ijin

240	<b>ANALISIS KINERJA STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN KOLOM MODIFIKASI YANG DIPERKUAT LAPIS CFRP</b> .....	293
	<i>Ida Bagus Rai Widiarsa dan Ida Bagus Dharma Giri</i>	
241	<b>ANALISIS PERKUATAN BALOK BAJA DENGAN MEMPERHITUNGKAN EFEK REDISTRIBUSI MOMEN</b> .....	299
	<i>Wiryanto Dewobroto dan Petrus Ricky</i>	
243	<b>PENGARUH STEEL FIBER TERHADAP KUAT GESER REACTIVE POWDER CONCRETE</b> .....	305
	<i>Daniel Christianto, Widodo Kushartomo dan Wiratman Wangsadinata</i>	
257	<b>KINERJA STRUKTUR GEDUNG BERATURAN SISTEM GANDA BERDASARKAN PERENCANAAN BERBASIS PERPINDAHAN LANGSUNG</b> .....	315
	<i>Raja Parulian Purba, Zulfikar Djauhari dan Reni Suryanita</i>	
290	<b>KAJIAN PENGARUH PERILAKU TEGANGAN REGANGAN TEKAN BETON YANG DIPERKUAT SERAT SINTETIS TERHADAP PERILAKU MOMEN KURVATUR</b> .....	325
	<i>Rosidawani, Iswandi Imran, Saptahari Sugiri dan Ivindra Pane</i>	
294	<b>APLIKASI <i>INCREMENTAL DYNAMIC ANALYSIS</i> UNTUK PENILAIAN KERENTANAN DAN RESIKO SEISMIK JEMBATAN</b> .....	333
	<i>Niam A. Wibowo, Dean H. Wardana, Mutiara Puspahati C, Senot Sangadji, Edy Purwanto dan S. A. Kristiawan</i>	
295	<b>FUNGSI <i>FRAGILITY</i> (KERAPUHAN) SEBAGAI ALAT EVALUASI KINERJA SEISMIK STRUKTUR TIPIKAL JEMBATAN JALAN RAYA BETON</b> .....	341
	<i>Enjels N. Tropormera, Agus Trisyanto, Mutiara Puspahati C, Senot Sangadji, Agus Supriyadi dan Supardi</i>	
297	<b>PENYEDERHANAAN PERHITUNGAN GAYA GESER DASAR SEISMIK (V) SNI GEMPA 2012 UNTUK TIPIKAL BANGUNAN GEDUNG SEKOLAH DI JAWA TENGAH</b> .....	349
	<i>Himawan Indarto dan Hanggoro Tri Cahyo Andiyarto</i>	
298	<b>PREDIKSI RESPONS STRUKTUR BANGUNAN BERDASARKAN SPEKTRA GEMPA INDONESIA MENGGUNAKAN JARINGAN SARAF TIRUAN</b> .....	359
	<i>Reni Suryanita, Hendra Jingga, Harnedi Maizir dan Enno Yuniarto</i>	
<b><u>Topik: TRANSPORTASI</u></b>		
012	<b>THE RELATIONSHIP AMONG LAND USE PATTERN, SOCIO ECONOMIC FACTORS AND TRAVEL BEHAVIOURS</b> .....	369
	<i>Dewa Made Priyantha Wedagama</i>	
013	<b>KAJIAN KELAYAKAN FINANSIAL PENGEMBANGAN ANGKUTAN WISATA DI KOTA DENPASAR</b> .....	377
	<i>Putu Alit Suthanaya, Dyah Ayu Lestari</i>	

## KINERJA STRUKTUR GEDUNG BERATURAN SISTEM GANDA BERDASARKAN PERENCANAAN BERBASIS PERPINDAHAN LANGSUNG

Raja Parulian Purba<sup>1</sup>, Zulfikar Djauhari<sup>2</sup>, Reni Suryanita<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293

Email: rajapoerba94@gmail.com

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293

Email: zulfikar.djauhari@lecturer.unri.ac.id, zulfkr\_dj@yahoo.com

<sup>3</sup> Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293

Email: reni.suryanita@eng.unri.ac.id

### ABSTRAK

Perencanaan struktur tahan gempa umumnya menggunakan konsep *forced based design* (FBD). Konsep ini belum dapat menunjukkan secara langsung kinerja bangunan terhadap pengaruh gempa. Sehingga dibutuhkan suatu evaluasi kinerja dengan melakukan analisis hingga pada keadaan inelastis struktur yang disebut dengan konsep Perencanaan Berbasis Perpindahan Langsung. Penelitian bertujuan membandingkan dua metode analisis kinerja yang didasarkan pada perpindahan lateral pada saat kondisi inelastis sebagai parameter kunci respon struktur dalam perencanaan yang digunakan yaitu metode Perencanaan Berbasis Perpindahan Langsung (*Direct Displacement Based Design*, DDBD) dan Metode Spektrum Kapasitas (*Capacity Spectrum Method*, CSM). Sistem struktur yang dikaji adalah struktur gedung beraturan sistem ganda (*dual system*) yakni kombinasi struktur rangka dan dinding beton bertulang dengan pembebanan gempa rencana berdasarkan SNI 1726-2012. Parameter yang dikaji adalah perpindahan, gaya geser dasar, redaman efektif, dan waktu getar efektif baik yang dihasilkan dengan metode DDBD maupun dengan metode CSM. Hasil kajian menunjukkan bahwa nilai parameter yang diperoleh dari analisis memanfaatkan metode DDBD lebih besar bila dibandingkan terhadap metode CSM. Target perpindahan yang dihasilkan menggunakan metode DDBD yaitu 0,545 m sedangkan yang dihasilkan metode CSM yaitu 0,175 m. Gaya geser dasar dari hasil metode DDBD yaitu 38293,25 kN sedangkan hasil dari metode CSM yaitu 21728,978 kN. Nilai redaman efektif hasil dari metode DDBD yaitu 14,01 % dengan waktu getar efektif yaitu 3,826 detik, sedangkan metode CSM menghasilkan redaman efektif 5,40 % dengan waktu getar efektif 1,314 detik. Evaluasi kinerja struktur yang ditinjau berdasarkan ATC-40, metode DDBD menghasilkan level kinerja struktur pada level *damage control*, sedangkan metode CSM menunjukkan level *immediate occupancy*.

Kata kunci : *Direct Displacement Based Design*, *Capacity Spectrum Method*, Kinerja struktur

### 1. PENDAHULUAN

Sebagian besar wilayah Indonesia terletak dalam wilayah gempa dengan intensitas sedang hingga tinggi. Kondisi tersebut berpengaruh besar dalam perencanaan struktur gedung tahan gempa yang harus diperhatikan agar tidak menimbulkan dampak yang besar, terlebih akibat perpindahan lateral yang terjadi pada gedung akibat gempa.

Seiring perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, solusi untuk meningkatkan kinerja struktur gedung bertingkat tinggi terhadap beban gempa yang direncanakan yaitu dengan pemasangan dinding beton bertulang (*RC-Wall*) yang sering dikenal dengan dinding geser (*shearwall*). Penggunaan dinding geser sangat diperlukan sebagai subsistem penahan beban lateral dari struktur dan akan menyerap sebagian dari besarnya beban gempa yang terjadi.

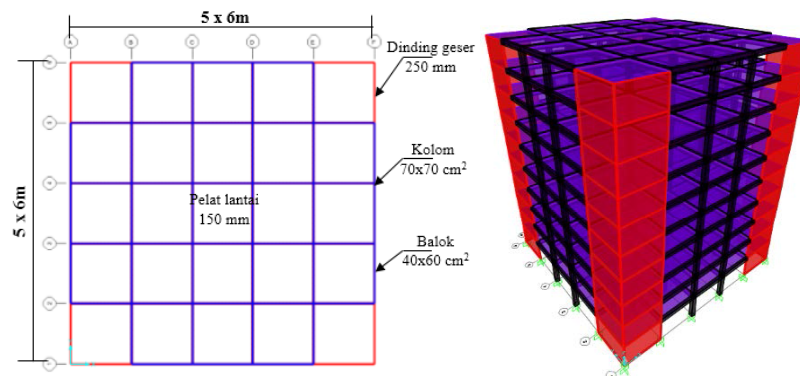
Selama ini, perancangan bangunan tahan gempa kebanyakan menggunakan konsep *force-based design* (FBD). Konsep ini tidak menunjukkan secara langsung kinerja bangunan terhadap pengaruh gempa yang terjadi karena analisis dilakukan secara linear (elastis). Hal tersebut mendasari suatu arah baru dalam penelitian teoritik dan eksperimental rekayasa struktur tahan gempa. Sehingga dalam akhir-akhir ini konsep desain tahan gempa mulai mengarah pada konsep berbasis kinerja (*performance based design*).

Konsep *performance based design* dilakukan dengan menganalisis komponen struktur secara bertahap yang memberikan gambaran perilaku nonlinear (inelastis) struktur saat pertama kali mengalami kegagalan, sehingga konsep ini juga menunjukkan secara langsung bagaimana kinerja struktur terhadap pengaruh gempa yang terjadi. Menurut Priestley ada tiga metode perencanaan berbasis kinerja (*performance based design*) yaitu metode *Capacity Spectrum* (ATC-40, 1996), metode *N2* (Fajfar, 2000) dan metode *Direct Displacement-Based Design* (Priestley,

2000). Tulisan ini bertujuan untuk mengkaji kinerja struktur gedung beraturan *dual system* tiga dimensi dengan menggunakan metode *Direct Displacement-Based Method* (Priestley, 2000) dan selanjutnya dibandingkan dengan *Capacity Spectrum Method* (ATC-40, 1996).

Selanjutnya analisis dilakukan dengan asumsi sebagai berikut.

1. Model struktur yang digunakan yaitu gedung sistem ganda yang merupakan kombinasi rangka pemikul momen khusus dan dinding geser beton bertulang khusus.
2. Perhitungan hanya untuk menganalisis dan membandingkan tingkat kinerja struktur tanpa melakukan perencanaan model struktur.
3. Gedung merupakan bangunan yang diasumsikan berfungsi sebagai perkantoran yang terletak di wilayah kota Pekanbaru dengan kondisi tanah sedang.
4. Analisis *pushover* menggunakan perangkat lunak berbasis elemen hingga dengan pola pembebanan lateral 100% arah sumbu kuat dan 30% arah sumbu lemah.
5. Data struktur yang digunakan yaitu
  - a. kuat tekan beton,  $f'_c = 30$  MPa.
  - b. mutu tulangan utama,  $f_y = 420$  MPa.
  - c. mutu tulangan sengkang,  $f_{ys} = 240$  MPa.
  - d. diameter tulangan utama = 22 mm.
  - e. jumlah lantai = 10 lantai dengan ketinggian antar tingkat 3,6 m
  - f. dimensi elemen dan bentuk struktur seperti pada gambar berikut ini.



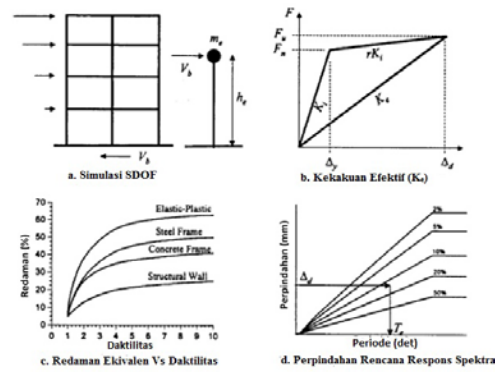
Gambar 1. Denah lantai gedung dan tampak dimensi tiga gedung

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada SNI 1726-2012, gabungan sistem rangka pemikul momen dan dinding geser beton bertulang disebut sebagai struktur sistem ganda. Sistem ganda akan memberikan kemampuan pada bangunan untuk menahan beban yang lebih baik terutama terhadap beban gempa. Penggunaan dinding beton bertulang (RC-Wall) pada struktur gedung yaitu sebagai penahan beban lateral dan juga diharapkan mampu mereduksi gaya geser yang lebih besar dari elemen struktur lainnya akibat gempa. Oleh karena lokasi bangunan yang berada di wilayah Indonesia, mengharuskan pengaruh gempa rencana yang dihitung sesuai dengan ketentuan SNI 1726-2012.

### Perencanaan Berbasis Perpindahan Langsung

Metode Perencanaan Berbasis Perpindahan Langsung (*Direct Displacement Based Design*) diilustrasikan pada Gambar 2(a), dengan sistem *Multi Degree of Freedom* (MDOF) disederhanakan menjadi *Single Degree of Freedom* (SDOF). Hubungan besarnya gaya lateral-perpindahan sebagai representasi dari SDOF ditunjukkan pada Gambar. 2(b).  $K_i$  merupakan kekakuan berdasarkan analisa retak pada penampang saat tulangan lentur mengalami leleh pertama.  $rK_i$  adalah kekakuan saat terbentuknya sendi-sendi plastis pada struktur, dan  $K_e$  merupakan kekakuan resultan untuk menghasilkan perpindahan maksimum. Tingkat redaman liat ekuivalen merupakan kombinasi dari representasi redaman elastis dan energi histeretis yang diserap selama respon inelastis. Gambar 2(c) menunjukkan nilai tuntutan daktilitas yang diberikan, Struktur bangunan baja memiliki redaman liat ekuivalen yang lebih besar dibandingkan struktur dinding beton bertulang yang didesain dalam tingkat tuntutan daktilitas yang sama. Nilai respon perpindahan maksimum dan hasil perhitungan redaman berdasarkan tuntutan daktilitas yang diperoleh, digunakan untuk mendapatkan periode efektif,  $T_e$ , seperti terlihat pada Gambar 2(d). Soleman (2006) menyatakan bahwa parameter dasar spesifik metode ini didasarkan pada geometri struktur, karakteristik leleh material, kurvatur dan batasan *drift*.



Gambar 2. Konsep dasar *direct displacement-based design* (Priestley *et al.*, 2007)

**Prosedur Perhitungan Metode Perencanaan Berbasis Perpindahan Langsung**

Tahapan prosedur perhitungan dalam mendapatkan parameter-parameter metode DDBD terhadap struktur *dual system* yang akan dianalisis adalah sebagai berikut:

1. Desain tahap awal (*preliminary design choices*)

b. Proporsi rasio gaya geser

Tahap awal dari perencanaan pada struktur *dual system* yaitu menentukan proporsi rasio rencana gaya geser yang akan diterima oleh struktur (Garcia *et al.*, 2010).

- Total proporsi rasio = 1
- Rasio *frame* =  $\beta f$
- Rasio *RC-Wall* =  $1 - \beta f$

c. Tinggi *RC-Wall contraflexure* ( $H_{CF}$ )

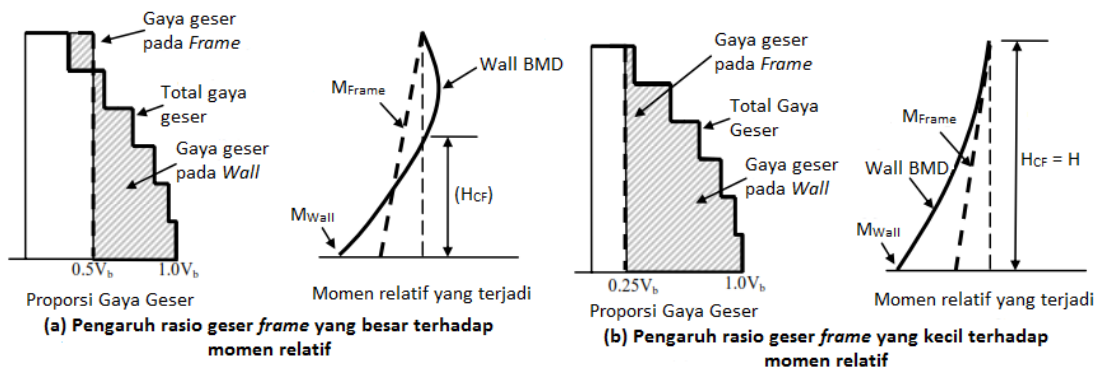
Tinggi dinding kondisi *contraflexure* seperti pada Gambar 3 yang ditentukan berdasarkan *overtuning moment* relatif, yang ditentukan dari persamaan:

$$F_i = \frac{m_i H_i}{\sum m_i H_i} \tag{1}$$

$m_i$  = *overtuning moment* relatif pada lantai ke  $i$

$H_i$  = tinggi struktur lantai ke  $i$  (m)

$F_i$  = rasio gaya relatif lantai ke  $i$



Gambar 3. Tinggi dinding *contraflexure* berdasarkan proporsi gaya geser dan *moment overturning* relatif (Sullivan, 2009)

2. Perpindahan Maksimum ( $\Delta_d$ )

Perpindahan maksimum struktur ditentukan dengan persamaan

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

dengan:

$\Delta_i$  = perpindahan tiap lantai (m)

$m_i$  = massa tiap tingkat (kN)

3. Tinggi efektif, diperoleh dari persamaan:

$$H_e = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \cdot \Delta_i \cdot h_i)}{\sum_{i=1}^n (m_i \cdot \Delta_i)} \quad (3)$$

4. Massa efektif, diperoleh dari persamaan:

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

5. Redaman efektif

Redaman efektif bergantung pada daktilitas sistem struktur.

- a. Redaman efektif *RC-Wall*

Redaman ekivalen terhadap arah yang ditinjau pada struktur,

$$\xi_{e,W} = \frac{\sum_{j=1}^m l_{wj}^2 \cdot \xi_W}{\sum_{j=1}^m l_{wj}^2} \quad (5)$$

- b. Redaman efektif *frame*

Redaman ekivalen *frame*,

$$\xi_f = 0,05 + 0,565 \left( \frac{\mu - 1}{\mu \cdot \pi} \right) \quad (6)$$

sehingga daktilitas dan redaman efektif ekivalen struktur menjadi:

$$\mu_{eq} = \frac{M_W \cdot \mu_{e,W} + M_f \cdot \mu_f}{M_W + M_f} \quad (7)$$

$$\xi_{eq} = \frac{M_W \cdot \xi_{e,W} + M_f \cdot \xi_f}{M_W + M_f} \quad (8)$$

6. Periode efektif

Periode efektif ditentukan grafik perpindahan respon spektra yang dikonversi dari percepatan respon spektra, menggunakan persamaan:

$$\Delta_{(T,\xi)} = \frac{T^2}{4\pi^2} S a_{(T,\xi)} \quad (9)$$

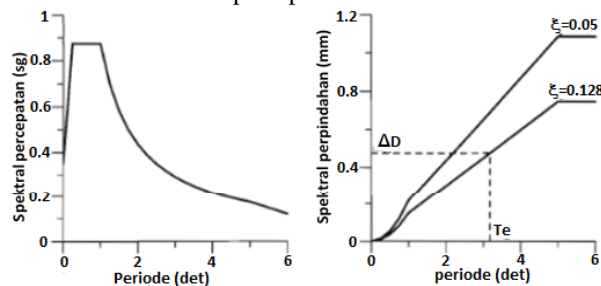
$$T_{eff} = T \cdot \frac{\Delta_d}{\Delta_{(T,0.5)}} \left[ \frac{2 + \xi}{7} \right]^{1/2} \quad (10)$$

dengan:

$\Delta_{(T,\xi)}$  = Perpindahan untuk waktu getar T dan redaman  $\xi\%$

$S a_{(T,\xi)}$  = Percepatan untuk waktu getar T dan redaman  $\xi\%$

dari persamaan diatas, bentuk konversi kurva seperti pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Percepatan respon spektra dan perpindahan respon spektra (Priestley et al., 2007)

7. Kekakuan efektif, ditentukan dengan persamaan:

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

8. Gaya geser dasar, ditentukan dengan persamaan:

$$V_B = K_e \times \Delta_d \quad (12)$$

Karena yang dipakai pada perencanaan adalah gaya geser dasar pada saat terjadi pelelehan pertama, maka gaya geser dasar harus direduksi dengan faktor kuat lebih struktur berdasarkan Tabel 9 SNI 1726-2012, sehingga menjadi:

$$V = \frac{V_B}{\Omega_o} \quad (13)$$

### Kinerja Struktur Berdasarkan ATC-40

ATC-40 (1996) menetapkan deformasi lateral pada struktur harus diperiksa terhadap nilai simpangan total maksimum dan simpangan inelastis maksimum untuk mendapatkan tingkat kinerja dari struktur yang disajikan pada Tabel 1 di bawah. Simpangan total maksimum didefinisikan sebagai simpangan antar tingkat (*interstory drift*) pada perpindahan di titik kinerja. Sedangkan simpangan inelastis maksimum merupakan perbandingan antara simpangan total maksimum terhadap titik leleh efektif ( $\Delta_{yeff}$ ) dari struktur. Besarnya simpangan total maksimum dan simpangan inelastis maksimum struktur dihitung dengan menggunakan Persamaan dan berikut.

Simpangan total maksimum =  $\frac{D_t}{H_{tot}}$  dan simpangan inelastis maksimum =  $\frac{D_t - D_1}{H_{tot}}$

dengan

$D_t$  = Perpindahan maksimum struktur (m)

$D_1$  = Perpindahan pada kondisi leleh pertama (m)

$H_{tot}$  = Tinggi total struktur (m)

Tabel 1. Batas deformasi lateral

Batas Simpangan Antar Tingkat	Tingkat Kinerja Struktur			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Simpangan Total Maksimum	0,01	0,01 – 0,02	0,02	0,33 $V_i/P_i$
Simpangan Inelastis Maksimum	0,005	0,005 – 0,015	Tidak ada batasan	Tidak ada batasan

(Sumber: ATC – 40, 1996)

## 3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

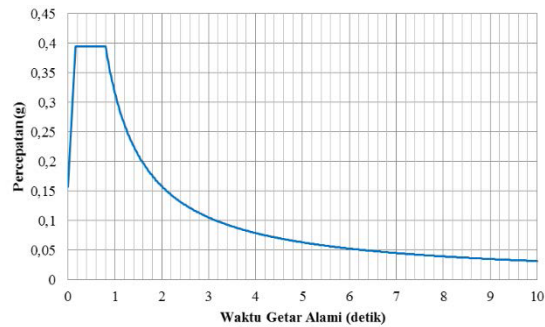
### Beban dan Berat Struktur

Beban-beban yang bekerja pada struktur berupa beban mati (berat struktur), beban mati tambahan, dan beban hidup. Pembebanan yang digunakan didasarkan pada Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (PPURG). Diperoleh total beban mati tambahan pada pelat lantai 1-9 yaitu 1,49 kN/m<sup>2</sup>, pada pelat atap yaitu 0,73 kN/m<sup>2</sup>, dan beban mati tambahan pada balok tepi yaitu 2,16 kN/m<sup>2</sup>. Beban hidup pelat lantai 1 sampai 9 sebesar 2,5 kN/m<sup>2</sup> pada lantai atap sebesar 1 kN/m<sup>2</sup>, dengan koefisien reduksi beban hidup terhadap peninjauan gempa berdasarkan SNI 1726-2012 sebesar 0,25.

### Perhitungan Respon Spektra SNI 1726 - 2012

Berdasarkan peta gempa *harzad* untuk wilayah kota Pekanbaru dengan kondisi tanah sedang, didapatkan parameter nilai  $S_1 = 0,25$  g dan  $S_s = 0,4$  g. Parameter berdasarkan Tabel 4 dan 5 SNI 1726-2012 didapatkan nilai  $F_a = 1,48$  dan  $F_v = 1,9$ . Selanjutnya diperoleh grafik respons spektra gempa rencana seperti pada Gambar 5.





Gambar 5. Respon spektra desain

### Beban Gempa Statik Ekuivalen

#### 1. Menentukan periode getar

Berdasarkan SNI 1726-2012 periode getar dibatasi nilai maksimum dan nilai minimum, dengan parameter:

$$C_u = 1,4 \text{ (Tabel 14 SNI 1726-2012)}$$

$$C_t = 0,0488 \text{ (Tabel 15 SNI 1726-2012)}$$

$$x = 0,75 \text{ (Tabel 15 SNI 1726-2012)}$$

$$h_n = 36 \text{ m (tinggi gedung)}$$

sehingga:

$$T_{a \text{ min}} = T_a = C_t h_n^x \\ = (0,0488) (36)^{0,75} = 0,717 \text{ detik}$$

$$T_{a \text{ maks}} = C_u T_a \\ = 1,4 \times 0,717 = 1,004 \text{ detik}$$

Periode alami struktur kondisi *uncrack* hasil program elemen hingga pada arah x dan y adalah sama = 0,91 detik (karena geometrik struktur yang simetris). Dengan pola gerak ragam pertama adalah translasi arah Y (sehingga perhitungan difokuskan pada arah Y).

$$T_{a \text{ minimum}} < T_{X,Y \text{ uncrack}} < T_{a \text{ maksimum}}$$

$$0,717 < 0,91 < 1,004$$

maka digunakan periode getar alami = 0,91 detik.

#### 2. Menentukan koefisien seismik, $C_s$

Sama halnya dengan periode, nilai  $C_s$  juga mempunyai batas minimum dan maksimum, sebagai berikut.

$S_{DS}$  dan  $S_{DI}$  = parameter respons spektra

$$I_e = 1,00 \text{ (Tabel 2 SNI 1726-2012)}$$

$$R = 7 \text{ (Tabel 9 SNI 1726-2012)}$$

$$C_{s \text{ minimum}} = 0,004 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

$$C_{s \text{ minimum}} = 0,004 \times 0,39 \times 1 = 0,0174$$

$$C_{s \text{ hitungan (Y)}} = \frac{S_{DI}}{T \frac{R}{I_e}} = \frac{0,32}{0,91 \frac{7}{1}} = 0,0497$$

$$C_{s \text{ maksimum}} = \frac{S_{DI}}{R} = \frac{0,32}{7} = 0,0564$$

$$C_{s \text{ minimum}} < C_{s \text{ hitungan (y)}} < C_{s \text{ maksimum}}$$

$$0,0174 < 0,0497 < 0,0564$$

Maka digunakan  $C_s = 0,0497$

#### 3. Menentukan gaya geser dasar gempa

$$V_Y = C_{s(y)} W_t = 0,0497 \times 90313,02 \text{ kN}$$

$$= 4491,573 \text{ kN}$$

#### 4. Menentukan distribusi vertikal gaya gempa

Nilai k dicari dengan interpolasi linear dengan:

$$T \leq 0,5 ; \text{ nilai } k = 1$$

$$T \geq 2,5 ; \text{ nilai } k = 2,5$$

maka,  $T_y = 0,91 \text{ detik}$ ;  $k = 1,20$

selanjutnya, distribusi vertikal gaya,

$$F_x = C_{vx}V$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Menurut SNI 1726-2012 bahwa beban gempa dianggap terjadi secara bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama dengan efektifitas 30%. Sehingga gaya gempa statik ekuivalen diberikan 100% arah Y dan 30% arah X.

### Pengecekan Sistem Ganda Sesuai SNI 1726-2012

Dengan pemberian gaya gempa statik ekuivalen 100% arah Y dan 30% arah X sebagai gaya gempa yang ditetapkan, maka diperoleh proporsi gaya geser:

Tabel 2. Proporsi gaya geser dasar struktur

Parameter	Vx (kN)	Vy (kN)
Gaya Geser Struktur	-1347,47	-4491,57
Gaya Geser RC-Wall	-1142,95	-3809,82
Gaya Geser Frame	-204,53	-681,75
Persentase RC-Wall	84,82%	84,82%
Persentase Frame	15,18%	15,18%

Menurut SNI 1726-2012 untuk sistem ganda, bahwa *frame* harus mampu menahan paling sedikit 25% dari gaya gempa yang ditetapkan. Berdasarkan gaya geser dasar yang diperoleh, *frame* belum menerima minimal 25% dari gaya geser total, sehingga dilakukan pengecekan hanya terhadap *frame* dengan pemberian 25% gaya gempa yang ditetapkan (Asneindra, 2011).

Pengecekan dilakukan terhadap *code* yang diacu oleh SNI 1726-2012 yaitu ACI 318-11 yang terdapat pada *software* elemen hingga. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa tidak adanya *frame* yang mengalami *overstress (OS)* akibat gaya gempa 25% tersebut. Sehingga sistem struktur tersebut bisa dianggap sebagai sistem ganda, karena *frame* mampu menahan 25% gaya gempa yang ditetapkan.

### Metode Perencanaan Berbasis Perpindahan Langsung (DDBD)

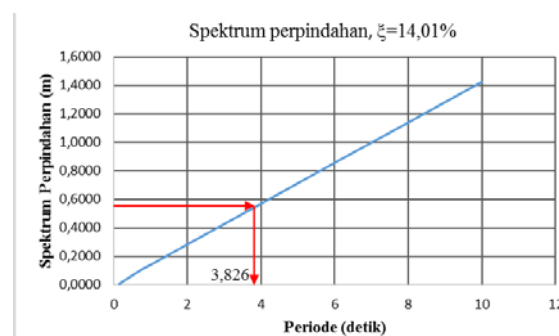
Langkah awal dalam analisis DDBD untuk *dual system* adalah menentukan rasio gaya geser. Dalam tulisan ini, rasio gaya geser mengikuti rasio yang dihasilkan berdasarkan Tabel 2, dengan  $\beta_f = 15,18\%$ . Selanjutnya dilakukan perhitungan dalam menentukan tinggi *wall contraflexure*.

Berdasarkan perhitungan tabelaris diperoleh bahwa RC-Wall mengalami *contraflexure* pada level lantai 8 dan 9, sehingga dilakukan interpolasi linear:

$$H_{CF} = 28,8 + (3,6 \times 0,559 / 0,99) = 30,833 \text{ m}$$

$$\text{dan, } M_f = 24,660 - 19,196 = 5,464$$

Selanjutnya untuk menentukan periode berdasarkan target perpindahan dan redaman efektif yang diperoleh, grafik percepatan respon spektra pada Gambar 5, dikonversi menjadi grafik perpindahan spektral seperti pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Spektrum perpindahan

### Evaluasi level kinerja

Hasil perpindahan yang terjadi dengan perhitungan metode DDBD selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur berdasarkan dokumen ATC-40 yaitu:

a. Simpangan total maksimum =  $\frac{D_T}{H_{tot}} = \frac{0,545}{36} = 0,0015$

Berdasarkan tabel deformasi lateral dari dokumen ATC 40, kinerja struktur menunjukkan kondisi *damage control*.

b. Simpangan inelastis maksimum =  $\frac{D_T}{H_{tot}} = \frac{0,545-0,157}{36} = 0,011$

Berdasarkan tabel deformasi lateral dari dokumen ATC 40, kinerja struktur menunjukkan kondisi *damage control*.

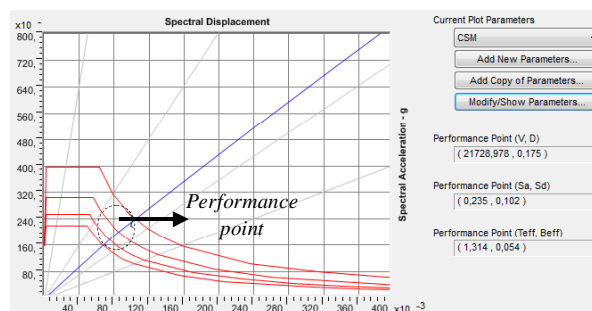
Hasil analisis dengan prosedur DDBD dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi perhitungan DDBD

Parameter Hitungan		Hasil
Gaya geser <i>frame</i> , $\beta_f$	%	15,18%
Tinggi dinding <i>contraflexure</i> , $H_{CF}$	(m)	30,833
<i>Drift</i> rencana, $\theta_d$	-	0,0244
Perpindahan rencana, $\Delta_d$	(m)	0,545
Tinggi efektif struktur, $h_e$	(m)	25,519
Massa efektif, $m_e$	(kN)	65120,82
Perpindahan kondisi leleh, $\Delta_{y,he}$	(m)	0,157
Daktilitas dinding, $\mu_w$	-	3,467
Daktilitas <i>frame</i> , $\mu_f$	-	1,424
Daktilitas efektif sistem struktur, $\mu_{sys}$	-	3,014
Redaman dinding, $\zeta_w$	(%)	15,06%
Redaman <i>frame</i> , $\zeta_f$	(%)	10,35%
Redaman efektif sistem struktur, $\zeta_{sys}$	(%)	14,01%
Periode efektif, $T_e$	(detik)	3,826
Kekakuan efektif, $K_e$	(kN/m)	175665,05
Gaya geser dasar DDBD, $V_B$	(kN)	95733,12
Gaya geser dasar SNI, $V$	(kN)	38293,25

### Performance Point

Selanjutnya konversi kurva kapasitas ke format ADRS menjadi spektrum kapasitas. Selanjutnya melakukan penggabungan antara *single demand* dengan spektrum kapasitas sehingga diperoleh titik perpotongan kurva yang merupakan titik kinerja (*performance point*) struktur. Titik kinerja yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Performance point

Lebih lanjut dari *performance point* diperoleh gaya geser dasar 21728,978 kN, target perpindahan 0,175 m, redaman efektif 5,40%, dan periode efektif 1,314 detik.

#### Evaluasi level kinerja

Berdasarkan deformasi lateral yang diperoleh, dilakukan pengecekan kinerja struktur terhadap nilai simpangan total maksimum dan simpangan inelastis maksimum menurut ATC-40 yaitu :

$$a. \text{ Simpangan total maksimum} = \frac{D_T}{H_{tot}} = \frac{0,175}{36} = 0,0049$$

Berdasarkan tabel deformasi lateral dari dokumen ATC-40, kinerja struktur menunjukkan kondisi *immediate occupancy*.

$$b. \text{ Simpangan inelastis maksimum} = \frac{D_T}{H_{tot}} = \frac{0,175 - 0,0012}{36} = 0,0050$$

Berdasarkan tabel deformasi lateral dari dokumen ATC 40, kinerja struktur menunjukkan kondisi *immediate occupancy*.

### Perbandingan Kinerja Struktur Gedung Beraturan *Dual System* Metode DDBD dengan CSM

Perbandingan parameter kinerja struktur gedung *dual system* yang ditinjau yaitu seperti pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Perbandingan parameter kinerja struktur *dual system* hasil analisis metode DDBD dan CSM

Hasil	Satuan	DDBD	CSM
Gaya geser dasar, $V_B$	kN	38293,25	21728,978
Perpindahan, D	m	0,545	0,175
Redaman, $\xi_{eff}$	%	14,01%	5,40%
Periode, $T_{eff}$	detik	3,826	1,314

Gaya geser dasar yang diterima dasar struktur hasil analisis DDBD yaitu sebesar 38293,25 kN, nilai ini lebih besar 16564,272 kN atau 1,76 kali dari hasil analisis CSM. Redaman efektif yang dihasilkan dari analisis DDBD juga lebih besar sekitar 2,60 kali dari redaman efektif hasil CSM. Redaman merupakan peristiwa pelepasan energi (*energy dissipation*) oleh struktur. Maka dalam hal ini menunjukkan bahwa energi yang dilepaskan oleh struktur dari hasil DDBD lebih besar dari pada hasil CSM, yang berarti akan mengurangi respon struktur terhadap pengaruh gempa. Periode atau waktu getar efektif yang dihasilkan analisis DDBD juga lebih besar sekitar 2,91 kali dari periode getar efektif hasil analisis CSM. Nilai ini menunjukkan bahwa struktur yang dianalisis dengan metode DDBD bergetar lebih lambat bila dibandingkan dengan CSM saat dibebani beban gempa. Secara matematis, hubungan periode terhadap nilai kekakuan struktur adalah berbanding terbalik sehingga mengakibatkan periode yang besar menghasilkan fleksibilitas stuktur yang juga besar sehingga mengurangi kekakuan struktur. Semakin besarnya fleksibilitas struktur yang terjadi mengakibatkan perpindahan struktur juga menjadi semakin besar, sehingga dalam hal ini periode berbanding lurus terhadap besarnya perpindahan struktur.

Kinerja struktur yang dicapai ditentukan berdasarkan besarnya perpindahan yang diperoleh. Perpindahan maksimum yang diperoleh berdasarkan analisis DDBD lebih besar sekitar 3,11 kali dari hasil analisis CSM. Besarnya perpindahan yang terjadi menunjukkan tingkatan kinerja yang dicapai oleh struktur. Struktur *dual system* yang ditinjau menunjukkan tingkatan kinerja dengan metode DDBD berada pada kondisi *damage control* (struktur berada dalam kategori range antara *immediate occupancy* dan *life safety*, dimana kerusakan yang terjadi dibatasi dan dapat diperbaiki) sedangkan dengan metode CSM berada pada kondisi *immediate occupancy* (komponen struktur masih dapat mempertahankan karakteristik dan kapasitas seperti sebelum gempa terjadi).

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Perencanaan dengan metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD), menghasilkan target perpindahan yang lebih besar yaitu 0,545 m dari pada perpindahan dengan metode *Capacity Spectrum Method* (CSM) yaitu sebesar 0,175 m.
2. Parameter kinerja struktur lainnya dari hasil analisis metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD) baik gaya geser dasar, redaman efektif dan periode efektif yang diberikan oleh struktur saat pada kondisi inelastis memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan hasil analisis *Capacity Spectrum Method* (CSM).
3. Evaluasi dari kinerja struktur yang ditinjau, dengan menggunakan metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD) menunjukkan kategori *damage control* yang artinya struktur berada dalam kategori range antara

*immediate occupancy* dan *life safety*, dimana kerusakan yang terjadi dibatasi dan dapat diperbaiki. Sedangkan dengan metode *Capacity Spectrum Method* (CSM) berada pada kondisi *immediate occupancy* yang artinya bahwa komponen struktur masih dapat mempertahankan karakteristik dan kapasitas seperti sebelum gempa terjadi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asneindra, M. (2011). "Analisis Perbandingan Kinerja Struktur Gedung Tak Beraturan Akibat Ban Gempa SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726-201X". Universitas Riau.
- ATC-40. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. California: California Seismic Safety Commission.
- Budiono, B., & Permana, E. (2008). "Analisa Struktur Daktail pada Struktur Portal Terbuka dan Sistem Ganda dengan Metoda Kekakuan Sekan". In Seminar dan Pameran HAKI 2008 - "Pengaruh Gempa dan Angin terhadap Struktur."
- Dewobroto, W. (2005). "Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover". In Civil Engineering National Conference: Sustainability Construction & Structural Engineering Based on Professionalism-Unika Soegijapranata (pp. 1–28). Semarang.
- FEMA-440. (2005). *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedure*. Washington D.C.
- Garcia, R., Sullivan, T. J., & Corte, G. Della. (2010). "Development Of A Displacement Based Design Method For Steel Frame-RC Wall Buildings". *Journal of Earthquake Engineering*, 14(2), 252–277.
- Harahap, O. P. P. (2015). "Perbandingan Kinerja Pilar Jembatan Menggunakan Metode Direct Displacement Based Design dan Capacity Spectrum Method". Universitas Riau.
- Jumari. (2012). "Studi Perbandingan Kinerja Struktur Dinding Geser Menggunakan Metode Direct Displacement Based Design dan Capacity Spectrum Method". Universitas Riau.
- PPURG. (1987). *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- 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". 12WCCE, 1–22.
- Priestley, M. J. N., Calvi, G. M., & Kowalsky, M. J. (2007). *Displacement-Based Seismic Design of Structures*. Pavia, Italy: IUSS Press.
- SNI-1726. (2012). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-2847. (2013). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Soleman, Y. (2006). "Kajian Parameter dalam Beberapa Prosedur Desain Metoda Perpindahan untuk Struktur Beton Bertulang", 0–7. <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.3264.1128>
- Sullivan, T. J. (2009). "Direct Displacement - Based Design of A RC Wall - Steel EBF Dual System With Added Dampers", 42(3), 167–178.
- Wijaya, C., Wijaya, S. W., Muljati, I., & Pudjisuryadi, P. (2008). Evaluasi Kinerja Direct Displacement - Based Design dan Force Based Design Bangunan Irregular Plan 6-Lantai". *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 2(2), 1–8.