

## SEISMIC COLUMN DEMANDS PADA SISTEM RANGKA BRESING KONSENTRIK KHUSUS DENGAN BRESING TIPE X DUA TINGKAT

Junaedi Utomo

Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta  
Email: utomo@mail.uajy.ac.id

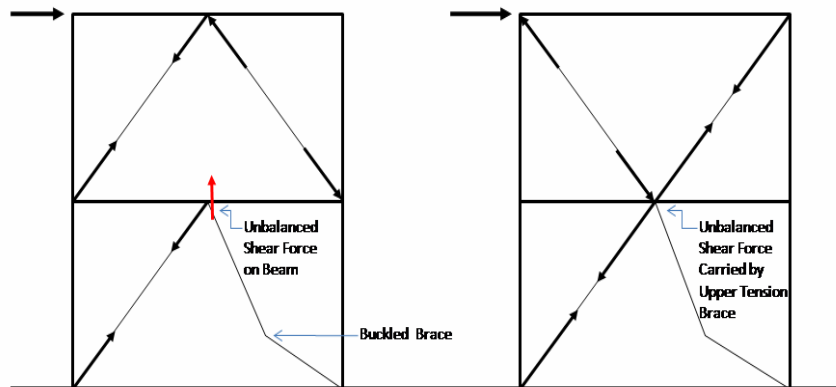
### ABSTRAK

Keuntungan Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus (SRBKK) dalam desain baja seismik adalah faktor R tinggi dan kontrol terhadap *drift* yang sederhana. Bresing tipe Chevron saat ini banyak dihindari pemakaiannya karena mengharuskan balok untuk dirancang terhadap gaya tidak seimbang yang timbul akibat redistribusi gaya gaya dalam saat bresing yang mengalami gaya desak tertekuk. Alternatif bresing Chevron adalah bresing tipe X dua tingkat (*two-story X bracing*) yang bisa menahan gaya tidak seimbang pada balok sehingga penampang balok menjadi lebih kecil. Namun hasil studi pada tiga SRBKK (3, 9 dan 18 tingkat) oleh Richards (2009) dengan analisis beban dorong statik dan analisis dinamik non-linier dengan 10 rekaman gempa menunjukkan bahwa *normalized column demands* yaitu rasio antara gaya aksial maksimum ( $P_u$ ) terhadap gaya aksial beban lateral elastik ekuivalen ( $P_e$ ) mencapai  $P_u/P_e = 4,2$  untuk kolom tingkat pertama dan kedua pada SRBKK 3 tingkat,  $2,2 \leq P_u/P_e \leq 4,8$  untuk semua kolom pada SRBKK 9 tingkat dan  $1,8 \leq P_u/P_e \leq 5,0$  untuk kolom tingkat lima ke atas pada SRBKK 18 tingkat. Hasil studi ini menunjukkan bahwa *seismic column demands* ( $P_u$ ) pada SBKK dengan tingkat rendah dan sedang bisa melebihi  $\Omega_0 P_e = 2 P_e$  untuk  $\frac{M_u}{r} \leq 4\sqrt{\frac{E}{F_y}}$  yang dipakai dalam desain ( $\Omega_0 = 2$  pada ICC 2006). Kajian terhadap hasil studi ini menunjukkan tekuk pada bresing menyebabkan redistribusi gaya gaya dalam sehingga menaikkan sangat drastis beban aksial kolom, jauh lebih besar dari *system overstrength factor* hasil analisis beban dorong statik. Jadi desain kolom pada SRBKK dengan tipe bresing X dua tingkat harus memperhatikan redistribusi beban setelah bresing desak tertekuk, sama seperti desain balok pada SRBKK dengan bresing tipe Chevron, kolom harus dirancang berdasar gaya aksial maksimum yang besarnya tergantung pada kapasitas tarik dari bresing. Prinsip perencanaan kapasitas dipakai untuk menentukan besar gaya aksial kolom maksimum.

Kata Kunci: Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus, bresing tipe X dua tingkat, tekuk pada bresing, gaya aksial kolom, perencanaan kapasitas.

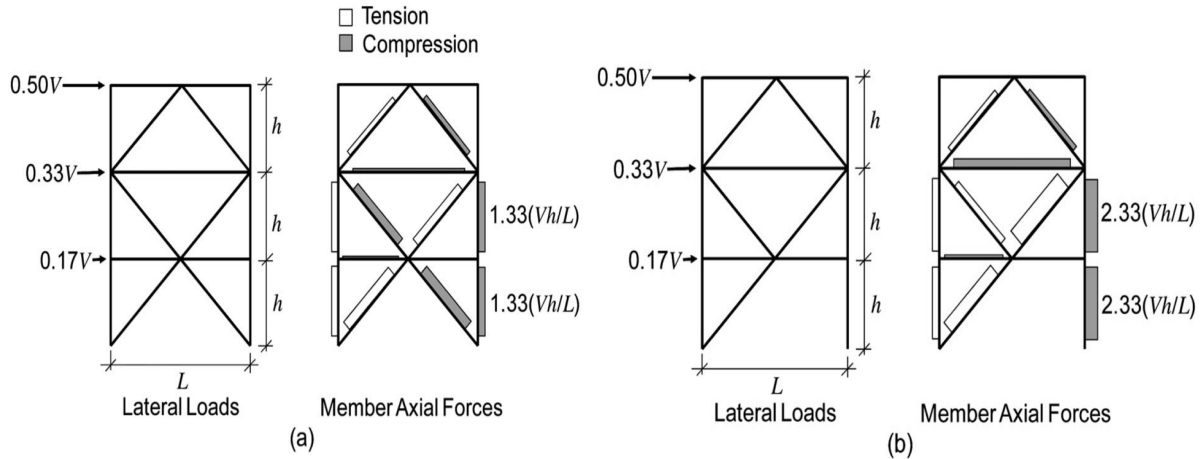
### 1. PENDAHULUAN

Hewitt, Sabelli dan Bray[3] menganjurkan agar bresing jenis Chevron dihindari karena mengharuskan balok dirancang terhadap gaya tidak seimbang yang terjadi akibat redistribusi gaya gaya dalam saat bresing yang mengalami desak tertekuk (**gambar 1**).



Gambar 1. Perbandingan antara *unbalanced vs. balanced* pada sambungan Chevron

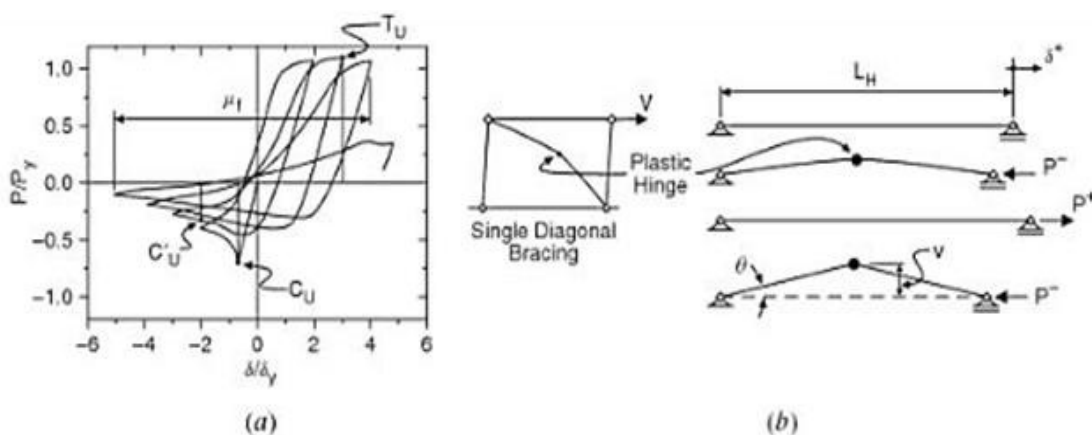
Alternatif yang lebih baik adalah memakai bresing tipe X dua tingkat dimana bresing pada tingkat atas yang menahan tarik akan menahan gaya tidak seimbang pada balok sehingga dimensi balok menjadi lebih kecil. Namun hasil studi dari Richards [4] pada SRBKK dengan bresing tipe X dua tingkat menunjukkan bahwa gaya aksial pada kolom sensitif terhadap tekuk pada bresing (**gambar 2**) sehingga perancangan SRBKK dengan bresing tipe X dua tingkat juga memerlukan perhatian khusus seperti perancangan SRBKK dengan bresing tipe Chevron.



**Gambar 2.** Gaya gaya pada SRBKK dengan bresing tipe X dua tingkat: (a) sebelum ada bresing yang dihilangkan; (b) sesudah ada bresing yang dihilangkan (tekuk)

## 2. PREDIKSI KEBUTUHAN GAYA AKSIAL KOLOM PADA SRBKK DENGAN BRESING TIPE X DUA TINGKAT

Pada SRBKK bresing bekerja sebagai elemen daktail yang dirancang untuk bisa mencapai kekuatannya. Disipasi energi gempa terjadi melalui kelelahan tarik dan tekuk inelastik pada bresing. Bresing diharapkan mengalami tekuk pada simpangan antar tingkat kecil (kisaran antara 0.25% – 0.5%). Sendi plastis terbentuk pada bagian tengah bresing dan pada ujung ujung bresing. Respons histeretis beban aksial terhadap deformasi aksial pada bresing baja dengan kelangsingan sedang yang mengalami deformasi siklis inelastis ditunjukkan oleh **gambar 3** [6].

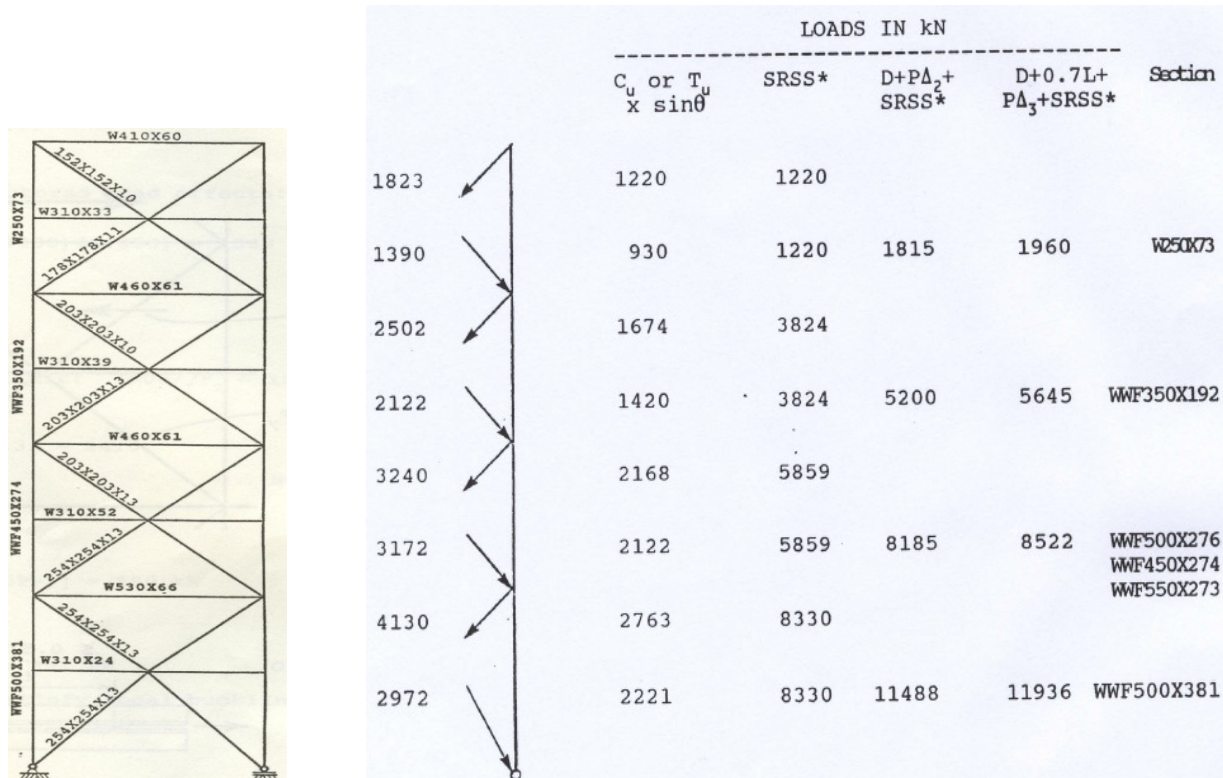


**Gambar 3.** (a) Respons histeretic bresing; (b) Kelelahan tarik dan tekuk inelastis pada bresing diagonal tunggal.

Pada SRBKK ada ketidakpastian terhadap besarnya beban yang dipakai untuk perancangan karena adanya kelelahan pada bresing yang berpengaruh pada perancangan kolom, balok dan sambungan. SRBKK dengan bresing tipe X dua tingkat punya kesulitan tersendiri untuk menentukan besar gaya aksial untuk merancang kolom.

## 2.1. Prediksi Dengan Prosedur *Square-Root-Sum-of-the-Squares* (SRSS)

Pada SRBKK dengan bresing tipe X dua tingkat, komponen vertikal dari kelelahan tarik dan tekuk inelastis pada bresing ( $C_u$  dan  $T_u$  pada **gambar 3**) diteruskan ke kolom seperti ditunjukkan oleh **gambar 4** berikut. Tampaknya kurang logis untuk mengambil asumsi bahwa semua bresing mencapai kekuatan ultimitnya secara simultan, perlu ada semacam aturan kombinasi beban untuk memprediksi besar gaya aksial rencana pada kolom. Aturan kombinasi untuk bresing tipe X dua tingkat yang tepat menurut Redwood dan Channagiri (1991) adalah mengambil gaya induksi dari dua bresing pada kolom sebesar komponen-komponen bresing vertikal maksimum pada level di atas yang ditinjau, ditambah dengan akar dari jumlah kuadrat dari semua komponen pada level level lain di atas kolom yang ditinjau.



**Gambar 4.** Prosedur *Square-Root-Sum-of-the-Squares* (SRSS)

Dari **gambar 4**, gaya aksial kolom pada level 5 dengan prosedur SRSS adalah:  $2168 + 1420 + \sqrt{1674^2 + 930^2 + 1220^2} = 5859$  kN. Gaya aksial kolom tidak perlu lebih dari dua kali gaya aksial kolom akibat beban beban terfaktor. Lacerte dan Tremblay (2006) menunjukkan bahwa untuk gedung baja sampai dengan 12 tingkat, prosedur SRSS mungkin menghasilkan prediksi *underestimate* terhadap gaya aksial kolom.

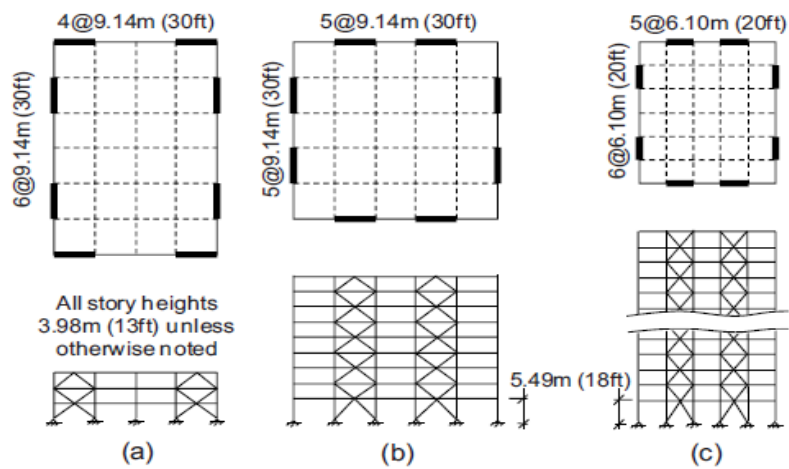
## 2.2. Prediksi Dengan Faktor Kuat Cadang Struktur ( $\Omega_0$ )

Dalam perancangan SRBKK, kebutuhan untuk menentukan gaya maksimum pada kolom bisa dilakukan dengan mengkalikan efek beban seismik yang didapat dari hasil analisis elastis dengan faktor kuat cadang struktur ( $\Omega_0$ ). Saat SRBKK dilanda gempa, terjadi gaya gaya dalam yang lebih besar dari gaya gaya yang diperoleh dari beban gempa rencana yang ditentukan dengan faktor R.  $\Omega_0$  dimasukkan untuk menyatakan batas atas kuat lateral struktur dan untuk memprakirakan besar gaya maksimum pada elemen elemen yang dirancang untuk tidak mengalami kelelahan. Pada perancangan kolom SRBKK, gaya aksial kolom akibat beban seismik rencana dikali dengan  $\Omega_0$  untuk memperoleh gaya aksial ultimit pada kolom. AISC 341-05 mengadopsi pendekatan ini dengan menyediakan dua opsi untuk merancang SRBKK.

- Opsi I (Section 4.1. - AISC 341-05): bila  $\frac{KL}{r} \leq 4\sqrt{\frac{E}{F_y}}$  maka  $P_u = \Omega_o \times P_{base\ shear}$
- Opsi II (Section 13.2a. - AISC 341-05): bila  $4\sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{KL}{r} < 200$  maka  $P_u =$  gaya maksimum dari kapasitas bresing

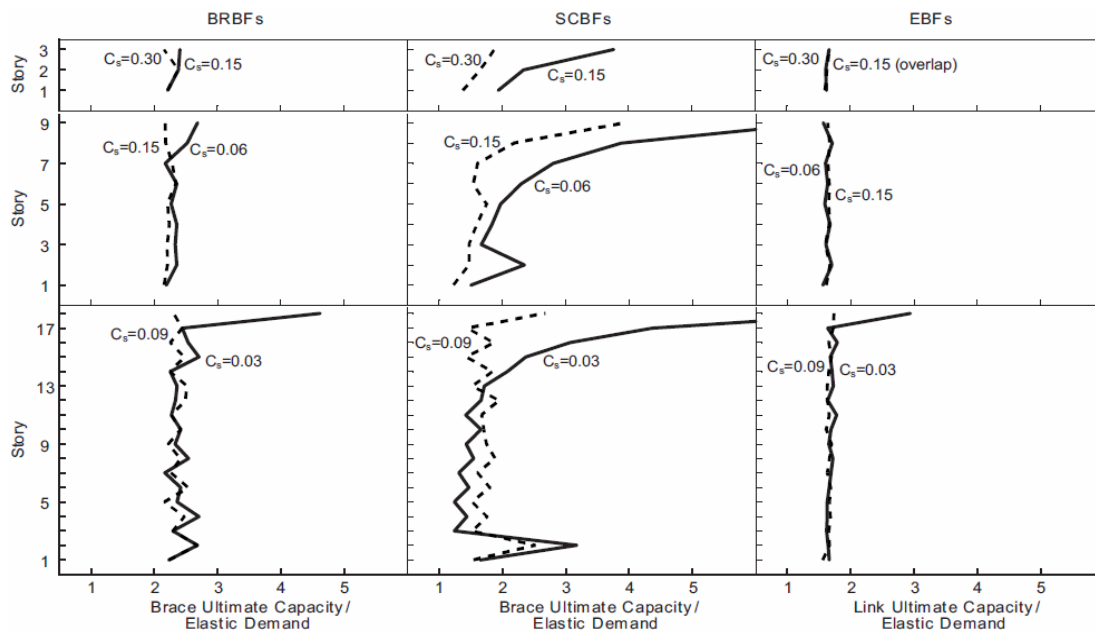
### 2.3. Kebutuhan Gaya Aksial Kolom Dari Hasil Studi Richards (2009)

Tiga puluh enam bangunan baja yang mewakili tiga sistem stuktur (*buckling restrained braced frames (BRBF)*, *specially concentrically braced frames (SCBF)* dan *eccentrically braced frames (EBF)*) masing masing 3, 9 dan 18 tingkat, dan empat level kekuatan dirancang oleh Richards (2009). **Gambar 5** di bawah ini menunjukkan tampak atas dan tampak samping untuk sistem struktur SCBF dan BRBF.

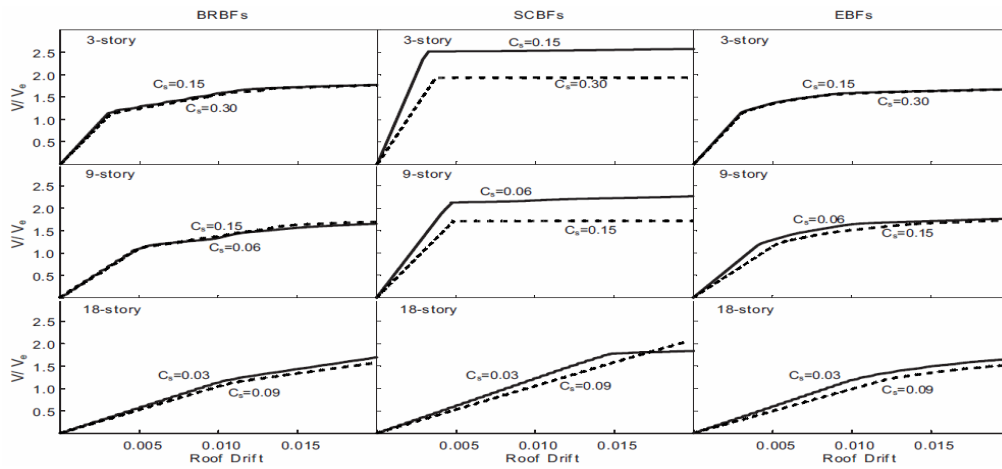


**Gambar 5.** Tampak atas dan samping SCBF dan BRBF: (a) 3-tingkat; (b) 9-tingkat; dan (c) 18-tingkat

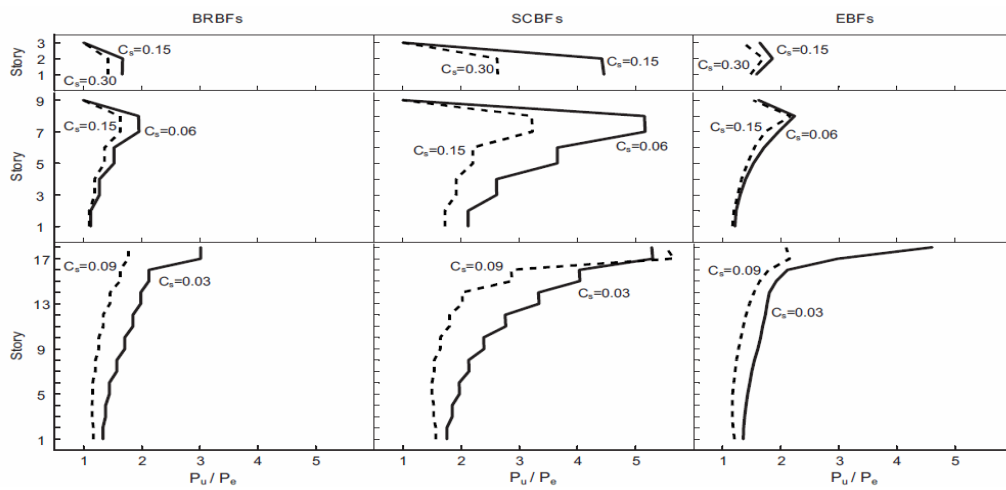
Hasil studi Richards untuk rangka terlemah dan rangka terkuat ditunjukkan oleh **gambar 6, 7, 8** dan **9** dengan  $C_s$  adalah koefisien geser dasar.



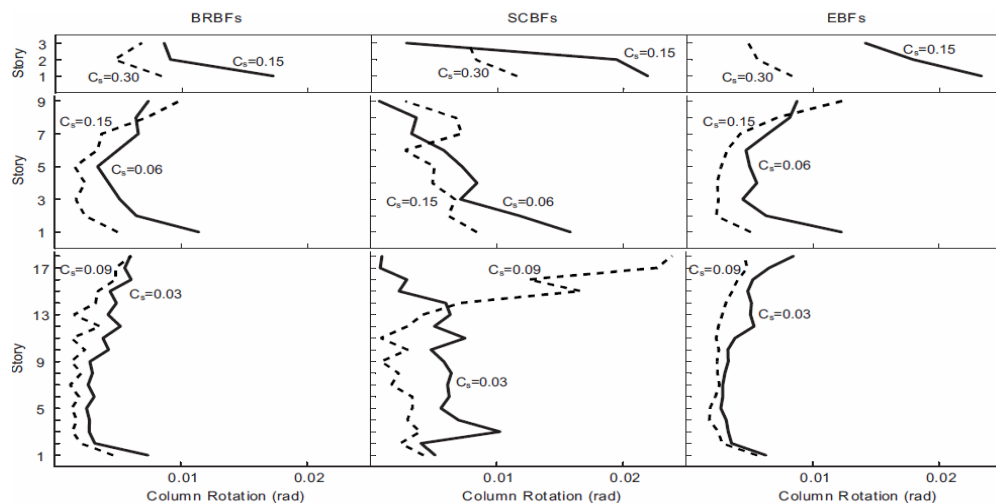
**Gambar 6.** Normalized capacity of ductile elements



**Gambar 7.** Pushover analysis results



**Gambar 8.** Normalized column demands



**Gambar 9.** *Column rotation demands*

Lokasi struktur di Los Angeles dan perancangan dilakukan mengikuti ketentuan *the 2006 International Building Code* (ICC 2006). Sambungan antara balok-kolom dimodelkan sebagai sambungan kaku bila ada plat buhul dan sambungan sendi untuk sebaliknya. Analisis beban dorong statik menggunakan distribusi beban lateral sesuai prosedur ICC 2006. Analisis dinamik memakai 10 rekaman gempa. Untuk SCBF, kuat material bresing adalah  $R_y F_y$  dengan  $R_y = 1.4$  untuk bresing profil tampang berongga dan  $R_y = 1.1$  untuk bresing profil WF (AISC 2005).

**Gambar 8** menunjukkan *normalized column demands* yang sangat tinggi untuk SCBF ( $P_u/P_e = 4,2$  untuk kolom tingkat pertama dan kedua pada SRBKK 3 tingkat,  $2,2 \leq P_u/P_e \leq 4,8$  untuk semua kolom pada SRBKK 9 tingkat dan  $1,8 \leq P_u/P_e \leq 5,0$  untuk kolom tingkat lima ke atas pada SRBKK 18 tingkat). Dari **gambar 6** dan **gambar 8**, gaya desak aksial pada kolom bisa jauh melebihi kapasitas bresing untuk kolom dan bresing pada ketinggian yang sama. Hasil analisis beban dorong statik pada **gambar 7** menunjukkan kuat cadang di dalam struktur yang tidak mencerminkan besarnya gaya desak aksial kolom pada ketinggian yang sama (**gambar 8**). Kebutuhan rotasi pada kolom, seperti terlihat pada **gambar 9**, kisarannya antara 0.005 – 0.025 rad; jauh lebih rendah dari kapasitas yang diperoleh dari eksperimen.

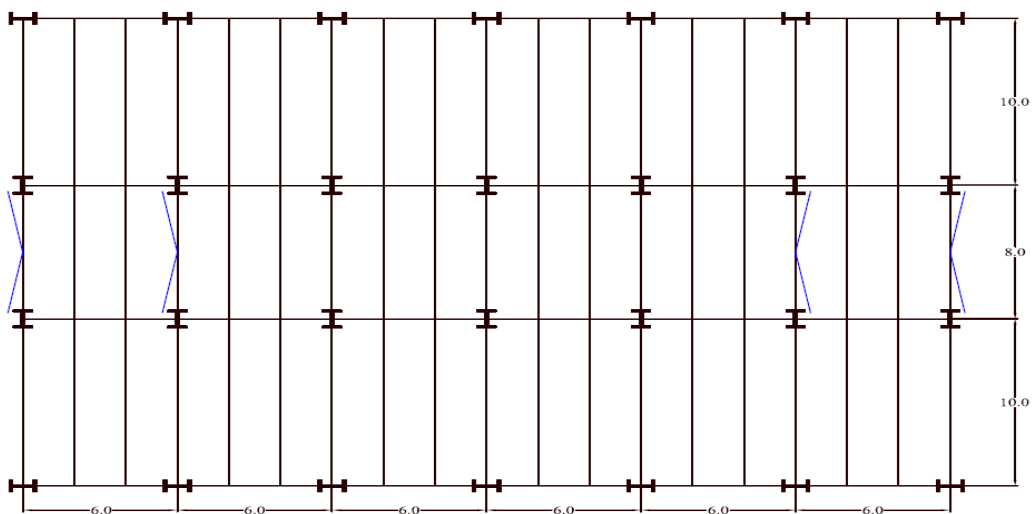
Untuk SRBKK dengan bresing tipe X dua tingkat, tekuk pada bresing menyebabkan peningkatan gaya aksial pada kolom. Richards[4] mengusulkan untuk SRBKK dengan konfigurasi ini, kolom dirancang berdasar kapasitas tarik dari bresing.

### 3. GAYA AKSIAL KOLOM BERDASAR KAPASITAS BRESING

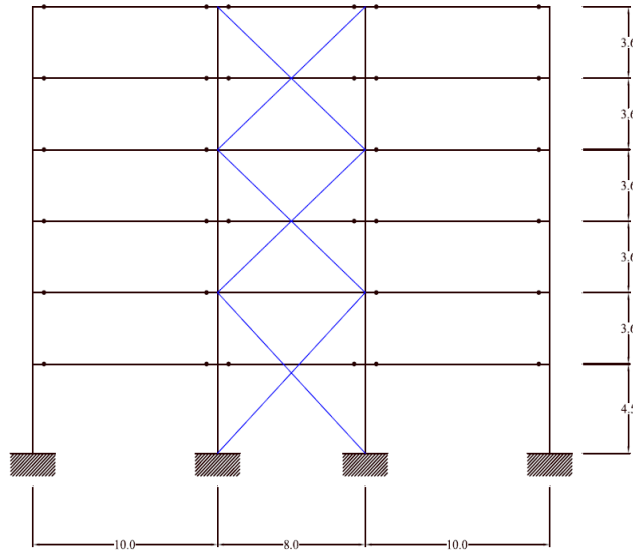
Berikut adalah gedung baja lima lantai untuk perkantoran, terletak di wilayah gempa 5 dengan profil tanah keras. Gedung ini menggunakan plat lantai komposit. Denah gedung seperti terlihat pada **gambar 10** (ukuran dalam meter). Sistem penahan beban lateral adalah:

- Rangka terbuka pada arah memanjang yang diposisikan pada tepi tepi luar gedung.
- Rangka dengan bresing konsentrik pada bentang melintang, dua rangka sebelah kiri dan dua rangka sebelah kanan seperti ditunjukkan oleh **gambar 10**.

Untuk balok dan kolom dipakai baja dengan tegangan leleh 350 MPa, sedang untuk bresing dipakai tegangan leleh 46 ksi agar bisa memanfaatkan tabel batang desak dari *AISC manual*. Gedung dirancang dengan *AISC 341-2005*. Potongan melintang gedung ditunjukkan oleh **gambar 11**. Kebutuhan gaya aksial kolom akan dihitung, baik untuk *strength design* maupun *ductility design* (menggunakan faktor kuat cadang struktur ( $\Omega_o=2$ ) dan berdasar kapasitas bresing), dan dibandingkan.



**Gambar 10.** Denah bangunan



Gambar 11. Potongan melintang

Untuk menghitung gaya aksial maksimum kolom, kombinasi beban yang dipakai adalah:

1.  $1.2 \times D + 1.6 \times L$
2.  $1.2 \times D + 0.5 \times L \pm 1.0 \times E_h$
3.  $1.2 \times D + 0.5 \times L \pm \Omega_o \times E_h$

dimana D beban mati, L beban hidup,  $E_h$  beban gempa dan  $\Omega_o$  faktor kuat cadang struktur .

Kriteria untuk memilih bresing profil bujur sangkar berongga adalah:

- $\frac{KL}{r} \leq 4\sqrt{\frac{E}{F_y}}$
- $b/t < 6.4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

Profil bujur sangkar berongga (*square HSS*) indah secara arsitektural, namun persyaratan  $b/t < 6.4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  sangat membatasi profil yang bisa dipakai. Profil *square HSS* yang dipakai sebagai bresing dan memenuhi kedua persyaratan di atas, beserta kapasitas tarik dan desak sesuai ketentuan *AISC 341-2005*(dengan  $R_y = 1.4$ ) ditunjukkan oleh **tabel 1** di bawah ini.

Tabel 1: Profil HSS yang memenuhi persyaratan, kapasitas tarik dan desak

	Profil <i>Square HSS</i>	Panjang (mm)	$R_y.F_y.A_g$ (KN) (section 13.2b)	$1,1.R_y. P_n$ (KN) (section 13.3c)
6	HS178x178x10	5381.45	2744.41	-1983.19
5	HS178x178x11	5381.45	3152.97	-2296.33
4	HS203x203x13	5381.45	4112.18	-3264.75
3	HS203x203x13	5381.45	4112.18	-3264.75
2	HS203x203x13	5381.45	4112.18	-3264.75
1	HS203x203x13	6020.8	4112.18	-2879.12

Redwood dan Channagiri merekomendasikan besar gaya kolom tidak perlu diambil lebih besar dari dua kali hasil hitungan dari beban gempa rencana, rekomendasi ini telah dipenuhi oleh *AISC 341-05* dengan menggunakan faktor kuat cadang struktur  $\Omega_o = 2$ . Untuk mencari gaya aksial maksimum yang mungkin terjadi pada kolom dilakukan analisis kesetimbangan titik kumpul, mulai dari atas ke bawah, sehingga diperoleh gaya aksial maksimum kolom. Besar gaya aksial kolom untuk *strength* dan *ductility design* ditunjukkan **tabel 2** dibawah ini.

**Tabel 2:** Gaya aksial maksimum kolom

Kolom Tingkat	<i>Strength Design</i>		<i>Ductility Design</i>		<i>Ductility Design</i>	
	Gaya aksial rencana kolom dengan: $1.2xD + 0.5xL \pm 1.0xE_h$		Gaya aksial rencana kolom dengan: $1.2xD + 0.5xL \pm \Omega_o x E_h$		Gaya aksial rencana kolom berdasar kapasitas bresing $1.2xD + 0.5xL \pm (\text{kapasitas bresing})$	
	$P_{rencana}$ (KN)	Profil Kolom	$P_{rencana}$ (KN)	Profil Kolom	$P_{rencana}$ (KN)	Profil Kolom
6	<b>230.71</b>	W200x46	<b>390.65</b>	W200x100	<b>2094.98</b>	W200x100
5	<b>493.45</b>	W200x46	<b>905.53</b>	W200x100	<b>2492.58</b>	W200x100
4	<b>1092.82</b>	W250x58	<b>1812.9</b>	W250x131	<b>7138.92</b>	W310x226
3	<b>1356.95</b>	W250x58	<b>2212.27</b>	W250x131	<b>7537.74</b>	W310x226
2	<b>2195.66</b>	W310x97	<b>3695.16</b>	W360x196	<b>12897.25</b>	W360x382
1	<b>2465.26</b>	W310x97	<b>4100.77</b>	W360x196	<b>13301.85</b>	W360x382

#### 4. KESIMPULAN

- a. Pendekatan dengan faktor kuat cadang struktur untuk menentukan gaya maksimum pada kolom yaitu:  $P_u = \Omega_o P_e = 2 P_e$  (Ops I *AISC 341 2005*) tidak bisa menampung efek lokal, berupa tekuk pada bresing yang menyebabkan redistribusi gaya gaya dalam , yang meningkatkan secara drastis gaya aksial pada kolom.
- b. Perancangan kolom pada SRBKK dengan bresing tipe X dua tingkat dilakukan berdasar kapasitas bresing, yang akan menghasilkan kolom yang lebih berat dari perancangan berdasar ketentuan *AISC 341-05* untuk mengantisipasi redistribusi gaya gaya dalam akibat tekuk pada bresing.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. ANSI/AISC 341 (2005), *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.
2. CISC (1993), *Handbook of Steel Construction*, Canadian Institute of Steel Construction
3. Hewitt C., Sabelli R, and Bray J. (2009), *Economy of Steel-Framed Buildings For Seismic Loading*, Steel TIPS. Moraga, CA:Structural Steel Educational Council.
4. Richards P.W. (2009), *Seismic Column Demands in Ductile Braced Frames*, Journal of Structural Engineering, Vol. 135, No.1, January 2009.
5. Uang, C.M., Bruneau, M., Whittaker A. and Tsai, K.C. (2001), *Seismic Design of Steel Structures*, Springer Publisher, USA.
6. Zieman R.D. (2010), *Stability Design for Metal Structures*, John Wiley & Sons, Inc.