

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

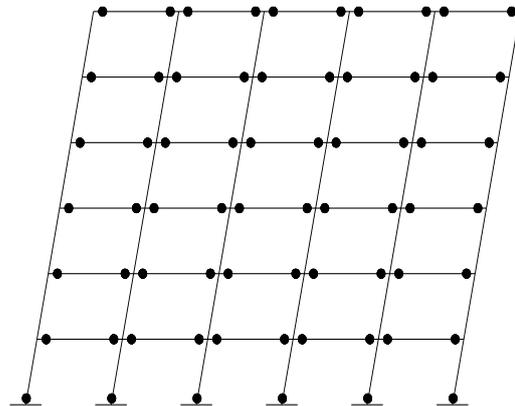
Go Aei Li¹, Sherly Sulistio², Ima Muljati G.³, Benjamin Lumantarna⁴

ABSTRAK : *Pseudo* Elastis adalah metode alternatif yang dikembangkan dalam perencanaan bangunan terhadap gempa dengan menggunakan pola keruntuhan *Partial Side Sway Mechanism*. Beberapa kolom didesain dengan suatu faktor pengali (FP) sebagai pembesar gaya untuk menjaga agar kolom tetap elastis selama terkena beban gempa, sedangkan kolom lainnya dan balok diijinkan mengalami sendi plastis. Metode ini tidak lagi berdasarkan desain kapasitas seperti pada umumnya, melainkan berdasarkan beban kombinasi yang bekerja. Tujuan dari penelitian ini adalah mengkritisi apakah asumsi pada konsep *Pseudo* Elastis mengenai distribusi gaya geser pada kolom interior ke kolom eksterior sudah benar dan bangunan memenuhi pola keruntuhan *Partial Side Sway Mechanism*. Bangunan yang diteliti adalah bangunan beraturan berbentuk persegi, 6- dan 10-lantai di wilayah 6 peta gempa Indonesia. Tulangan balok direncanakan sedekat mungkin dengan perhitungan teoritis. Distribusi gaya geser dan kinerja bangunan diuji dengan analisis *Time History Nonlinear* menggunakan program SAP2000v.11. Hasil penelitian menunjukkan bahwa distribusi gaya geser pada kolom interior tidak tersalurkan ke kolom eksterior dan pola keruntuhan *Partial Side Sway Mechanism* masih belum tercapai.

Kata kunci: *pseudo* elastis, faktor pengali, gaya geser dasar, *partial side sway mechanism*

1. PENDAHULUAN

Pola keruntuhan yang aman berdasarkan SNI 03-1726-2002 adalah *beam side sway mechanism*. Pola keruntuhan ini mensyaratkan sendi plastis hanya boleh terjadi pada ujung-ujung balok dan ujung bawah kolom lantai terbawah, karena itu kolom harus didesain lebih kuat dari balok yang dikenal dengan istilah *strong column weak beam* seperti tampak pada **Gambar 1**. Untuk mencapai *strong column weak beam* struktur didesain dengan cara Desain Kapasitas (*Capacity Design*). Dalam metode ini kekuatan momen nominal kolom diperoleh dari momen nominal aktual balok yang diperbesar dengan dikalikan suatu *overstrength factor*. Konsep Desain Kapasitas kurang efektif dari segi waktu karena harus melalui langkah perencanaan sekuensial yang relatif panjang dimana perencanaan kolom baru dapat dilakukan setelah perencanaan balok selesai dilaksanakan.



Gambar 1. Pola Keruntuhan *Beam Side Sway Mechanism*

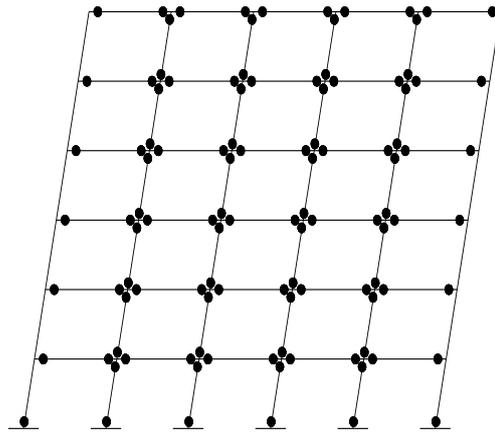
¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, aeili_91@yahoo.com.

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, sherlysulistio81@yahoo.com.

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

⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, bluman@peter.petra.ac.id.

Untuk mengatasi hal tersebut, diusulkan alternatif perencanaan dengan metode *Pseudo 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. Konsep ini menggunakan pola keruntuhan *partial side sway mechanism* (Paulay, 1995) dan memperkenankan terjadinya sendi plastis pada ujung-ujung kolom interior seluruh lantai, sedangkan pada kolom eksteriornya tetap hanya diperbolehkan terjadi sendi plastis di ujung bawah kolom lantai terbawah seperti terlihat pada **Gambar 2**. Kondisi elastis dipertahankan pada kolom eksterior, sedangkan kolom interior diperbolehkan mencapai kondisi plastis dengan memperhatikan stabilitas, daktilitas, dan menghindari *Soft Story Mechanism*.



Gambar 2. Pola Keruntuhan *Partial Side Sway Mechanism*

Pada konsep *Pseudo Elastis* ini, saat bangunan mengalami gempa, gaya geser yang terjadi akan dipikul oleh keseluruhan kolom pada bangunan. Hal ini berlangsung hingga terjadi sendi plastis pada kolom-kolom yang memang diizinkan mengalami sendi plastis. Selanjutnya, kelebihan gaya geser yang terjadi akan dipikul oleh kolom-kolom yang tidak diizinkan mengalami sendi plastis. Oleh karena itu, kolom-kolom yang tidak diizinkan untuk mengalami sendi plastis harus didesain lebih kuat daripada kolom-kolom yang diizinkan untuk mengalami sendi plastis. Hal tersebut dapat dicapai dengan pemberian suatu faktor pengali (FP) pada perhitungan beban yang diterima oleh kolom tersebut.

Penelitian sebelumnya berorientasi pada modifikasi rumusan FP sampai ditemukannya rumusan yang terbukti menghasilkan kinerja yang baik (Muljati dan Lumantarna, 2008). Perumusan tersebut telah dibuktikan ke-*valid*-annya pada bangunan beraturan (Atmadja dan Wijoyo, 2009) maupun bangunan tidak beraturan. Penelitian Atmadja dan Wijoyo (2009) menggunakan dimensi kolom yang sama pada kolom eksterior maupun interior, bangunan sudah mengalami mekanisme keruntuhan *Partial Side Sway Mechanism* tetapi skenario kolom eksterior yang didesain sebagai kolom elastis mengakibatkan tulangan kolom interiornya didesain berdasarkan rasio luasan tulangan minimum. Sedangkan penelitian Hadiwijaya dan Rosita (2009) menggunakan dimensi kolom yang berbeda, yaitu dimensi kolom eksterior lebih besar daripada interior, dan mendapatkan bahwa bangunan di wilayah gempa 2 masih belum memenuhi pola keruntuhan *Partial Side Sway Mechanism* (Hadiwijaya dan Rosita, 2009). Penelitian Chandra dan Dhannyanto (2003) menggunakan tulangan balok yang sedekat mungkin dengan kebutuhan teoritis dan perbedaan antara dimensi kolom interior, kolom eksterior, dan kolom sudut menghasilkan bahwa tulangan yang diperlukan untuk kolom elastis masih terlalu banyak sehingga dapat disimpulkan bahwa kolom elastis masih kurang jumlahnya.

Dari seluruh penelitian tersebut, belum pernah dilakukan pengecekan terhadap asumsi distribusi gaya geser yang terjadi pada konsep *Pseudo Elastis*. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memeriksa apakah asumsi yang digunakan dalam konsep *Pseudo Elastis* mengenai distribusi gaya geser dari kolom interior ke kolom eksterior setelah terjadi plastifikasi sudah benar pada bangunan beraturan 6- dan 10-lantai di wilayah 6 peta gempa Indonesia.

2. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengkritisi apakah asumsi pada konsep *Pseudo Elastis* mengenai distribusi gaya geser pada kolom interior ke kolom eksterior sudah benar dan bangunan memenuhi pola keruntuhan *Partial Side Sway Mechanism* pada bangunan beraturan 6- dan 10-lantai dengan denah persegi di wilayah 6 peta gempa Indonesia.

3. LANDASAN TEORI

Perencanaan *Pseudo* Elastis mengacu pada pola keruntuhan *Partial Side Sway Mechanism* dimana kolom interior dan balok interior diijinkan mengalami kondisi plastis. Saat terjadi gempa, seluruh kolom pada bangunan akan secara bersama-sama menerima gaya geser yang terjadi hingga kolom interior dan balok interior tersebut mencapai kondisi plastis. Kelebihan gaya geser yang tidak bisa dipikul oleh kolom interior selanjutnya diterima oleh kolom eksterior. Kolom eksterior harus tetap dalam kondisi elastis kecuali pada ujung bawah kolom lantai dasar. Oleh karena itu, kolom eksterior harus didesain lebih kuat daripada kolom interior, yaitu didesain berdasarkan gempa nominal yang dikalikan dengan suatu Faktor Pengali (FP). Faktor pengali diperoleh dengan membandingkan gaya geser portal eksterior akibat gempa target dengan gempa nominal. Menurut Muljati dan Lumantarna (2008), perumusan faktor pengali seperti pada **Persamaan 1**.

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

keterangan:

FP = faktor pengali untuk kolom elastis

C^T = koefisien gempa target berdasarkan periode plastis

C^{500th} = koefisien gempa nominal berdasarkan periode elastis

n_{int} = jumlah kolom interior

n_{eks} = jumlah kolom eksterior

R_{int} = rasio antara *base shear* pada kolom interior dengan *base shear* total akibat gempa nominal

R_{eks} = rasio antara *base shear* pada kolom eksterior dengan *base shear* total akibat gempa nominal

μ = nilai faktor daktilitas struktur gedung

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

Rumusan FP ini telah memperhitungkan respons plastis bangunan setelah terkena gempa, yang diwakili oleh koefisien gempa target (C^T). Koefisien ini diperoleh dari respons spektrum elastis bangunan pada SNI 03-1726-2002 yang menggunakan periode natural bangunan setelah mengalami plastifikasi. Periode plastis ($T_{plastis}$) lebih besar dibanding saat masih elastis karena kekakuan bangunan berkurang akibat terjadinya plastifikasi. Periode plastis didapatkan dari regresi hubungan antara periode elastis dan plastis bangunan (Muljati *et al*, 2006) yang dirumuskan pada **Persamaan 2**.

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

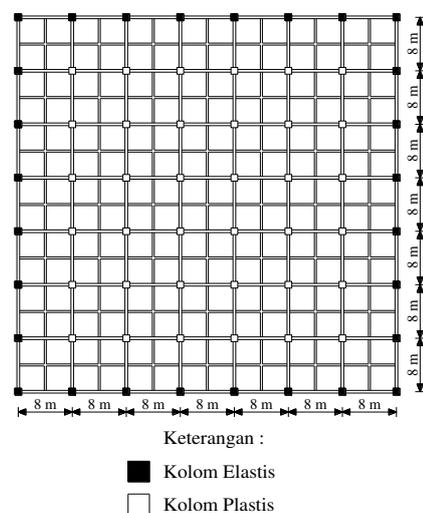
keterangan:

$T_{plastis}$ = periode bangunan setelah mengalami plastifikasi

$T_{elastis}$ = periode bangunan saat masih elastis

4. BANGUNAN YANG DITINJAU

Bangunan yang diteliti adalah bangunan beraturan berbentuk persegi, 6- dan 10-lantai dengan jumlah bentang 7 baik untuk arah-x maupun arah-y. Bangunan memiliki panjang setiap bentang 8 meter dan tinggi setiap lantai 3,5 meter. Fungsi bangunan sebagai bangunan perkantoran yang berdiri di atas tanah lunak di wilayah 6 peta gempa Indonesia. Struktur bangunan direncanakan dengan metode *Pseudo* Elastis secara 3 dimensi. Perencanaan struktur dilakukan berdasarkan batasan-batasan, yaitu dimensi kolom eksterior dan interior yang seragam, kolom eksterior sebagai kolom elastis, serta tidak menggunakan tulangan minimum pada perencanaannya. Denah struktur dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Denah Struktur Bangunan 6- dan 10-Lantai

5. DESAIN DAN ANALISIS

Dimensi kolom eksterior dan interior direncanakan seminimum mungkin serta harus memenuhi kinerja batas layan dan batas ultimit. **Tabel 1** memperlihatkan data-data ukuran dan dimensi struktur bangunan yang digunakan.

Pemodelan struktur bangunan dilakukan dengan menggunakan program ETABSV.9.6.0 (Computer and Structures, Inc., 2005) dan diberikan pembebanan berupa beban mati, hidup, dan gempa yang dihitung secara statik ekuivalen. Hubungan *rigid* pada join-join balok dan kolom ditentukan dengan input *rigid zone factor* sebesar 1. Nilai *output* dari program berupa nilai momen, gaya geser, maupun gaya aksial akan digunakan sebagai perencanaan balok dan kolom.

Balok akan dihitung dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sesuai SNI 03-2847-2002. Dalam penelitian ini, tulangan balok direncanakan sedekat mungkin dengan tulangan teoritis, karena itu digunakan tiga macam tulangan yang berbeda pada perencanaan. Kolom plastis maupun elastis direncanakan langsung berdasarkan *output* gaya yang didapatkan dan perencanaannya menggunakan 18 kombinasi pembebanan menurut faktor beban dengan memperhatikan efek gempa tegak lurus sebesar 30%. Bedanya, kolom elastis didesain dengan suatu faktor pengali FP yang dihitung berdasarkan **Persamaan 1**.

Analisis kinerja bangunan menggunakan analisis *Time History Nonlinear* yang dijalankan menggunakan program SAP2000v.11 (Computer and Structures, Inc., 2001) dengan meng-*input* kapasitas struktur bangunan pada *Hinge Properties*. Kapasitas balok dan kolom didapatkan berdasarkan *output* hubungan *moment-curvature* dengan menggunakan program CUMBIA (Montejo, Luis A, 2007). Program ini tidak dapat menghasilkan *output* grafik *moment-curvature* untuk momen positif dan momen negatif secara bersamaan karena itu diperlukan dua kali peng-*input*-an.

Beban gempa pada *Time History Function* menggunakan data gempa El-Centro 15 Mei 1940 N-S yang dimodifikasi sesuai Wilayah 6 Peta Gempa Indonesia dengan periode ulang 500 tahun jenis tanah lunak. Modifikasi tersebut menggunakan program *SeismoMatch* (Seismosoft, Ltd, 2012). Selanjutnya penentuan letak sendi plastis di-*input*-kan pada ujung-ujung balok dan kolom.

6. PENGUJIAN ASUMSI DISTRIBUSI GAYA GESER PADA KONSEP PSEUDO ELASTIS

Pengujian asumsi distribusi gaya geser dasar pada konsep *Pseudo* Elastis diambil gaya geser dasar bangunan yang diuji pada kondisi sebagai berikut:

1. Balok dan kolom masih berada dalam kondisi elastis.
2. Terjadi sendi plastis pada balok, sedangkan kolom masih belum terjadi sendi plastis.
3. Mulai terjadinya sendi plastis pada kolom interior.
4. Selang beberapa detik setelah mulai terjadinya sendi plastis.
5. Mulai terjadinya sendi plastis pada kolom eksterior.
6. Kondisi terakhir bangunan.

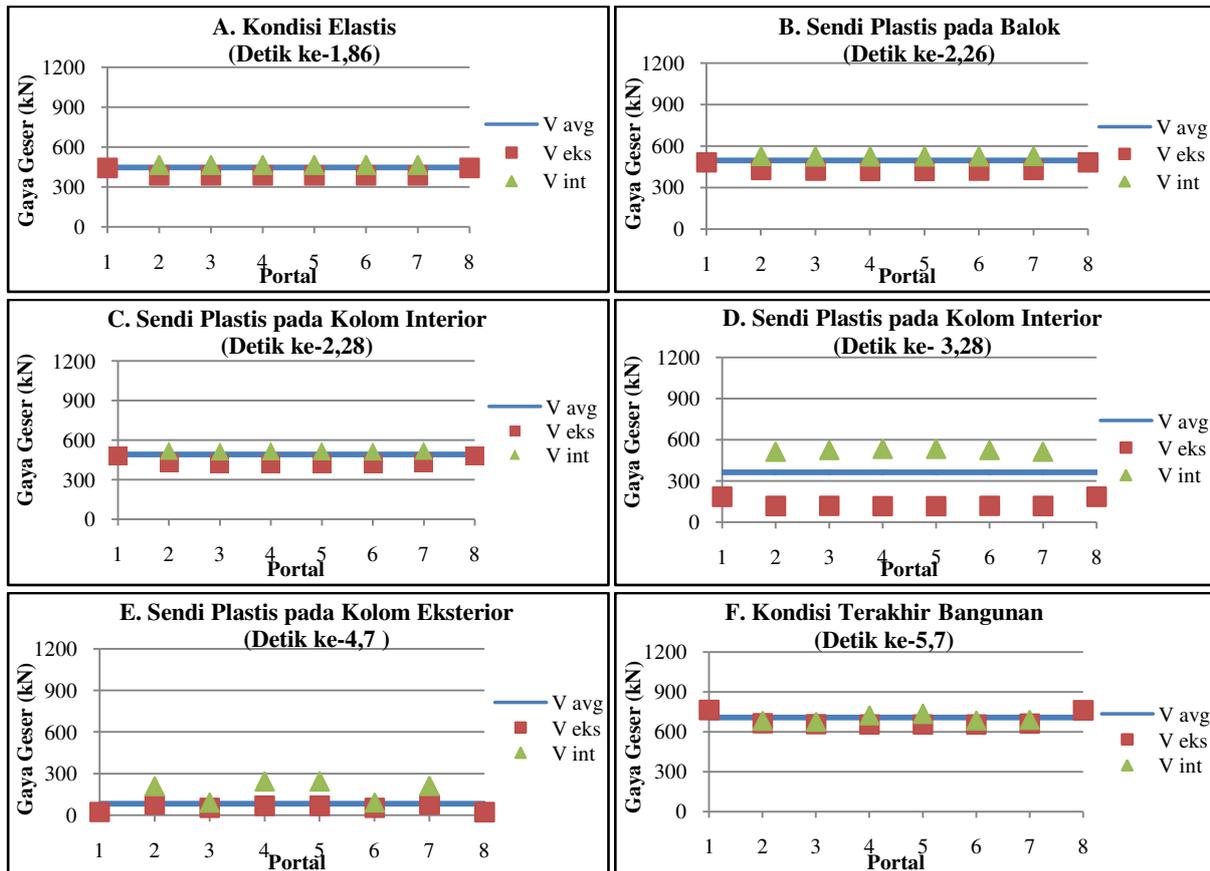
Tabel 1. Data-data Ukuran dan Dimensi Struktur Bangunan

Mutu Beton (f_c') = 30 MPa Mutu Tulangan Longitudinal (f_y) = 400 MPa Mutu Tulangan Transversal Balok (f_y) = 240 MPa Mutu Tulangan Transversal Kolom (f_y) = 400 MPa		
Data	Bangunan I	Bangunan II
Jumlah Lantai	6 Lantai	10 Lantai
Tebal Pelat	12 cm	
Balok Anak	300x500 mm ²	
Balok Induk	500x700 mm ²	500x 650 mm ²
Kolom	Ukuran (mm ²)	
Lantai 1	900x900	1000x1000
Lantai 2	750x750	800x800
Lantai 3 & 4	650x650	750x750
Lantai 5	600x600	750x750
Lantai 6	550x550	650x650
Lantai 7 & 8		650x650
Lantai 9		600x600
Lantai 10		500x500

Untuk memudahkan dalam membandingkan distribusi gaya geser dasar yang terjadi pada kondisi yang diuji, dibuat suatu grafik dimana nilai didapatkan dari jumlah kolom eksterior atau interior pada setiap portal dibagi dengan jumlah kolom eksterior atau interior pada portal tersebut.

6.1. Gaya Geser Dasar pada Bangunan 6-Lantai

Pada bangunan 6-lantai, gaya geser dasar yang terjadi pada kolom interior memiliki kecenderungan mengalami peningkatan dan tidak tersalurkan ke kolom eksterior yang dapat dilihat pada **Gambar 4**.

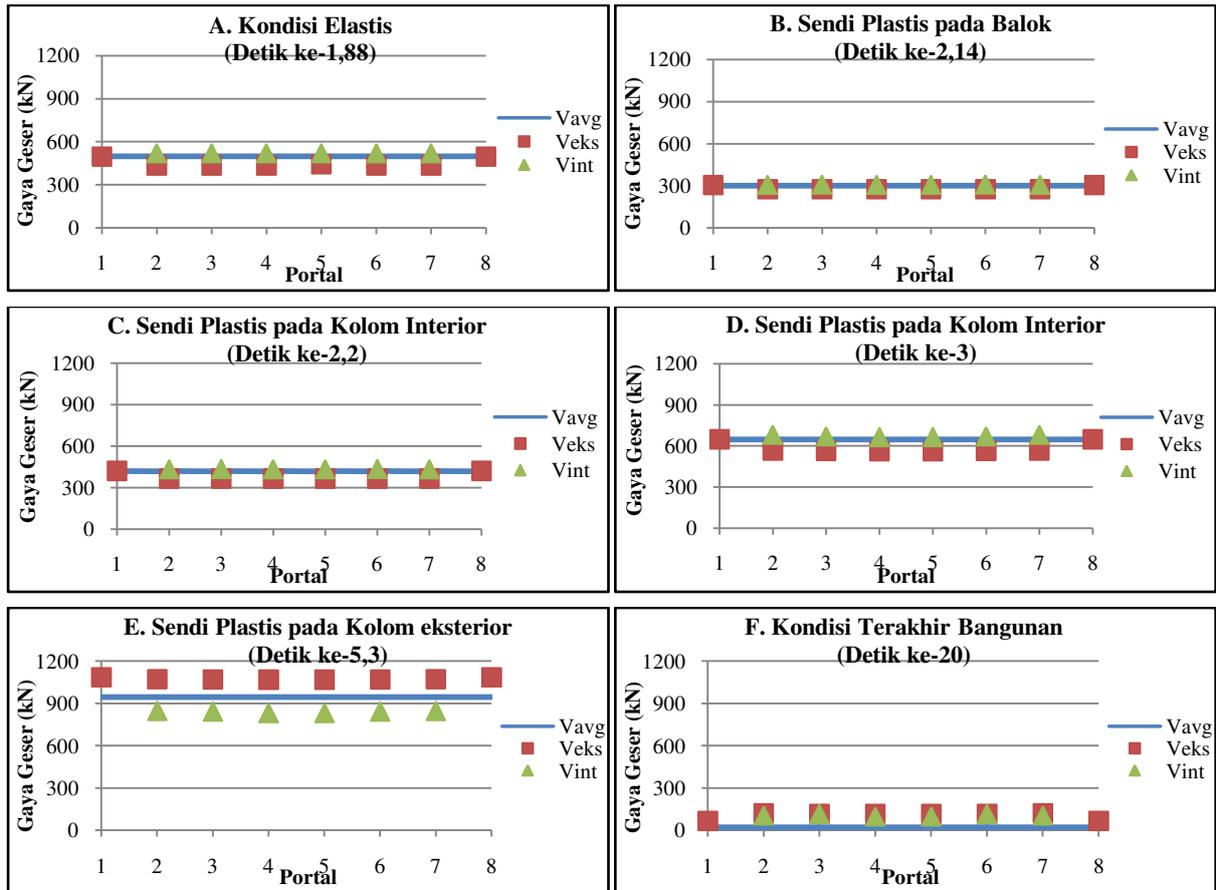


Gambar 4. Base Shear pada Bangunan 6-Lantai

Pada saat bangunan dalam kondisi elastis distribusi gaya geser antara kolom eksterior dan interior dapat tersebar secara merata seperti pada **Gambar 4A**. Demikian pula, saat bangunan dalam kondisi balok sudah mengalami plastifikasi dan kolom masih berada dalam kondisi elastis seperti pada **Gambar 4B**. Sedangkan pada saat kolom interior mulai terjadi sendi plastis seperti pada **Gambar 4C** dan **4D**, distribusi gaya geser dasar menjadi tidak beraturan sehingga asumsi konsep *Pseudo* Elastis tidak sesuai.

6.2. Gaya Geser pada Bangunan 10 Lantai

Pada bangunan 10-lantai, gaya geser dasar yang terjadi pada kolom eksterior maupun interior dalam beberapa kondisi yang telah ditentukan memiliki kecenderungan mendekati nilai gaya geser rata-rata. Hal tersebut dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Base Shear Bangunan 10-Lantai Saat Kolom Interior Terjadi Sendi Plastis

Pada bangunan 10-lantai, asumsi konsep *Pseudo* Elastis telah terpenuhi. Hal ini dapat terlihat dari terjadinya distribusi gaya geser dasar pada kolom interior ke kolom eksterior dalam kondisi elastis seperti pada Gambar 5A, terjadi sendi plastis pada balok seperti pada Gambar 5B, maupun saat kolom interior mengalami sendi plastis seperti pada Gambar 5C dan 5D.

6.3. Evaluasi Kinerja Struktur

Pada bangunan 6-lantai hanya bisa diambil sampai detik ke-5,92 karena terjadi kerusakan yang sangat parah pada kolom interior lantai 3, selain itu hasil bangunan menunjukkan terjadinya sendi plastis pada kolom eksterior. Sedangkan pada bangunan 10-lantai, bangunan dapat bertahan sampai pada detik ke-20, namun terdapat beberapa kolom eksterior yang mengalami sendi plastis. Oleh karena itu, kedua bangunan tidak memenuhi pola keruntuhan *Partial Side Sway Mechanism*.

7. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja bangunan yang direncanakan secara pseudo elastis, dapat ditarik kesimpulan bahwa asumsi konsep *Pseudo* Elastis mengenai distribusi gaya geser dasar kolom interior ke kolom eksterior kurang tepat karena ketika kolom interior mulai mengalami sendi plastis, kelebihan gaya geser pada kolom interior tidak tersalurkan ke kolom eksterior. Pola keruntuhan *partial side sway mechanism* juga tidak tercapai.

Saran yang dapat diberikan dengan melihat kinerja bangunan yang terjadi, yaitu diperlukan perbaikan terhadap rumusan faktor pengali agar dapat digunakan dengan baik pada perencanaan *Pseudo* Elastis.

8. DAFTAR REFERENSI

- Atmadja, K. G. dan Wijoyo, B. (2009). *Evaluasi Kinerja Bangunan dengan Metode Pseudo Elastis pada Wilayah 6 Peta Gempa Indonesia*. (TA No.11011657/SIP/2009). Jurusan Teknik Sipil. Universitas Kristen Petra. Surabaya.
- Chandra, A. dan Dhannyanto. (2003). *Alternatif Perencanaan Struktur Rangka Beton Bertulang dengan Pseudo Elastis*. (TA No.1297/SIP/2003). Jurusan Teknik Sipil. Universitas Kristen Petra. Surabaya.
- Computer and Structures, Inc. (2005). *ETABsv9.6.0, Extended Three Dimensional Analysis Of Building System*. Berkeley, California, USA: Author.
- Computer and Structures, Inc. (2001). *SAP2000 version 11: Structures Analysis Program*. Berkeley, California, USA: Author.
- Hadiwijaya, I. P. dan Rosita (2009). *Evaluasi Efisiensi Perencanaan Pseudo Elastis terhadap Desain Kapasitas Sesuai SNI 03-2847-2002*. (TA No.11011694/SIP/2009). Jurusan Teknik Sipil. Universitas Kristen Petra. Surabaya.
- Montejo, Luis A. (2007). *CUMBIA*. Department of Civil, Construction, and Environmental Engineering. North Carolina State University. USA: North Carolina.
- 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.