

# KRITISI DESAIN *PSEUDO* ELASTIS PADA BANGUNAN BERATURAN 6- DAN 10-LANTAI DENGAN DENAH PERSEGI PANJANG DI WILAYAH 6 PETA GEMPA INDONESIA

Jimmy Setiawan<sup>1</sup>, Victor Kopaloma<sup>2</sup>, Benjamin Lumantarna<sup>3</sup>

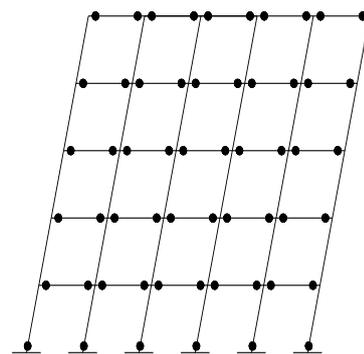
**ABSTRAK :** Metode *Pseudo* Elastis merupakan sebuah metode desain alternatif yang dikembangkan untuk perencanaan bangunan yang didesain terhadap gempa selain metode Desain Kapasitas. Perencanaan *Pseudo* Elastis memperbolehkan terjadinya sendi-sendi plastis pada ujung atas dan bawah kolom interior, sedangkan kolom eksteriornya harus berperilaku elastis penuh, kecuali ujung bawah kolom lantai dasar. Pola keruntuhan yang diharapkan setelah terjadi gempa merupakan *partial side sway mechanism*. Untuk menjamin terjadinya distribusi gaya geser pada kolom eksterior, maka diperlukan pembesaran gaya dalam kolom elastis akibat gempa berupa Faktor Pengali (FP). Tujuan penelitian ini adalah menguji asumsi penyaluran gaya geser dasar pada desain *Pseudo Elastis* dan menguji terjadinya *partial side sway mechanism* pada bangunan beraturan 6- dan 10-lantai berdenah persegi panjang di wilayah 6 peta gempa Indonesia. Kinerja bangunan diperiksa dengan metode *dynamic non-linear time history analysis*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa asumsi penyaluran gaya geser dasar pada desain *Pseudo* Elastis tidak selalu terjadi pada bangunan yang ditinjau. Untuk hasil kinerja bangunan, *partial side sway mechanism* terjadi pada bangunan 6-lantai untuk arah memanjang dan melintang, dan bangunan 10-lantai pada arah memanjang bangunan, sedangkan arah melintangnya tidak terjadi karena mengalami *soft storey* di lantai ke-2.

**KATA KUNCI:** *pseudo* elastis, *partial side sway mechanism*, faktor pengali, *dynamic non-linear time history analysis*, kinerja bangunan, gaya geser dasar

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan mengalami bencana gempa bumi, maka dari itu kewajiban para insinyur dalam dunia teknik sipil adalah merencanakan bangunan untuk menghindari keruntuhan yang bersifat tiba-tiba. Dalam SNI 03-1726-2002 (Departemen Pekerjaan Umum, 2002), target perilaku struktur bangunan saat mengalami gempa adalah *beam side sway mechanism* pada **Gambar 1**. Hal ini diperoleh dengan mendesain kolom lebih kuat dibandingkan balok-balok yang merangka pada kolom tersebut (*Strong Column Weak Beam*).

Kondisi *Strong Column Weak Beam* dapat dicapai dengan cara *Capacity Design*. Desain harus dilakukan secara bertahap, yaitu mendesain balok terlebih dahulu daripada kolomnya. Dalam hal ini proses desain membutuhkan waktu yang relatif lama. Oleh karena itu, muncul sebuah usulan untuk menggunakan metode alternatif yang disebut dengan *Pseudo*



**Gambar 1.**  
*Beam Side Sway Mechanism*

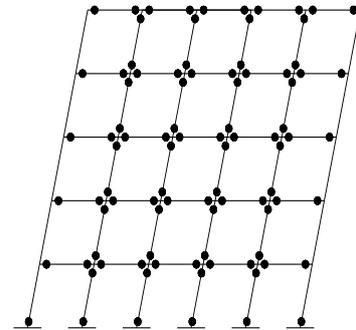
<sup>1</sup> Mahasiswa Prodi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, jim\_setiawan@hotmail.com.

<sup>2</sup> Mahasiswa Prodi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, victorkopaloma@gmail.com

<sup>3</sup> Dosen Prodi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, bluman@peter.petra.ac.id.

Elastis. *Pseudo* Elastis adalah suatu metode dimana dalam perencanaan kolom tidak lagi berdasarkan momen kapasitas balok atau momen nominal aktual balok, melainkan berdasarkan beban yang bekerja pada kolom itu sendiri. Hal ini membuat perencanaan kolom dan perencanaan balok dapat dibuat secara independen, tanpa harus menunggu perencanaan balok selesai.

Pola keruntuhan pada perencanaan *Pseudo* Elastis mengizinkan adanya sendi plastis pada ujung-ujung kolom interior seluruh lantai, sedangkan kolom eksteriornya tetap hanya diperbolehkan terjadi sendi plastis di ujung bawah kolom lantai terbawah seperti terlihat pada **Gambar 1 & 2**. Pola keruntuhan seperti ini mengadopsi pola keruntuhan yang diusulkan oleh Paulay (1995), yaitu *partial side sway mechanism*.



**Gambar 2.**  
**Portal Interior**

Ketika terjadi gempa, bangunan akan menerima gaya geser yang akan dipikul oleh keseluruhan kolom. Penyaluran gaya geser akan terus berlangsung dan menyebabkan terjadinya sendi plastis pada kolom-kolom yang direncanakan mengalami sendi plastis. Selanjutnya, kelebihan gaya geser yang terjadi akan dipikul oleh kolom-kolom elastis. Untuk membuat suatu bangunan yang mengalami beban gempa memenuhi kondisi *partial side sway mechanism* seperti yang telah dijelaskan di atas, perlu adanya perkuatan pada kolom elastis. Hal ini dapat dicapai dengan memberi suatu faktor pengali (FP) pada perhitungan beban gempa yang diterima oleh kolom elastis.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam penelitian ini, digunakan rumusan faktor pengali (FP) dan  $T_{plastis}$  yang merupakan hasil penelitian Muljati dan Lumantarna (2008). Rumusan tersebut dapat dilihat pada persamaan (1) dan (2).

$$FP = \frac{C^T}{C^{500th} \times \mu} \frac{f_1 \times n_{int} \times R_{int}}{n_{eks} \times R_{eks}} \quad (1)$$

$$T_{plastis} = 2,967 T_{elastis} + 0,313 \quad (2)$$

Keterangan :

$C^T$  = koefisien gempa target

$\mu$  = daktilitas struktur

$f_1$  = *overstrength factor* ( $f_1$ ) sebesar 1,6 (berasal dari perkalian faktor kuat bahan sebesar 1,28 dan faktor lebih bahan sebesar 1,25 sesuai SNI 03-1726-2002)

$n_{eks}$  = jumlah kolom eksterior

$n_{int}$  = jumlah kolom interior

$R_{eks}$  = rasio antara gaya geser dasar pada satu kolom eksterior dengan gaya geser dasar total akibat gempa nominal

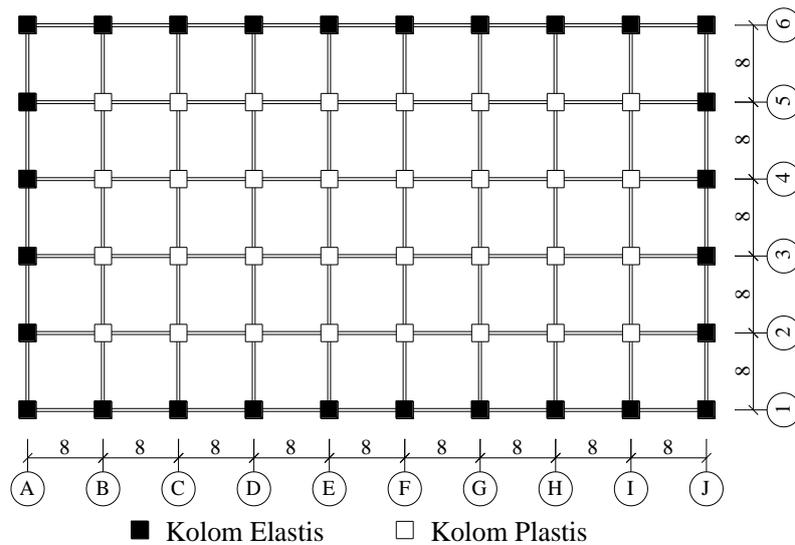
$R_{int}$  = rasio antara gaya geser dasar pada satu kolom interior dengan gaya geser dasar total akibat gempa nominal

$T_{plastis}$  = periode plastis struktur

$T_{elastis}$  = periode elastis struktur

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pertama-tama penulis menentukan denah bangunan berupa persegi panjang pada bangunan 6- dan 10-lantai dengan tiap bentang panjangnya 8 meter dan tinggi antar lantai 3,5 meter. Konfigurasi kolom elastis ditentukan pada kolom perimeter dan sisanya adalah kolom plastis. Denah struktur yang diteliti dapat dilihat pada **Gambar 3**.



**Gambar 3. Denah Struktur Bangunan yang Diteliti**

Langkah berikutnya adalah menentukan dimensi kolom dan balok. Elemen struktur didesain menggunakan metode *Pseudo* Elastis dari hasil analisa struktur ETABS v9.6 (Computer and Structures, Inc., 2009), sehingga dapat memenuhi kinerja batas layan dan ultimit serta persyaratan rasio tulangan longitudinal. Untuk menentukan dimensi balok dan kolom dilakukan *trial and error* berulang kali, sehingga ditemukan dimensi yang sesuai dengan kriteria desain. Pada penelitian kali ini digunakan kriteria desain sebagai berikut:

- Digunakan konfigurasi kolom elastis *perimeter*, supaya sejalan dengan penelitian sebelumnya.
- Digunakannya dimensi kolom yang seragam pada satu lantai, diharapkan asumsi penyaluran kelebihan gaya geser dapat lebih mudah dilihat ataupun diinterpretasikan.
- Tidak menggunakan rasio tulangan kolom plastis yang minimum, supaya tidak ada kolom plastis yang memiliki kapasitas momen yang berlebihan.

Data struktur yang digunakan dapat dilihat seperti pada **Tabel 1**.

**Tabel 1. Data dan Dimensi Struktur**

Bangunan	Lantai	Dimensi Kolom (mm)	Bangunan	Lantai	Dimensi Kolom (mm)
6-Lantai	1	950 × 950	10-Lantai	1	800 × 800
	2	750 × 750		2	700 × 700
	3	650 × 650		3-6	650 × 650
	4	650 × 650		7-8	600 × 600
	5	600 × 600		9	550 × 550
	6	550 × 550		10	500 × 500
<b>Data-data lain</b>					
Mutu Beton ( $f_c'$ )				30 MPa	
Mutu Tulangan Longitudinal				400 MPa	
Mutu Tulangan Transversal Balok				240 MPa	
Mutu Tulangan Transversal Kolom				400 MPa	
Dimensi Balok Induk Bangunan 6-Lantai				300 × 700 mm <sup>2</sup> (Lantai 1-3)	
				300 × 650 mm <sup>2</sup> (Lantai 4-6)	
Dimensi Balok Induk Bangunan 10-Lantai				300 × 700 mm <sup>2</sup> (Lantai 1-10)	

Setelah itu dilakukan pencarian *hinge properties* dengan bantuan program CUMBIA (Montejo,2007). Hasil dari program CUMBIA kemudian digunakan untuk *assign hinge properties* pada SAP 2000 v.11 (Computer and Structures, Inc., 2007). Dengan program SAP 2000 v.11 dilakukan *dynamic time*

*history non-linear analysis*. Gempa yang digunakan adalah gempa El Centro 18 Mei 1940 N-S yang telah dimodifikasi sesuai dengan respons spektrum gempa periode ulang 500 tahun dengan bantuan program Seismomatch v2.0.0 (Seismosoft, Ltd., 2011). Pembebanan gempa dilakukan terhadap arah memanjang dan melintang bangunan. Kemudian dilakukan pengujian terhadap distribusi gaya geser dasar serta pola keruntuhan. Jika memenuhi asumsi *Pseudo Elastis*, maka dapat dievaluasi kinerja bangunan apakah sesuai dengan *Asian Concrete Model Code* (International Committee on Concrete Model Code, 1999) dan *Applied Technology Council-40* (Applied Technology Council, 1996).

#### 4. HASIL DAN ANALISIS

Parameter yang dipakai untuk analisis meliputi distribusi gaya geser dasar dan pola keruntuhan yang terjadi. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian distribusi gaya geser dasar terhadap kedua arah gempa yang diambil pada keadaan sebagai berikut:

- Kondisi 1 : Semua komponen struktur masih dalam kondisi elastis (sesaat sebelum terbentuk sendi plastis pada balok).
- Kondisi 2 : Terjadi sendi plastis pada beberapa balok (sesaat sebelum ada kolom yang mengalami plastifikasi).
- Kondisi 3 : Diambil 2 *time instance* yang berbeda yaitu dalam kondisi ketika sudah ada kolom interior yang mencapai kondisi plastis.
- Kondisi 4 : Kondisi terakhir bangunan menerima pembebanan gempa atau sesaat sebelum ada komponen struktur yang mengalami fraktur.

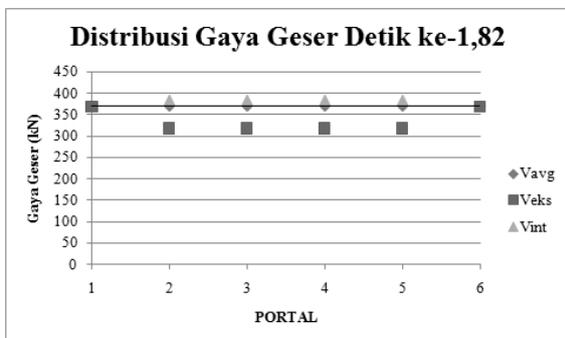
Dalam membuat grafik perbandingan gaya geser dasar dibutuhkan 3 persamaan, seperti dalam persamaan (3) - (5).

$$V_{avg} = \frac{\text{Total gaya geser dasar}}{\text{Jumlah kolom lantai dasar}} \quad (3)$$

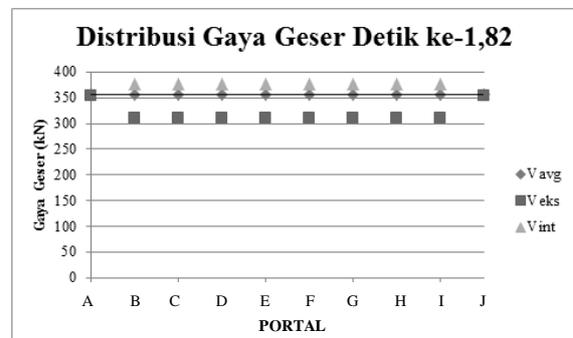
$$V_{eks \text{ ke } - i} = \frac{\text{Jumlah gaya geser dasar kolom eksterior pada portal ke } - i}{\text{Banyak kolom eksterior pada portal ke } - i} \quad (4)$$

$$V_{int \text{ ke } - i} = \frac{\text{Jumlah gaya geser dasar kolom interior pada portal ke } - i}{\text{Banyak kolom interior pada portal ke } - i} \quad (5)$$

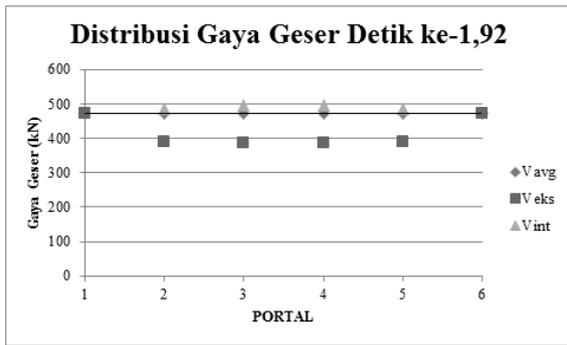
Pada kedua bangunan baik untuk pembebanan gempa arah memanjang (arah X) maupun melintang (arah Y) saat kondisi 1 & 2, distribusi gaya geser yang terjadi masih relatif sama. Hal tersebut bisa dilihat seperti pada **Gambar 4 - 11**. Walaupun pada portal interior, gaya geser dasar rata-rata kolom eksteriornya ( $V_{eks}$ ) lebih kecil dibandingkan gaya geser dasar rata-rata kolom interior pada portal tersebut ( $V_{int}$ ). Bisa dilihat bahwa baik nilai  $V_{eks}$  maupun  $V_{int}$  masih mendekati nilai gaya geser dasar rata-rata tiap kolom ( $V_{avg}$ ).



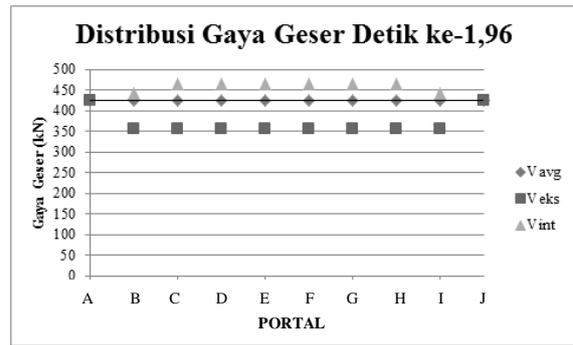
**Gambar 4. Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Tiap Portal pada Bangunan 6-Lantai dengan Arah Gempa X di Kondisi 1**



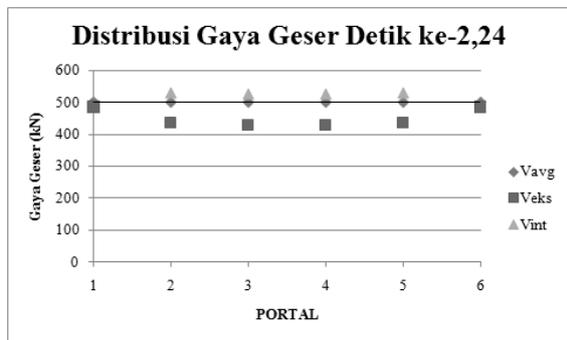
**Gambar 5. Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Tiap Portal pada Bangunan 6-Lantai dengan Arah Gempa Y di Kondisi 1**



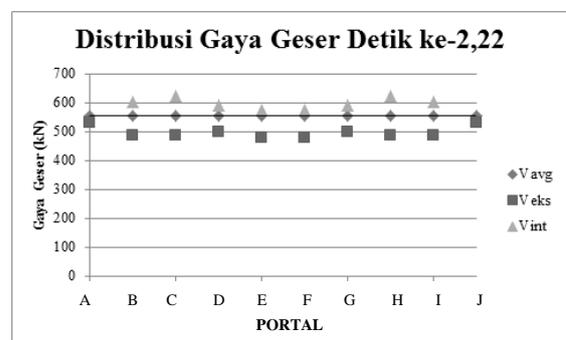
Gambar 6. Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Tiap Portal pada Bangunan 10-Lantai dengan Arah Gempa X di Kondisi 1



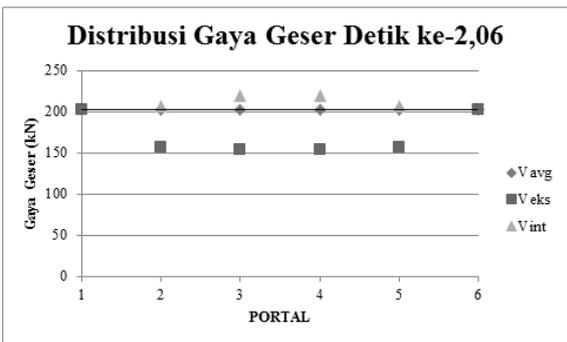
Gambar 7. Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Tiap Portal pada Bangunan 10-Lantai dengan Arah Gempa Y di Kondisi 1



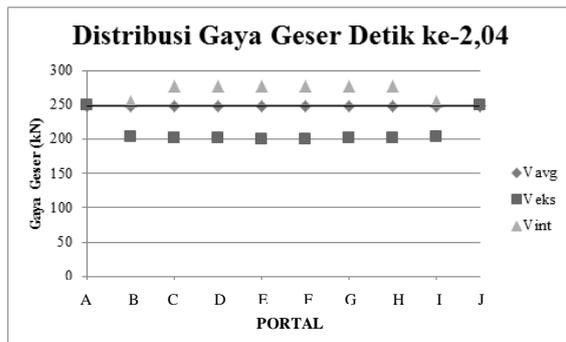
Gambar 8. Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Tiap Portal pada Bangunan 6-Lantai dengan Arah Gempa X di Kondisi 2



Gambar 9. Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Tiap Portal pada Bangunan 6-Lantai dengan Arah Gempa Y di Kondisi 2

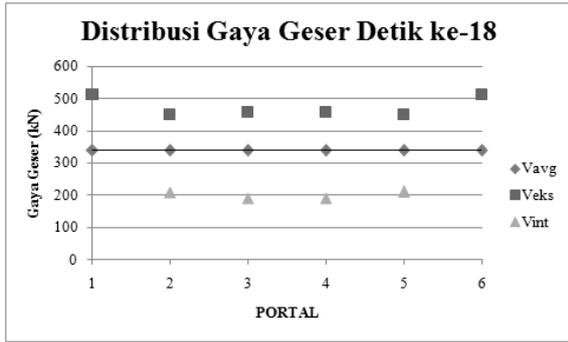


Gambar 10. Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Tiap Portal pada Bangunan 10-Lantai dengan Arah Gempa X di Kondisi 2

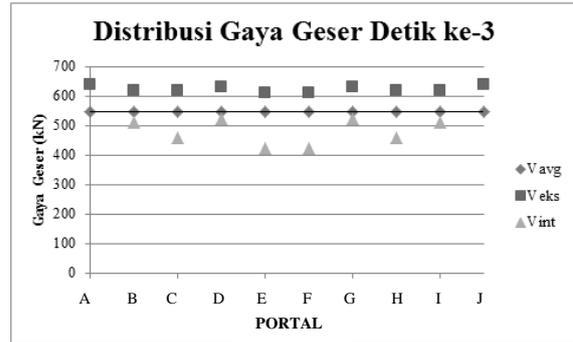


Gambar 11. Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Tiap Portal pada Bangunan 10-Lantai dengan Arah Gempa Y di Kondisi 2

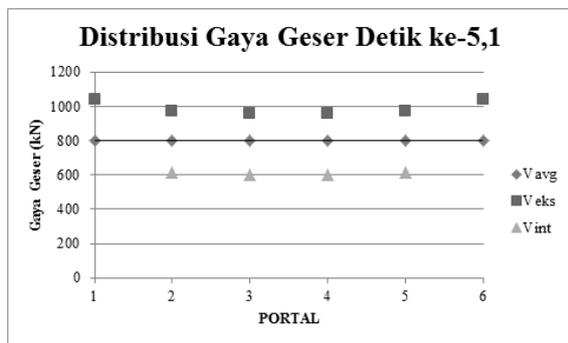
Pada kedua bangunan baik untuk pembebanan gempa arah arah-X dan -Y saat kondisi 3a (*time instance* pertama untuk kondisi 3), distribusi gaya geser dasar yang terjadi banyak diterima oleh kolom eksterior, kecuali untuk bangunan 10-lantai pembebanan gempa arah Y. Hal tersebut bisa dilihat seperti pada Gambar 12 - 15.



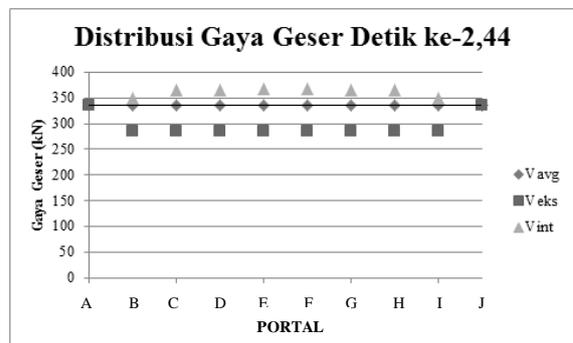
**Gambar 12. Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Tiap Portal pada Bangunan 6-Lantai dengan Arah Gempa X di Kondisi 3a**



**Gambar 13. Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Tiap Portal pada Bangunan 6-Lantai dengan Arah Gempa Y di Kondisi 3a**

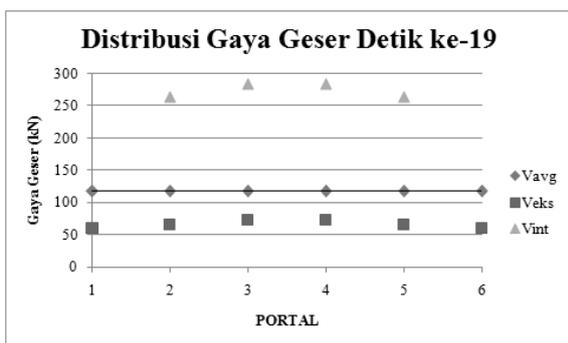


**Gambar 14. Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Tiap Portal pada Bangunan 10-Lantai dengan Arah Gempa X di Kondisi 3a**

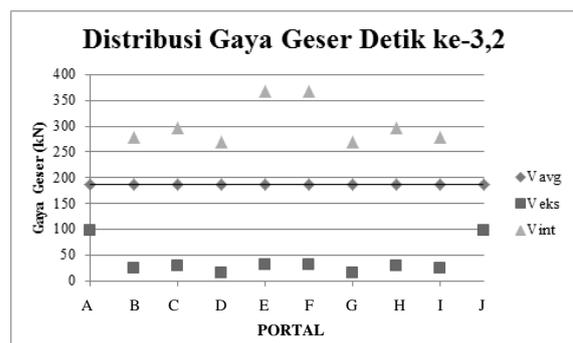


**Gambar 15. Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Tiap Portal pada Bangunan 10-Lantai dengan Arah Gempa Y di Kondisi 3a**

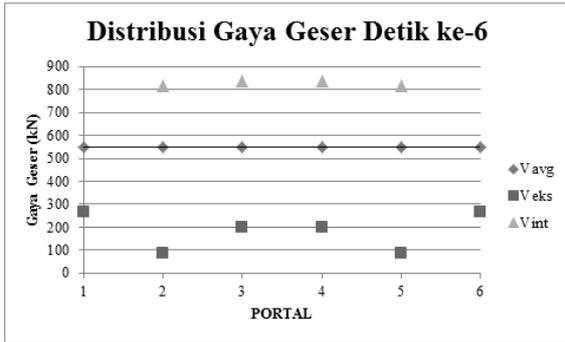
Pada kedua bangunan baik untuk pembebanan gempa arah arah-X dan -Y saat kondisi 3b (*time instance* kedua untuk kondisi 3), distribusi gaya geser dasar yang terjadi banyak diterima oleh kolom interior. Hal tersebut bisa dilihat seperti pada **Gambar 12 - 15**.



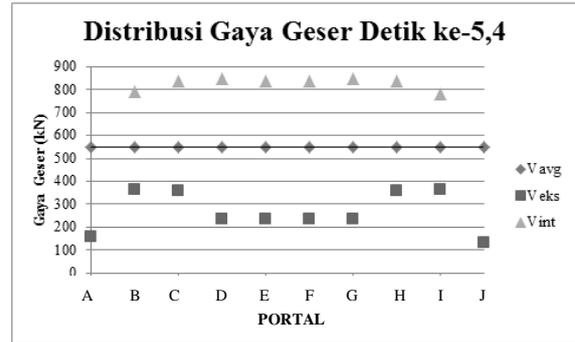
**Gambar 16. Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Tiap Portal pada Bangunan 6-Lantai dengan Arah Gempa X di Kondisi 3b**



**Gambar 17. Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Tiap Portal pada Bangunan 6-Lantai dengan Arah Gempa Y di Kondisi 3b**

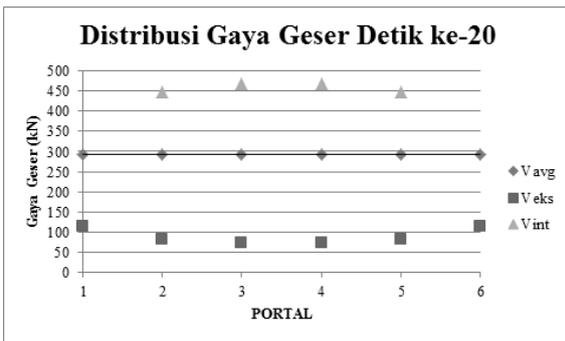


**Gambar 18. Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Tiap Portal pada Bangunan 10-Lantai dengan Arah Gempa X di Kondisi 3b**

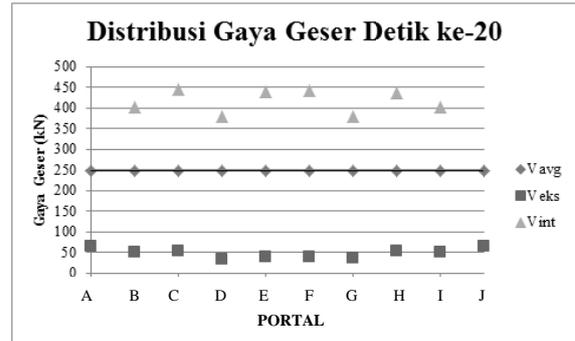


**Gambar 19. Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Tiap Portal pada Bangunan 10-Lantai dengan Arah Gempa X di Kondisi 3b**

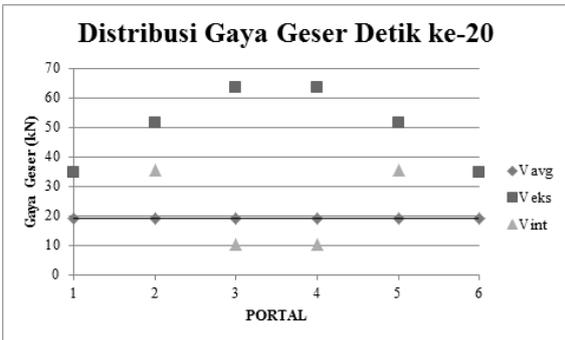
Pada bangunan 6-lantai untuk pembebanan gempa arah arah-X dan -Y saat kondisi 4, gaya geser dasar yang terjadi banyak diterima oleh kolom interior. Hal tersebut bisa dilihat seperti pada **Gambar 20 - 21**. Sedangkan, pada bangunan 10-lantai untuk pembebanan gempa arah arah-X dan -Y saat kondisi 4, gaya geser dasar yang terjadi banyak diterima oleh kolom eksterior. Hal tersebut bisa dilihat seperti pada **Gambar 22 - 23**.



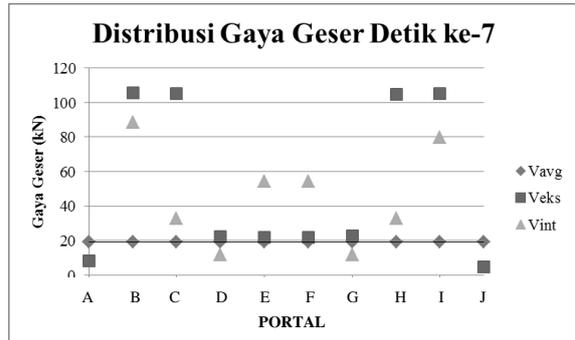
**Gambar 20. Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Tiap Portal pada Bangunan 6-Lantai dengan Arah Gempa X di Kondisi 4**



**Gambar 21. Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Tiap Portal pada Bangunan 6-Lantai dengan Arah Gempa X di Kondisi 4**



**Gambar 22. Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Tiap Portal pada Bangunan 10-Lantai dengan Arah Gempa X di Kondisi 4**



**Gambar 23. Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Tiap Portal pada Bangunan 10-Lantai dengan Arah Gempa Y di Kondisi 4**

Dari **Gambar 4 - 23** dapat diamati bahwa distribusi gaya geser dasar ketika kondisi masih elastis masih relatif merata, kemudian ketika kondisi bangunan sudah mengalami plastifikasi di berbagai tempat asumsi *Pseudo* Elastis tidak selalu terjadi. Hal ini ditandai dengan adanya kolom interior yang menerima gaya geser dasar yang lebih besar dibandingkan dengan kolom eksteriornya.

Pada bangunan 6-lantai untuk *time history analysis* pembebanan gempa arah-X dan -Y, keduanya telah memenuhi *partial side sway mechanism*. Pada bangunan 10-lantai untuk *time history analysis* pembebanan gempa arah X, bangunan telah memenuhi *partial side sway mechanism*. Sedangkan, untuk pembebanan gempa arah Y, bangunan mengalami *soft storey* di lantai 2.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil evaluasi distribusi gaya geser dan pola keruntuhan bangunan beraturan 6- dan 10-lantai berdenah persegi panjang di wilayah 6 peta gempa Indonesia yang direncanakan secara *Pseudo* Elastis, dapat ditarik kesimpulan bahwa asumsi penyaluran gaya geser dasar tidak selalu terjadi. Selain itu, pola keruntuhan *partial side sway mechanism* juga tidak selalu tercapai.

Saran untuk penelitian ini adalah meninjau kembali asumsi *Pseudo* Elastis sehingga dapat ditemukan ataupun disusun parameter-parameter yang lebih tepat pada rumusan FP.

## 6. DAFTAR REFERENSI

- Applied Technology Council. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1*. Applied Technology Council, California.
- Computer and Structures, Inc. (2009). *ETABS v9.6, Extended Three Dimensional Analysis of Building System Nonlinear Version 9.6.0*. Berkeley, California, USA: Author.
- Computer and Structures, Inc. (2007). *SAP v11, Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures Advanced 11.0.0*. Berkeley, California, USA: Author.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2002). *SNI-03-1726-2002. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Rumah dan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- International Committee on Concrete Model Code. (1999). *Asian Concrete Model Code Level 1 & 2 Documents*. Japan Concrete Institute, Tokyo.
- Montejo, Luis A. (2007). *CUMBIA*. Department of Civil, Construction, and Environmental Engineering. North Carolina State University, North Carolina, USA.
- Muljati, I. and Lumantarna, B. (2008). Performance of Partial Capacity Design on Fully Ductile Moment Resisting Frame in Highly Seismic Area in Indonesia. *The Eleventh East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-11)*. Taipei, November, 2008.
- Paulay, T. (1995). Special Issues in Seismic Design. *Structural Engineering International*, 5(1), 160-165.
- Seismosoft, Ltd. (2011). *Seismomatch*. Pavia, Italia: Author.