

STUDI PERBANDINGAN KONFIGURASI SISTEM RANGKA BRESING TAHAN TEKUK TERHADAP GEMPA

Andy Sunjaya¹, Bambang Suryoatmono²
Program Magister Teknik Sipil Universitas Tarumanagara

ABSTRAK

Indonesia merupakan daerah yang rawan gempa. Aktivitas kegempaan di Indonesia semakin tinggi dari waktu ke waktu. Oleh karena itu, keamanan suatu bangunan terhadap gempa adalah kebutuhan utama. Para Insinyur mengembangkan banyak sistem struktur yang mampu menyerap energi gempa sehingga struktur tetap berdiri kokoh setelah gempa terjadi. Namun, pada praktiknya masih banyak struktur yang mengalami kerusakan yang cukup parah. Penggunaan sistem struktur yang kurang tepat dapat menyebabkan penyerapan gempa tidak seluruhnya terpusat pada elemen yang dirancang terjadi pelelehan atau disipasi energi. Salah satunya yang terjadi adalah struktur dengan sistem rangka bresing konsentris. Pada sistem ini, direncanakan pelelehan terjadi di bresing sebagai elemen terdisipasi. Namun, kenyataannya sistem ini kurang bekerja dengan baik karena tertekuknya bresing menyebabkan bentuk kurva *hysteresis* yang mengalami *pinched* menyebabkan keruntuhan getas. Dengan berjalannya waktu, maka dikembangkan suatu sistem struktur yang diharapkan menjadi elemen daktail. Sistem ini disebut dengan sistem struktur rangka bresing tahan tekuk. Sistem ini dirancang supaya ketika terjadi gaya tekan yang besar tidak akan menyebabkan bresing tertekuk dan menyebabkan keruntuhan getas. Bresing pada sistem ini dapat dipasang dengan berbagai konfigurasi untuk mendapatkan sistem dengan konfigurasi yang efisien. Namun, setiap konfigurasi bresing memiliki karakteristik tersendiri sehingga menghasilkan perbedaan pada setiap konfigurasi tersebut. Hasil analisis memperlihatkan bahwa struktur dengan konfigurasi V terbalik adalah sistem struktur yang paling efisien karena memiliki perioda struktur terpendek dan memiliki simpangan yang paling kecil dibandingkan dengan konfigurasi yang lainnya.

Kata-kata kunci : gempa, disipasi energi, struktur rangka bresing konsentris, struktur rangka bresing tahan tekuk, konfigurasi bresing.

ABSTRACT

Indonesia is an earthquake-prone zone. Seismic activity in Indonesia is getting higher from time to time. Consequently, a building safety against seismic is primary needs. The engineer develop so many structural system that can absorb seismic energy so that structure still steady stand after earthquake. However, in practice there are so many structure get heavy damaged. Inappropriate structural system used cause seismic energy absorption not centralized in the element that designed to dissipate or yield. One of this system is concentrically braced frame. In this system, yielding is considered to occur in bracing as a dissipated element. However, this system is not well performed due to buckling at the brace that caused pinched on hysteric curve and finally cause brittle failure. As the time go flies, it is developed a system that expected to be ductile elements. This system is called buckling-restrained braced frame. This system is designed to buckling restrained when large compression force happened and caused brittle failure. The brace can be erected with the various configuration to get the most efficient configuration system. However, every configuration has its own characteristic so that produce differences on every configuration. Analysis result shown that the inverted V type configuration is the most efficient structural system because has the shortest period and the smallest drift compared to other configurations.

Keywords: earthquake, energy dissipation, concentrically braced frame structures, buckling restrained braced frame structures, brace configuration.

¹Mahasiswa Program Magister Teknik Sipil Universitas Tarumanagara. E-mail: andy_sunjaya27@yahoo.com

²Dosen Tetap Universitas Katolik Parahyangan. E-mail: suryoatm@yahoo.com

1. PENDAHULUAN

Dengan semakin meningkatnya aktivitas gempa di muka bumi, maka tuntutan struktur dalam memenuhi tingkat daktilitasnya semakin tinggi. Struktur yang memiliki daktilitas yang cukup akan dapat berdeformasi akibat beban lateral sampai titik ketika elemennya mencapai tegangan ultimit. Struktur yang umum digunakan karena dianggap memiliki tingkat daktilitas yang tinggi adalah Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Struktur Rangka Bresing Konsentris (SRBK). Namun, kejadian gempa Kobe tahun 1995 membuktikan bahwa sistem tersebut bekerja kurang baik. Keruntuhan yang terjadi merupakan kegagalan lokal pada elemen, yang mengakibatkan keruntuhan global. Gempa Northridge tahun 1994 juga memperlihatkan kinerja bangunan baja yang kurang baik dan kebanyakan kegagalan terjadi pada elemen lokal balok serta pada sambungan (Bruneau et al., 2011). Kerusakan yang terjadi terlihat pada Gambar 1.

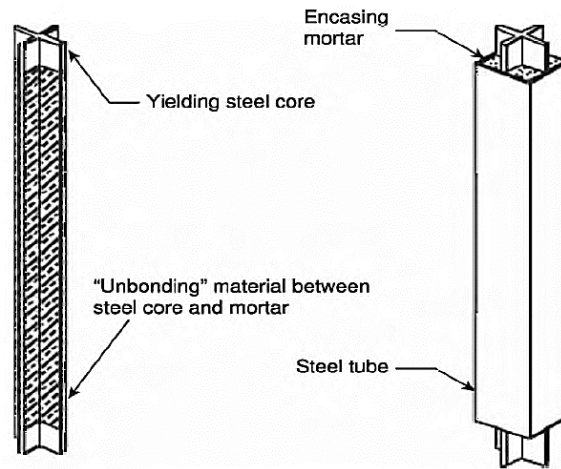


Gambar 1. Kerusakan Yang Terjadi Pada Gempa Kobe dan Northridge (Bruneau et al., 2011)

Dengan kejadian gempa yang sudah berlalu, maka para insinyur mengembangkan suatu sistem struktur yang memiliki tingkat daktilitas yang tinggi. Sistem ini disebut dengan sistem struktur rangka bresing tahan tekuk (SRBTT). Sistem ini dirancang untuk memiliki kapasitas tekan dan tarik yang serupa. Dengan hal ini, maka sistem ini diharapkan dapat menjadi elemen daktail dan menjadi elemen *sekring* sehingga disipasi energi dapat terjadi pada elemen tersebut. Ketika pelelehan terjadi, maka batang bresing yang leleh dapat diganti dan hal ini menjadi salah satu keuntungan daripada sistem ini. Sistem bresing ini memiliki konfigurasi-konfigurasi yang dapat dikombinasikan dan tentu saja setiap konfigurasi memberikan pengaruh dan karakteristik sendiri untuk sistem secara keseluruhan.

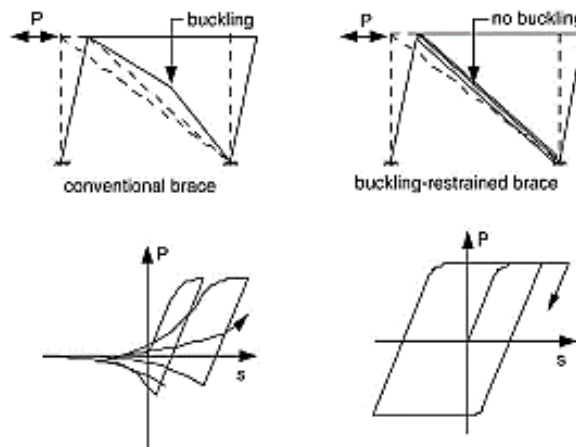
2. KONSEP SISTEM RANGKA BRESING TAHAN TEKUK

Bresing tahan tekuk biasa terdiri dari baja inti sebagai elemen yang menerima beban, bagian casing dan padatan yang berfungsi menahan tekuk dari baja inti. Pada bagian ini, seluruh panjang efektif inti baja yang menerima gaya aksial akan terkekang sehingga tidak ada kelangsingan pada batang inti baja. Hal ini menyebabkan kapasitas tekan dan tarik mirip atau sama. Pada bagian baja inti, batang ini memang disiapkan untuk perilaku daktail bresing dimana pelelehan terjadi akibat gaya aksial tekan maupun tarik. Untuk membungkus baja inti, bagian luar dari bresing ini diberi *casing* yang biasanya adalah profil *hollow square section* seperti pada Gambar 2 (Bruneau et al., 2011).



Gambar 2. Anatomi Bresing Tahan Tekuk (Sabelli and Lopez, 2004)

Sistem bresing tahan tekuk atau SRBTT berbeda konsep dengan sistem rangka bresing lainnya. Pada umumnya, sistem rangka bresing biasanya mengandalkan tekuk sebagai energi disipasi (Bruneau et al., 2011). Namun, setelah diteliti lebih lanjut kejadian ini membuat adanya degradasi dari kekakuan dan kekuatan. Hal ini tentu sangat berpengaruh terhadap kekakuan global struktur, misalnya terjadi kegagalan di tempat lain bahkan sampai menyebabkan kegagalan struktur secara keseluruhan. Pada Gambar 3, ditunjukkan bahwa pada sistem bresing konsentris terjadi *Pinched* pada histeresis apabila terjadi tekuk dibandingkan dengan SRBTT. Sistem SRBTT ini dirancang untuk mencegah tekuk yang disebabkan leleh akibat tekan dan tarik. Hasil pengujian laboratorium memperlihatkan bahwa sistem ini lebih baik dibandingkan dengan SRBK. Sistem ini dirancang untuk menahan distorsi gedung. Kemampuannya untuk menahan tekuk jelas terlihat pada bentuk histeresis yang simetris (dapat dilihat pada Gambar 3). Pada histeresis ini juga, terlihat bahwa kemampuan untuk mendistribusi beban lebih baik dibandingkan dengan SRBK (Clifton dan Wijanto, 2014).



Gambar 3. Perilaku SRBK dan SRBTT (Clifton dan Wijanto, 2014)

3. KEKUATAN ELEMEN SISTEM RANGKA

3.1 Kekuatan Sambungan

Untuk mengoptimalkan fungsi bresing, maka tidak boleh ada kegagalan atau tekuk yang terjadi pada bagian sambungan. Nakamura et al. (2000) mengusulkan persamaan untuk mencegah tekuk keluar bidang.

$$P_{e_trans} = \frac{\pi^2 EI_{trans}}{(KL_b)^2} \geq C_{max} \quad (1)$$

dengan: C_{max} = gaya tekan maksimum bresing
 I_{trans} = momen inersia tekuk keluar bidang dari segmen tidak leleh tidak terkekang bresing
 K = faktor panjang efektif, dapat diambil secara konservatif 1.0
 L_b = panjang sambungan tidak terikat
 P_{e_trans} = kuat tekuk ke arah luar bidang pada sambungan

Menurut AISC 314-10, perhitungan kekuatan sambungan harus dikalikan dengan faktor 1.1 kali dari gaya bresing. Hal ini bertujuan agar sambungan tidak mengalami leleh akibat inti baja yang mengalami leleh akibat gaya maksimum bresing.

3.2 Kekuatan Bresing

Kapasitas kekuatan bresing tahan tekuk melibatkan besarnya luasan inti baja dari bresing ini. Inti baja bresing ini harus cukup menahan gaya aksial yang terjadi. Kekuatan inti baja bresing ini ditunjukkan oleh persamaan (AISC 341-10):

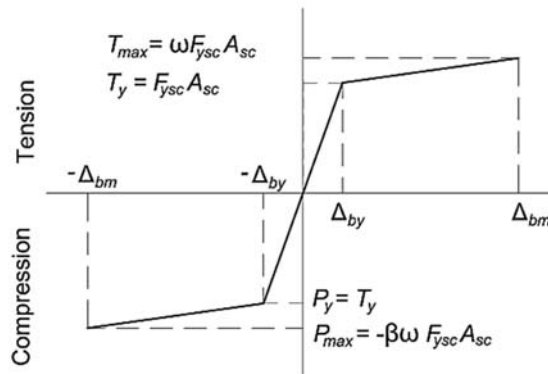
$$\phi P_{ysc} = \phi F_{ysc} A_{sc} \quad (2)$$

dengan: F_{ysc} = tegangan leleh minimum inti baja
 A_{sc} = luas penampang inti baja
 ϕ = 0.9, untuk batasan kekuatan leleh

Persamaan (2) diterapkan untuk kasus tarik dan tekan. Selain itu, bresing tahan tekuk harus direncanakan untuk menahan deformasi yang cukup besar yaitu nilai terbesar dari 2% simpangan lantai atau 2 kali simpangan antar lantai desain (AISC 341-10).

3.3 Penyesuaian Kekuatan Bresing

Dalam memperhitungkan kapasitas tarik dan tekan sambungan bresing dan elemen lain selain bresing, suatu faktor penyesuaian kekuatan harus dikalikan terhadap persamaan (2). Faktor ini diperlukan agar elemen lain selain bresing dipersiapkan dengan kekuatan lebih untuk mengantisipasi gaya yang lebih besar yang dapat mengakibatkan kerusakan pada elemen tersebut. Faktor ini didapatkan dari hasil tes berupa kurva *backbone* yang dapat dilihat pada Gambar 4. Dari kurva tersebut, faktor ini dapat di plot untuk menghitung kekuatan bresing tahan tekuk.



Gambar 4. Kurva *Backbone* SRBTT (AISC Commentary, AISC 341-10)

Untuk menghitung kuat tarik bresing digunakan persamaan:

$$T_{max} = \omega R_y P_{ysc} \quad (3)$$

sedangkan untuk menghitung kuat tekan bresing digunakan persamaan:

$$C_{max} = \beta T_{max} \quad (4)$$

dengan: $P_{ysc} = F_{ysc} A_{sc}$

ω = faktor penyesuaian *Strain-hardening*, diterapkan pada gaya tarik

β = faktor kuat lebih untuk tekan, tidak boleh lebih kecil dari 1.0

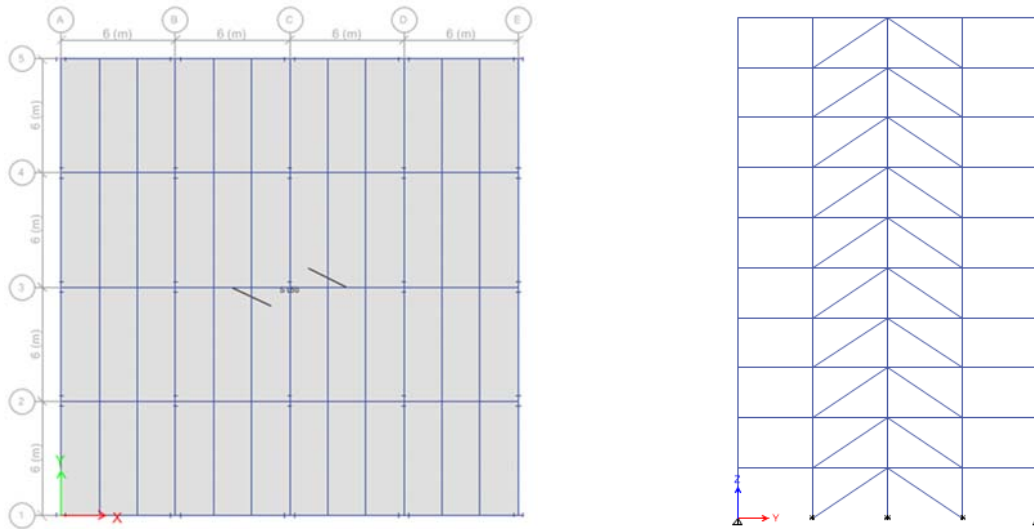
$R_y = 1$, jika P_{ysc} dihitung menggunakan nilai dari hasil pengetesan F_{ysc}

4. STUDI KASUS

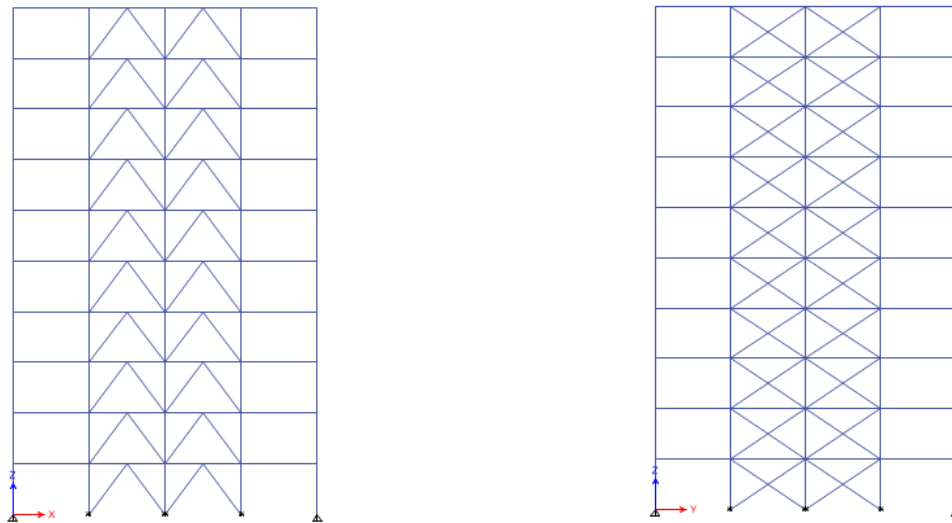
Struktur yang dianalisis adalah struktur baja dengan sistem struktur rangka bresing tahan tekuk. Struktur yang akan dibahas memiliki data sebagai berikut:

1. Fungsi bangunan : Perkantoran
2. Kota : Padang
3. Wilayah gempa : Ss = 1,345g
S1 = 0,599g
4. Jenis tanah dasar : tanah lunak (SE)
5. Sistem struktur : Sistem Rangka Bresing Tahan Tekuk (SRBTT)
6. Jumlah lantai : 10 lantai
7. Tinggi total gedung : 40 m
8. Tinggi antar lantai : 4 m (tipikal ditiap lantai)
9. Panjang bangunan : 24 m

10. Lebar bangunan : 24 m



Gambar 5. Studi Kasus Bangunan



Gambar 5. Studi Kasus Bangunan (*Lanjutan*)

4.1 Pembebanan

Batang bresing pada sistem SRBTT tidak diijinkan untuk didesain sebagai penahan beban gravitasi. Hal ini bertujuan agar bresing tidak mengalami pelelehan akibat beban hidup. Batang bresing hanya boleh didesain sebagai komponen penahan gaya lateral, sedangkan sistem rangka didesain sebagai sistem gravitasi dan beban lateral. Untuk beban gravitasi, seluruh beban gravitasi dipikul oleh sistem rangka, sedangkan untuk beban lateral sistem rangka dicek untuk gaya maksimum dari bresing (termasuk faktor kuat lebih) sehingga ketika bresing menyerap gaya lateral, tidak terjadi pelelehan pada

sistem rangka (Sabelli dan Lopez, 2004). Tentu saja penampang dari sistem rangka ini harus kompak agar tidak terjadi tekuk lokal pada setiap penampang yang menerima gaya maksimum bresing. Untuk penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Pembagian Distribusi Beban pada SRBTT (Sabelli dan Lopez, 2004)

	Kombinasi Beban	
	Gravitasi 1.2D+1.6L	Gempa 1.2D+0.5L+E
Sistem Rangka	Didesain untuk beban 100%	Didesain untuk gaya bresing maksimum, ditambah 100% gravitasi
Bresing	Dicek untuk memastikan beban hidup tidak menyebabkan leleh	Didesain beban gempa dari analisis, tidak termasuk gravitasi

5. HASIL DESAIN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Analisis

Berdasarkan hasil analisis elastik-linier dengan metode analisis dinamik, didapatkan hasil dimensi struktur untuk setiap konfigurasi. Hasil dimensi struktur ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 2. Dimensi Struktur Rangka Bresing Tahan Tekuk Hasil Analisis Elastik-Linier

Lantai	Diagonal Sederhana			V Terbalik			Konfigurasi X		
	Dimensi	Dimensi	Luas Penampang Bresing (mm ²)	Dimensi	Dimensi	Luas Penampang Bresing (mm ²)	Dimensi	Dimensi	Luas Penampang Bresing (mm ²)
	Balok	Kolom		Balok	Kolom		Balok	Kolom	
10	WF 450X200	W 21X68	967.74	WF 450X200	W 21X68	645.16	WF 450X200	W 21X68	967.74
9	WF 450X200	W 21X68	1290.32	WF 450X200	W 21X68	967.74	WF 450X200	W 21X68	967.74
8	WF 450X200	W 21X93	1935.48	WF 450X200	W 21X93	1290.32	WF 450X200	W 21X93	967.74
7	WF 450X200	W 21X93	2258.06	WF 450X200	W 21X93	1612.9	WF 450X200	W 21X93	1290.32
6	WF 600X200	W 27X258	2258.06	WF 600X200	W 27X258	1935.48	WF 600X200	W 27X258	1290.32
5	WF 600X200	W 27X258	2903.22	WF 600X200	W 27X258	2258.06	WF 600X200	W 27X258	1290.32
4	WF 600X200	W 27X258	3548.38	WF 600X200	W 27X258	2580.64	WF 600X200	W 27X258	1612.9
3	WF 600X200	W 30X391	3548.38	WF 600X200	W 30X391	2580.64	WF 600X200	W 33X387	1612.9
2	WF 600X200	W 30X391	3548.38	WF 600X200	W 30X391	2580.64	WF 600X200	W 33X387	1612.9
1	WF 600X200	W 30X391	3548.38	WF 600X200	W 30X391	2580.64	WF 600X200	W 33X387	1612.9

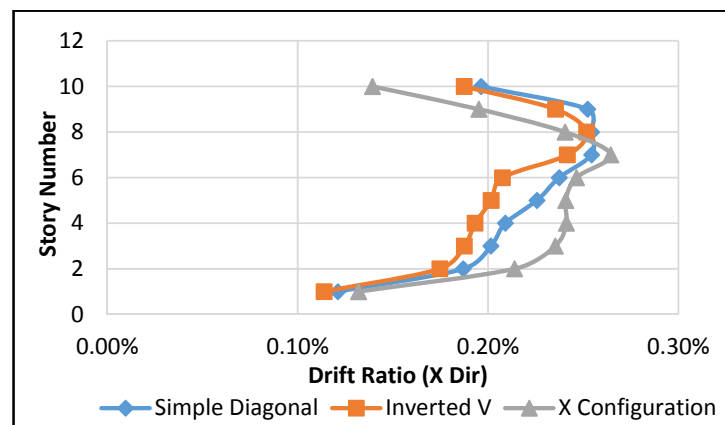
Pada tabel 2 ditunjukkan bahwa ada kombinasi penggunaan dimensi antara profil Indonesia, yaitu gunung garuda untuk balok dan profil Amerika, yaitu *wide flange* untuk kolom. Hal ini disebabkan kapasitas penampang Indonesia yang tidak mencukupi kebutuhan beban yang bekerja pada struktur. Hasil analisis dimensi struktur pada table

2 akan menentukan perioda struktur dan hasil simpangan lantai untuk setiap konfigurasi. Pada Tabel 3, ditunjukkan perbandingan perioda struktur untuk setiap konfigurasi berdasarkan dimensi struktur pada tabel 2.

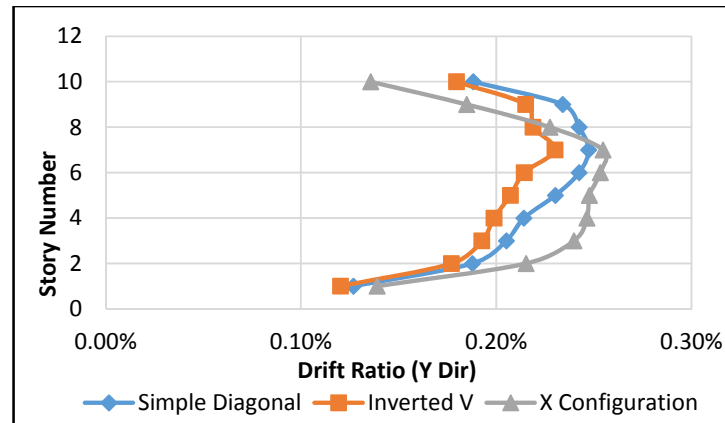
Tabel 3. Periode Struktur SRBTT Untuk Setiap Konfigurasi

	Diagonal Sederhana (s)			V Terbalik (s)			Konfigurasi X (s)		
	UX	UY	RZ	UX	UY	RZ	UX	UY	RZ
Mode 1		1,724			1,664			1,876	
Mode 2	1,707			1,66			1,848		
Mode 3			1,131			1,094			1,234

Pada tabel 3, terlihat bahwa setiap konfigurasi struktur memiliki karakteristik yang hampir sama pada mode 1, yaitu bergerak ke arah y dan mode 2 ke arah x. Berdasarkan hasil analisis, SRBTT dengan konfigurasi V terbalik memberikan periode getar yang lebih pendek, yaitu 1,664 s, dan selanjutnya adalah konfigurasi diagonal sederhana yang memberikan periode struktur terpendek kedua, yaitu 1,724 s. Hal ini dapat juga disebabkan karena dimensi struktur yang dihasilkan memiliki kekakuan lebih dibandingkan dengan elemen struktur pada konfigurasi yang lain. Untuk selanjutnya, periode struktur akan memperlihatkan seberapa kaku struktur sehingga simpangan atau peralihan yang dihasilkan tidak mengakibatkan struktur berdeformasi terlalu besar. Deformasi yang terlalu besar akan memberikan ketidaknyamanan terhadap pengguna gedung. Deformasi yang besar juga akan memberikan efek kerusakan struktur yang lebih parah dibandingkan struktur kaku yang memiliki deformasi lebih kecil. Perbandingan simpangan antar lantai digambarkan pada Gambar 6 dan Gambar 7 sebagai kurva perbandingan simpangan antar lantai agar perbandingan setiap konfigurasi untuk masing-masing arah terlihat lebih nyata.



Gambar 6. Kurva Perbandingan Simpangan Antar Lantai Arah X

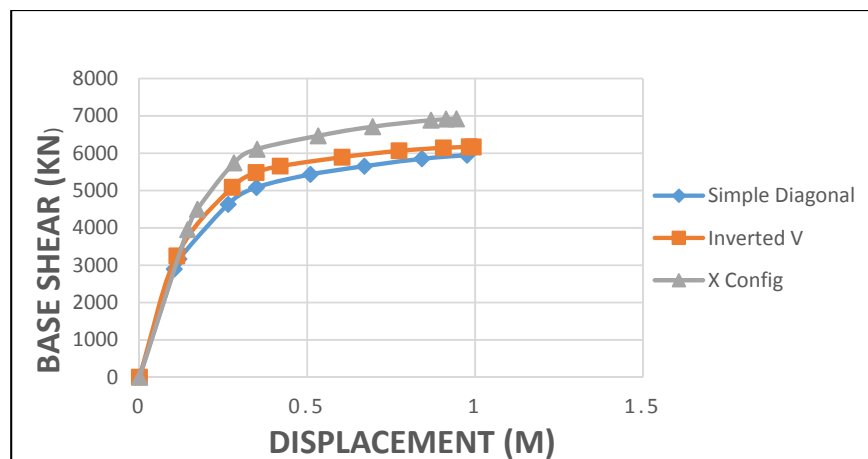


Gambar 7. Kurva Perbandingan Simpangan Antar Lantai Arah Y

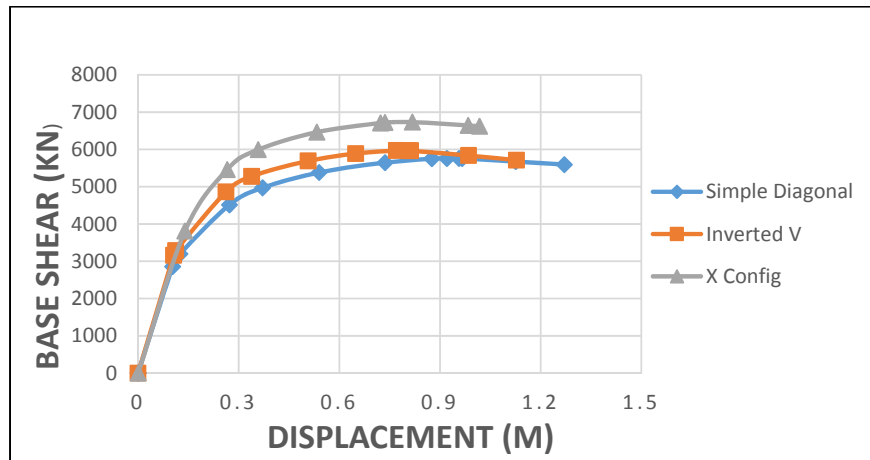
Pada Gambar 6 dan Gambar 7 terlihat jelas bahwa SRBTT dengan konfigurasi X mengalami peralihan simpangan antar lantai yang signifikan, sedangkan pada konfigurasi lainnya peralihan simpangan antar lantai tidak terjadi secara signifikan. Hal ini berarti bahwa pada konfigurasi X terjadi flexibility pada lantai bawah, sedangkan pada lantai atasnya bresing terlalu kaku.

5.2 Analisis Pushover

Kurva kapasitas yang dihasilkan dari analisis *pushover* merupakan kurva yang dibentuk dengan memberikan beban dorong secara *incremental* sampai struktur tidak mampu lagi menerima beban dorong yang diberikan. Ketika beban dorong diberikan maka akan terjadi peralihan lantai secara *incremental* seiring dengan bertambahnya beban. Gaya geser dasar yang tercantum pada kurva kapasitas merupakan beban maksimum yang dapat diberikan kepada suatu struktur sebelum struktur itu tidak mampu lagi menerima beban dorong. Gambar 8 dan Gambar 9 menggambarkan perbandingan kurva kapasitas dari ketiga tipe konfigurasi SRBTT.

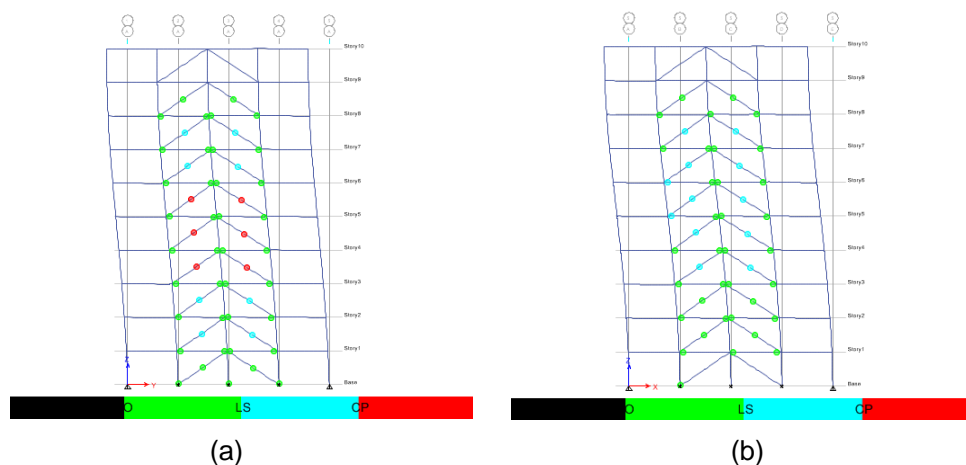


Gambar 8. Perbandingan Kurva Kapasitas SRBTT Arah X

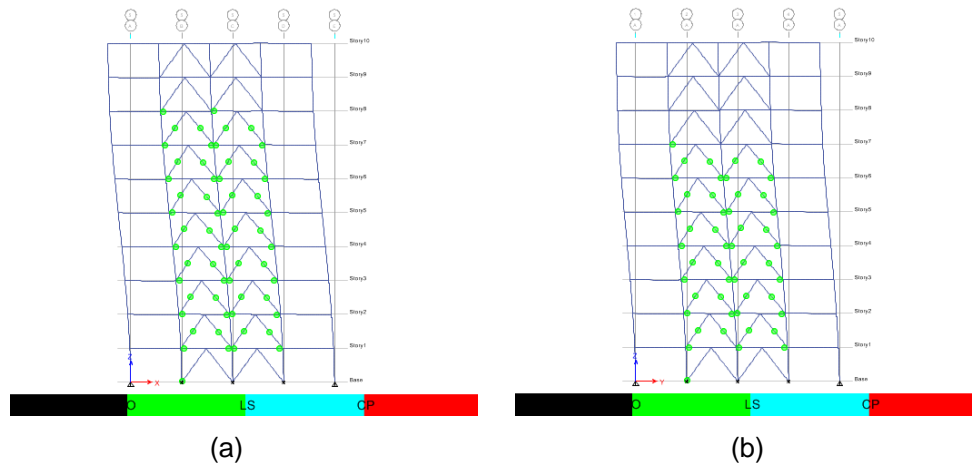


Gambar 9. Perbandingan Kurva Kapasitas SRBTT Arah Y

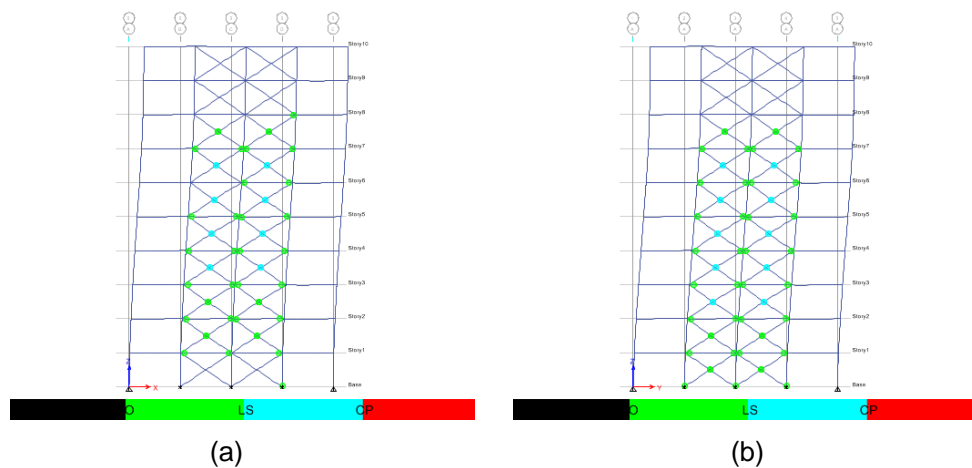
Dari hasil analisis, Gambar 8 dan Gambar 9 memperlihatkan bahwa SRBTT dengan konfigurasi X memiliki gaya geser paling tinggi yaitu 6919,94 kN yang menghasilkan deformasi atap terkecil, yaitu 94.4 cm untuk arah X dan gaya geser 6622,511 kN yang menghasilkan deformasi atap terkecil yaitu 1,01 m. Pada Konfigurasi V terbalik, terlihat bahwa pada arah x menghasilkan gaya geser sebesar 6168,068 kN dengan deformasi sebesar 99 cm, sedangkan pada arah y gaya geser yang dihasilkan adalah 5714,123 kN dengan deformasi sebesar 1,128 m. Pada konfigurasi diagonal sederhana, gaya geser yang dihasilkan untuk arah x adalah 5950,124 kN dengan deformasi sebesar 97,6 cm dan gaya geser sebesar 5593,326 kN dengan deformasi sebesar 1,27 m untuk arah y.



Gambar 10. Pembentukan Sendi Plastis Pada SRBTT Konfigurasi Diagonal Sederhana
(a) Arah X dan (b) Arah Y



Gambar 11. Pembentukan Sendi Plastis Pada SRBTT Konfigurasi V Terbalik (a) Arah X dan (b) Arah Y

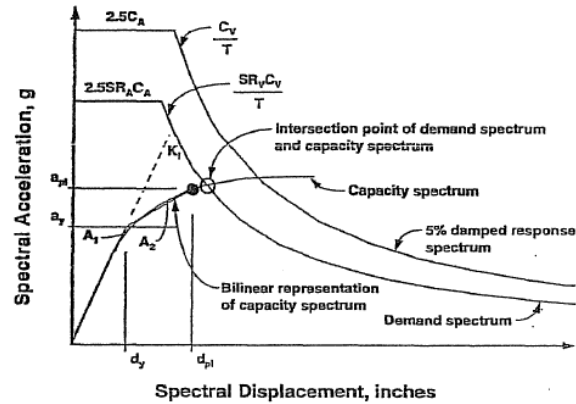


Gambar 12. Pembentukan Sendi Plastis Pada SRBTT Konfigurasi X (a) Arah X dan (b) Arah Y

Dalam analisis *pushover*, untuk menentukan kinerja suatu struktur bangunan digunakan metode *capacity-spectrum method*. *Capacity-spectrum method* merupakan analisis statik nonlinier yang memberikan hasil berupa grafis dari kurva *global force-displacement capacity* dengan *response spectra*. Hasil tersebut memberikan gambaran yang jelas tentang bagaimana bangunan merespon gerakan gempa. Prinsip metode ini adalah mencari titik temu antara pada spektrum kapasitas dengan respons spektrum sesuai dengan permintaan (*demand*). Sebelum menentukan hal-hal yang perlu dipersiapkan untuk mendesain struktur gedung sesuai dengan permintaan, maka kita harus mengetahui hal-hal yang perlu dipersiapkan untuk memperoleh suatu nilai kinerja. Dalam analisis ini, lokasi titik kinerja (*performance*) berada pada perpotongan:

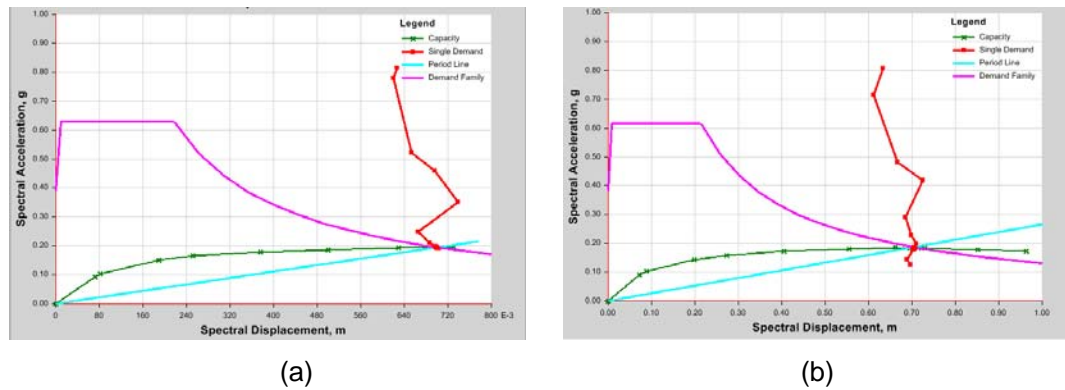
1. Titik berada di kurva spektrum kapasitas mewakili struktur saat terjadi perpindahan
2. Titik berada pada *demand spectrum*. *Demand spectrum* tersebut merupakan reduksi dari kurva spektrum dengan redaman 5%

Kinerja diperoleh dari perpotongan kurva kapasitas dengan *demand spectrum*. Grafik perpotongan tersebut dapat diperoleh dari gambar 4.49:



Gambar 13. Grafik Perpotongan Kurva Kapasitas Dengan *Demand Spectrum* (ATC-40)

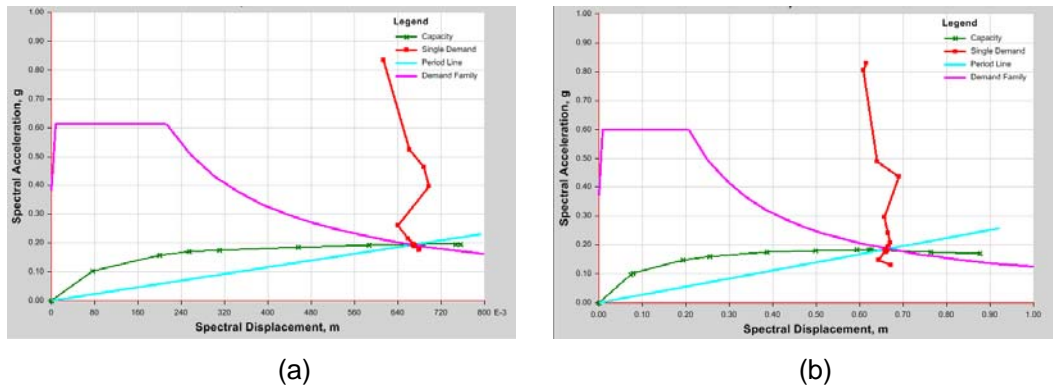
Pada Gambar 14, diperlihatkan *performance point* untuk SRBTT dengan konfigurasi diagonal sederhana arah x dan y.



Gambar 14. Kurva Kapasitas Spektrum SRBTT Konfigurasi Diagonal Sederhana (a) Arah X dan (b) Arah Y

Pada arah x, *performance point* berpotongan pada titik dengan gaya geser 5919,0252 kN dan deformasi sebesar 93,35 cm, sedangkan pada arah y *performance point* berpotongan pada titik dengan gaya geser sebesar 5755,6175 kN dan dengan deformasi sebesar 93,27 cm dengan tingkat performa pada kondisi *Collapse Prevention* pada kedua arah.

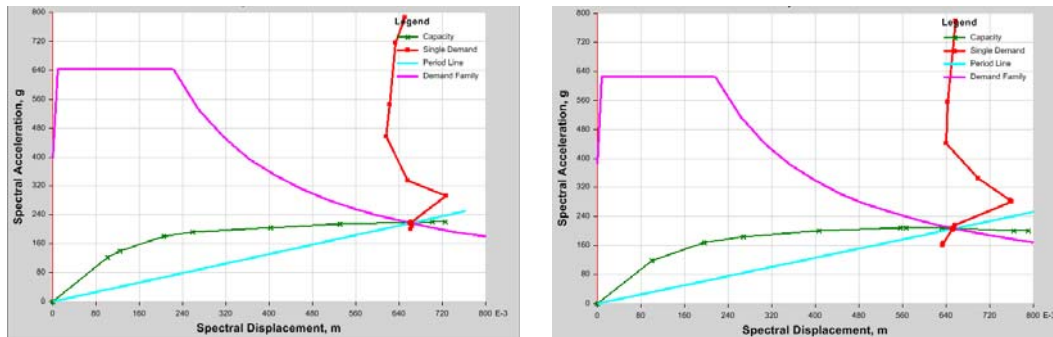
Pada Gambar 15, diperlihatkan *performance point* untuk SRBTT dengan konfigurasi V Terbalik arah x dan y.



Gambar 15. Kurva Kapasitas Spektrum SRBTT Konfigurasi V Terbalik (a) Arah X dan (b) Arah Y

Pada arah x, performance point berpotongan pada titik dengan gaya geser 6128,6557 kN dan deformasi sebesar 88,24 cm, sedangkan pada arah y performance point berpotongan pada titik dengan gaya geser sebesar 5935,674 kN dan dengan deformasi sebesar 85,3 cm dengan tingkat performa pada kondisi *Life Safety* pada kedua arah.

Pada Gambar 16, diperlihatkan *performance point* untuk SRBTT dengan konfigurasi X arah x dan y.



Pada arah x, performance point berpotongan pada titik dengan gaya geser 6878,1974 kN dan deformasi sebesar 86,3 cm, sedangkan pada arah y performance point berpotongan pada titik dengan gaya geser sebesar 6719,05 kN dan deformasi sebesar 84,3 cm tingkat performa pada kondisi *Collapse Prevention* pada kedua arah.

6. KESIMPULAN

Dari hasil analisis elastik-linier dan analisis statik *pushover*, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil analisis elastik-linier membuktikan bahwa struktur bresing tahan tekuk yang paling efisien adalah struktur bresing tahan tekuk dengan konfigurasi V terbalik karena memiliki perioda struktur yang terpendek dan memiliki simpangan antar lantai terkecil dibandingkan dengan konfigurasi bresing lainnya.

2. Dalam setiap konfigurasi struktur, terdapat karakteristik dari setiap konfigurasi tersebut sehingga menghasilkan gaya dalam yang berbeda dan akan menyebabkan penentuan dimensi struktur yang berbeda-beda untuk memenuhi desain kapasitas.
3. Pada analisis *pushover*, diperlihatkan bahwa struktur rangka bresing tahan tekuk yang paling optimal adalah struktur rangka bresing tahan tekuk dengan konfigurasi V terbalik dengan tingkat kinerja *Life Safety*, sedangkan untuk konfigurasi Diagonal Sederhana dan konfigurasi X dinyatakan bahwa struktur berada pada tingkat kinerja *Collapse Prevention* dengan kenyataan bahwa bangunan tersebut tidak aman untuk digunakan.

7. DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Steel Construction.** (2010). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.
- Bruneau, M., Uang, C., and Sabelli, R.** (2011). *Ductile design of steel structures*, McGraw-Hill, New York, NY.
- Clifton, G. Charles, and Wijanto, Stefan.** (2014). "Experimental Testing and Design of BRB with Bolted And Pinned Connections," Bulletin of The New Zealand Society for Earthquake Engineering, Vol. 47, No. 4, December 2014.
- Nakamura, H., Maeda, Y., Sasaki, T., Wada, A., Takeuchi, T., Nakata, Y., and Iwata, M.** (2000). "Fatigue Properties of Practical-Scale Unbonded Braces." *Nippon Steel Technical Report*, 82, July, 51-57.
- Sabelli, R and Lopez, W. A.** (2004). "Seismic Design of Buckling-Restrained Braced Frames," Structural Steel Education Council, Moraga, CA.
- White, W. Donald and Griffis, G. L.** (2013). "Stability Design of Steel Buildings," *Steel Design Guide 28*, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.