

# PERILAKU INELASTIK SISTEM RANGKA BATANG PEMIKUL MOMEN KHUSUS TIPE VIERENDEEL BERPENGAKU BRESING ANTI TEKUK

## *Inelastic Behavior of Special Truss Moment Frame Vierendeel Type Stiffened by Buckling-Restrained Braces*

Hidajat Sugihardjo

Dosen pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Kampus ITS Keputih Sukolilo Surabaya 60111  
E-mail : hidajat\_sugihardjo@yahoo.com

---

### ABSTRACT

*This research evaluates the inelastic behavior of ductile Buckling-Restrained Braced Truss-girder Moment Frames (BRBTMF) by analytical means. The BRBTMF proposed in this paper is the modification of the Special Truss Moment Frames (STMF) Vierendeel type by inserting Buckling-Restrained Braces (BRB) inverted-V-type into Vierendeel-segment to improve its inelastic behavior. The BRB section is a strip plate core LYS235 low yield steel, cased with rectangular hollow section A36 steel as a buckling-restraint material. The four story-seven bays frame model is analyzed using DRAIN-2DX nonlinear software. From the Nonlinear History Analysis using earthquake records, it can be concluded that in general, the BRBTMF has better inelastic behavior than the STMF Vierendeel type. The BRBTMF has the drift ratio up to 40.5 percent and the roof displacement up to 20.2 percent less than those in the STMF Vierendeel type due to the Miyagi record. It has been proven from the Nonlinear Static Push-Over Analysis that the BRBTMF has a good ductility, which is 33.2 percent greater than that of the STMF Vierendeel type. The base shear resulting from the Push-Over Analysis in the BRBTMF is 41.4 percent less than that in the STMF Vierendeel type. Based on these preliminary studies, it is possible to verify the validity of the BRBTMF proposed by experimental means and furthermore the BRBTMF may be implemented to practice.*

*Keywords: inelastic behavior, Special Truss Moment Frame Vierendeel type, BRBTMF*

### PENDAHULUAN

Indonesia yang terletak pada pertemuan tiga lempeng yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Pasifik dan lempeng Eurasia, menyebabkan hampir semua wilayahnya mempunyai resiko gempa tektonik tinggi. Oleh karena itu di Indonesia, merencanakan suatu struktur bangunan yang tahan terhadap beban gempa, merupakan kebutuhan yang tidak dapat dihindari. Kekuatan, kekakuan, daktilitas dan kemampuan untuk mendisipasikan energi gempa yang harus dimiliki oleh struktur bangunan merupakan hal utama yang harus diperhatikan. Filosofi bangunan tahan gempa bahwa akibat gempa-gempa besar bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh menimbulkan korban jiwa harus menjadi dasar pemikiran. Hal lain yang juga harus diperhatikan adalah sistem struktur, material yang akan digunakan serta sistem sambungan dari setiap elemen strukturnya.

Sistem Rangka Batang Pemikul Momen Khusus, disingkat SRBPMK (Perencanaan, 2000), adalah salah satu sistem struktur baja daktail untuk bentang-bentang panjang, jarak kolom ke kolom bisa mencapai 20 meter (AISC, 2005). Disebut khusus karena adanya segmen daktail khusus di tengah bentang yang berfungsi mendisipasikan beban-beban

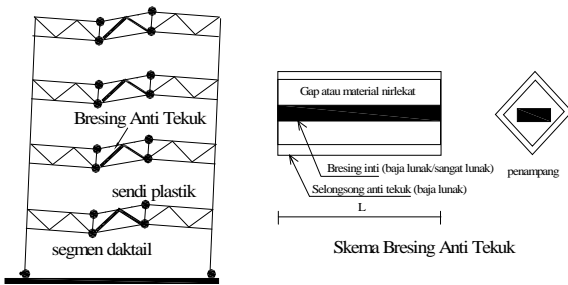
dinamik. Ada dua tipe sistem rangka daktail ini, yaitu tipe bresing-X dan tipe Vierendeel (Basha dan Goel, 1996).

Pada dekade 90 di Jepang telah berkembang material baja baru, dinamakan Baja Sangat Lunak (*Low Yield Stress Steel*), dimana yang termasuk dalam kelompok ini adalah LY100, LY160 dan LY235. Material ini dipakai sebagai bresing, berupa batang pipih sebagai inti bresing yang diperkaku dengan profil kotak dari baja normal sebagai pengekang, dinamakan Bresing Anti Tekuk (*Buckling-Restrained Braces*) atau selanjutnya disingkat BAT. Fungsi material ini sebagai peredam histeretik. Baja ini mempunyai karakteristik tegangan leleh yang kecil, berkisar 90-245 MPa (sampai sepertiga A36) tetapi regangan putusnya dapat mencapai 1,5-2,5 kali regangan putus baja A36 (Inoue, 2004b). Penggunaan baja sangat lunak sebagai pengganti baja normal menjamin plastifikasi terjadi pada deformasi yang kecil tanpa adanya perubahan yang signifikan pada kekakuan struktur (Shimokawa dan Kamura, 1999). Studi eksperimental pada empat elemen BAT yang menggunakan tipe pelat pipih baja A283 grade C yang diperkaku dengan selongsong pipa kotak baja A50 menghasilkan nilai daktilitas kumulatif (166-377), (Sugihardjo, 2006). Histeretik BAT hasil

eksperimen ini masih stabil sampai perpindahan 14,18 mm atau regangan 2%.

Studi untuk meningkatkan kinerja terhadap beban gempa dari rangka batang daktail tipe bresing-X dengan *mengganti* bresing-X dengan BAT (SRBBAT= Sistem Rangka Batang berelimen Bresing Anti Tekuk) telah dilakukan baik secara analitik dan eksperimental. Respon inelastik, yaitu simpangan atap, rasio simpangan, gaya geser dasar dan daktilitas akibat beberapa rekaman gempa, menghasilkan peningkatan yang signifikan (Sugihardjo et.al, 2004, 2008 dan Sugihardjo, 2006).

Dari uraian diatas timbul pemikiran, apabila pada ruang kosong segmen daktail sistem Vierendeel diatas ditempatkan Bresing Anti Tekuk sebagai pengaku, diharapkan akan dapat memperbaiki kinerja seismik sistem rangka. Skematik sistem rangka usulan dan BAT bisa dilihat pada Gambar 1. Sistem usulan ini akan lebih kaku sehingga deformasi lebih kecil, cocok untuk gedung-gedung yang tinggi. Keuntungan yang lain sistem Vierendeel yang diperkaku dengan BAT (yang mempunyai kapasitas leleh tekan sama dengan tarik) gaya geser dasar seismik, rasio simpangan bisa lebih kecil dan daktilitas lebih besar dibandingkan dengan sistem Vierendeel tanpa BAT (Sugihardjo, 2007).



Sistem Vierendeel diperkaku Bresing Anti Tekuk

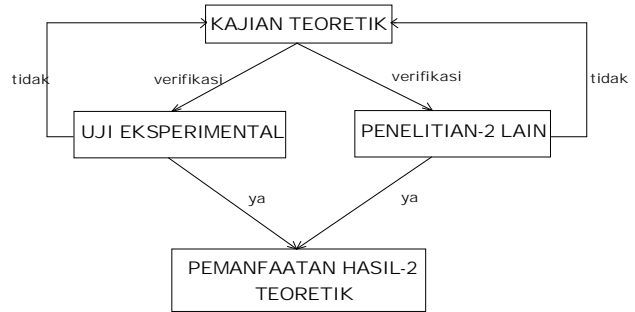
Gambar 1. Skematik BAT dan sistem rangka Vierendeel yang diperkaku BAT

**METODE PENELITIAN**

Untuk mencapai hasil sesuai tujuan penelitian ini, dipakai prinsip bahwa pada dasarnya perilaku inelastik suatu struktur dapat ditinjau dari parameter-parameter : gaya geser dasar, simpangan atap, rasio simpangan, disipasi energi, dan daktilitas struktur. Idealnya sebuah usulan model struktur baru, selain berdasarkan kajian analitik harus dikuatkan dengan kajian eksperimental sebagai verifikasi, seperti alur pada Gambar 2.

Dalam penelitian ini cara yang dipakai hanya alur sebelah kanan dari Gambar 2, kajian eksperimental akan dilakukan pada penelitian yang

lain, apabila secara analitik ada peningkatan respon inelastik seperti yang diharapkan.



Gambar 2. Alur ideal usulan model struktur yang baru

Oleh karena itu untuk mengetahui karakter nilai-nilai diatas, dua metode analitik akan digunakan dalam penelitian ini, yaitu Analisis Riwayat Waktu Nonlinier dan Beban Dorong Statik Nonlinier. Verifikasi hanya dilakukan terhadap penelitian-penelitian terdahulu. Dipilihnya Metode Analisis Riwayat Waktu Nonlinier karena cara ini dapat memberikan gambaran perilaku inelastik (gaya geser dasar, simpangan atap dan rasio simpangan) dari model struktur yang diusulkan sedang Metode Beban Dorong Statik Nonlinier digunakan untuk menghitung daktilitas struktur.

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- (1) Kajian analitik dimulai dari simulasi dan optimasi untuk mendapatkan profil-profil yang ekonomis dari dua model struktur Sistem Rangka Batang Pemikul Momen Khusus (SRBPMK) tipe Vierendeel dan struktur Vierendeel yang diperkaku dengan BAT pada struktur baja tujuh bentang-empat tingkat. Model rangka Vierendeel mempunyai segmen khusus di tengah bentang berupa struktur Vierendeel, sehingga disipasi energi gempa hanya lewat batang-batang tepi atas dan bawah rangka batang, berupa leleh akibat kombinasi momen lentur dan gaya aksial. Untuk menjamin bahwa elemen-elemen diluar segmen daktail tetap berperilaku elastik, dalam perencanaan elemen-elemen ini kekuatannya harus diperbesar dengan *overstrength factor*,  $\xi$ , yang dihitung dari Persamaan (1), (Basha dan Goel, 1996) :

$$\xi = \frac{M_{maks}}{M_{nc}} \tag{1}$$

dimana :

$M_{maks}$ = momen maksimum ujung segmen daktail

$M_{nc}$ = momen nominal batang tepi

Momen maksimum yang harus disediakan oleh ujung segmen khusus atau daktail tergantung pada panjang dan momen inersia batang tepi segmen khusus, deformasi vertikal maksimum, rotasi pada ujung-ujung segmen khusus (yang dalam hal ini dipresentasikan oleh rasio simpangan tingkat) dan kekakuan pasca leleh dan tegangan leleh material batang tepi. Dari hasil studi yang telah dilakukan diperoleh besarnya modulus tangensial atau kemiringan pasca leleh sebesar 15% ( Basha dan Goe, 1996). Dengan asumsi bahwa rasio simpangan tingkat struktur dapat mencapai 3%, besarnya  $M_{maks}$  dapat dihitung dengan Persamaan (2) :

$$M_{maks} = 0,027 EI \left\{ \frac{(L - L_s)}{L_s^2} \right\} + 0,85 M_{nc} \geq M_{nc} \quad (2)$$

dimana :

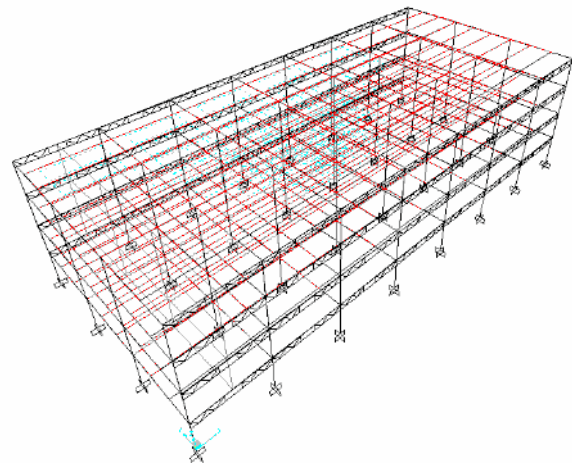
$EI$  = kekakuan lentur batang tepi

$L$  = panjang balok rangka

$L_s$  = panjang segmen daktail

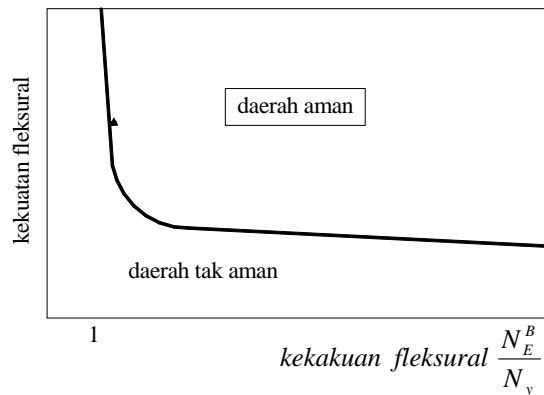
- (2) Untuk mendesain batang-batangnya dan untuk membuktikan bahwa pada sistem ganda (*tube in tube*) beban lateral terutama dipikul oleh portal-portal eksterior, dilakukan analisis elastik dinamik tiga dimensi spektrum respon untuk tanah tipe S3 dengan bantuan perangkat lunak (*SAP*, 2000). Batang-batang tepi rangka batang, elemen Vierendeel dan kolom diasumsikan sebagai elemen balok-kolom, sedang batang-batang diagonal diasumsikan sebagai elemen pendel (*truss*). Untuk memodelkan kekuatan tekan sama dengan tarik pada BAT, elemen dikekang pada 95% panjangnya (*end length offset*). Asumsi portal interior sebagai *nonmoment resisting frames*, seperti pada Gambar 3.

- (3) Teori dan desain BAT yang mempresentasikan perilaku bresing sesungguhnya dimana memperhitungkan interaksi antara bresing inti dan pengekang lateral serta interaksi antara kekuatan dan kekakuan pengekang lateral, dimana besarnya momen lentur yang terjadi di tengah pengekang lateral,  $M_C^B$ , dihitung berdasarkan Persamaan (3), (Inoue, 2004a). Desain BAT harus memenuhi daerah aman dari diagram Gambar 4.



Gambar 3. Model struktur tiga dimensi sistem Vierendeel (tanpa diperkaku BAT)

kondisi batas tekuk BAT



Gambar 4. Diagram interaksi desain panampang BAT (Inoue, 2004a)

- (4) Beberapa rekaman gempa, terutama gempa-gempa dengan *Peak Ground Acceleration* yang besar dan kandungan frekwensi yang berbeda diskalakan berdasarkan intensitasnya terhadap percepatan spektra  $S_3$  dan sekaligus mempelajari sifat kekakuan struktur dan untuk mengetahui *predominant periode* nya. Dalam studi ini gempa Miyagi-Ken-Oki 1978 NS ( $T_{predominant} \pm 1$ ) dibebankan pertama kali sesuai studi terdahulu (Goel dan Itani, 1994), kemudian gempa-gempa ElCentro 1940 NS, Northridge (Newhall 0 degree) 1994 dan Hyougoken-Nanbu (Kobe) 1995 NS untuk memverifikasi sistem struktur.

$$M_C^B = \left\{ \frac{a}{1 - \frac{N_y}{N_E^B}} + \frac{s + e}{\cos \left( \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{N_y}{N_E^B}} \right)} \right\} N_y$$

(3)

dimana :

a = amplitude defleksi awal pengeang lateral  
s = gap total antara bresing inti dan pengeang lateral

e = eksentrisitas bresing inti terhadap  $N_y$

$N_y$  = gaya aksial leleh dari bresing inti

$N_E^B$  = tekuk Euler pengeang lateral

(5) Dengan bantuan perangkat lunak nonlinier DRAIN-2DX (Prakash dan Powel, 1992), dianalisis perilaku inelastik rangka Vierendeel berpengaku BAT pada portal bidang eksterior dengan denah dan model analitik portal memanjang seperti pada Gambar 5. Karena simetris, model struktur dibuat setengahnya. Untuk mempresentasikan kekakuan struktur total seungguhnya, portal interior Denah Gambar 5a dimodelkan sebagai kolom kantilever, yang merupakan kolom paling kiri pada model analitik Gambar 5b. Analisis menggunakan persamaan gerak sistem inelastik dalam bentuk keseimbangan energi, Persamaan (4), (Akiyama, 1985), (Chopra, 2001). Terlihat dari persamaan ini energi leleh,  $E_{Y(t)}$ , dapat diatur sehingga ada pengurangan energi elastik,  $E_{S(t)}$  yang merupakan fungsi dari gaya geser dasar kolom. Peredaman viskos dengan cara klasik dari Rayleigh, dengan koefisien redam 5%, karena cara ini relatif cocok dengan data-data eksperimen terdahulu (Chopra, 2001), Prakash dan Powel (1992). Dengan metode langkah demi langkah dari Newmark, Persamaan (4) diselesaikan untuk beberapa rekaman gempa.

$$E_K(t) + E_D(t) + E_S(t) + E_Y(t) = E_I(t) \quad (4)$$

Dimana :

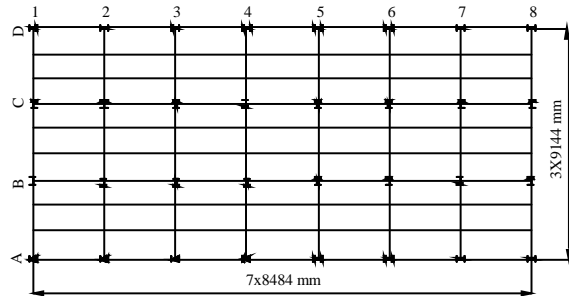
$$E_K(t) = \int_0^t m\ddot{u}(t)\dot{u}dt = \int_0^t m\dot{u}(t)du = \text{energi kinetik}$$

$$E_D(t) = \int_0^t f_D(t)\dot{u}dt = \int_0^t c\dot{u}^2(t)dt = \text{energi redam}$$

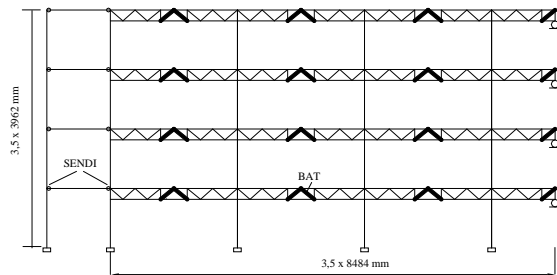
$$E_Y(t) = \int_0^t f_s(u,\dot{u})\dot{u}dt - E_S(t) = \text{energi leleh}$$

$$E_S(t) = \int_0^t f_s(u)\dot{u}dt$$

$$E_I(t) = -\int_0^t m\ddot{u}_g(t)\dot{u}dt = \text{energi input}$$



(a) Denah



(b) Portal eksterior memanjang

Gambar 5. Denah dan model analitik portal memanjang

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Desain penampang profil

Portal pertama kali didesain dengan metode statik ekuivalen dengan peraturan UBC (ICBO, 1988) dan faktor beban berdasarkan Metode LRFD (Manual, 1986). Peraturan lama ini digunakan untuk menelusuri dan membandingkan dengan studi terdahulu sehingga diperoleh beban gempa statik yang sama, (Goel dan Itani, 1994). Gaya geser dasar:  $V = ZICW/R_w$  dengan  $Z = 0,4$  ;  $I = 1,0$  ;  $C = 1,94$  berdasarkan periode getar,  $T = 1,00$  detik dan tipe tanah  $S_3$  ( $S_{factor} = 1,2$ ). Berat mati total bangunan  $W$  dihitung berdasar beban merata 3,83 KPa. Portal didesain sebagai SMRF dengan  $R_w = 12$  atau  $R = 8,5$  (ICBO, 1997), karena diharapkan adanya perilaku histeretik yang daktail dan stabil. Distribusi gaya geser tiap lantai dapat dilihat pada Tabel 1. Penampang profil rangka pada kajian analitik ini dibuat dari baja A36 dengan  $f_y = 36$  ksi = 248,2 MPa. Dari Analisis Spektrum Respon dan kontrol desain penampang berdasar Persamaan (1) dan (2) diperoleh penampang profil seperti pada Tabel 2. Pada sistem Vierendeel yang diperkuat BAT, perubahan bentuk struktur hanya pada tambahan BAT konfigurasi-V terbalik dari baja LY235  $f_y = 32,63$  ksi = 225 MPa.

Tabel 1. Distribusi beban lateral statik pada tiap lantai

Lantai	Gaya lateral statik (10 <sup>3</sup> N)
1	63,6
2	127,7
3	193,0
4	257,1
Jumlah	641,4

Tabel 2. Perbandingan dimensi penampang

Jenis elemen	Vierendeel	Vierendeel +BAT
Kolom tingkat-1 dan 2	W14x120	W14x120
Kolom tingkat-3 dan 4	W14x99	W14x99
Batang tepi	LL 100X13	LL 100X13
Diagonal luar	LL63,5x7,9	LL 63,5x7,9
Vertikal luar	LL50,8x6,4	LL 50,8x6,4
BAT-LY235		Pelat 60x8
Selongsong BAT		Kotak 50x3

Keterangan : W=wide flange (AISC); LL=siku ganda

Penampang profil rangka pada kajian analitik ini dibuat dari baja A36 dengan  $f_y=36$  ksi =248,2 MPa seperti terlihat pada Tabel 2. Perubahan bentuk struktur hanya pada tambahan BAT konfigurasi-V terbalik dari baja LY235  $f_y=32,63$  ksi =225 MPa.

### Skala gempa

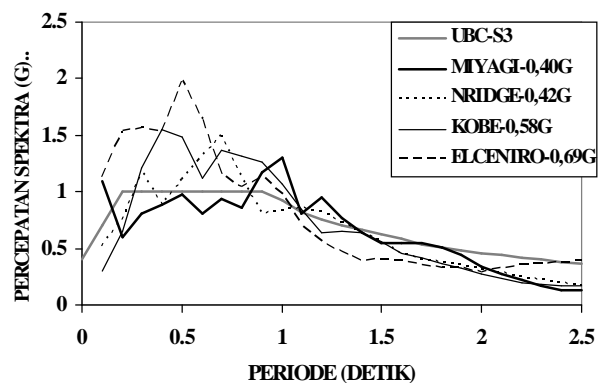
Untuk menguji validasi sistem struktur, rangka penelitian diatas dibebani empat rekaman gempa yang sudah diskala, yang mempunyai kandungan frekuensi yang berbeda, yaitu Miyagi-ken-oki 1978 NS PGA 0,4g, Elcentro 1940 NS PGA 0,69g, Northridge (Newhall 0 degree) PGA 0,42g dan Kobe NS PGA 0,58g. Faktor skala dipilih sedemikian sehingga intensitas spektra respon gempa sama dengan intensitas spektra kecepatan UBC-S3 dan spektra percepatan elastik dengan peredaman 5% *matching* dengan spektra desain tanah S3, seperti terlihat pada Gambar 6.

### Respon inelastik

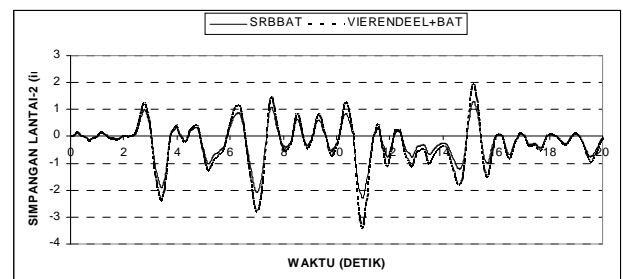
Dengan data seperti pada SRBPMK tipe bresing-X (Goel dan Itani, 1994), dilakukan studi dinamik pada portal eksterior gedung 4-tingkat 7-bentang menggunakan SRBPMK tipe Vierendeel yang diperkaku BAT akibat beban gempa Miyagi-Ken-Oki 1978 NS dengan skala PGA 0,4g. Analisis dengan perangkat lunak DRAIN-2DX, Prakash dan Powel (1992). Respon perpindahan relatif pada lantai 2 cukup stabil (asimtotik) seperti terlihat pada Gambar 7. Jika dibandingkan dengan SRBBAT

modifikasi dari bresing X (Sugihardjo, 2006), memang terjadi kenaikan dispersemen pada lantai 2, tetapi jika dibandingkan dengan SRBPMK tipe Vierendeel (Gambar 8), terjadi penurunan kira-kira sampai 40,5%, selama berlangsungnya gempa.

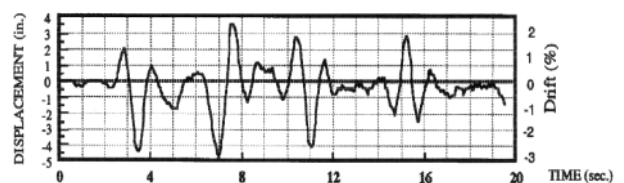
Perbandingan rasio simpangan tingkat dan dispersemen maksimum tiap lantainya terhadap rangka batang konvensional, balok solid SRBPMK tipe bresing-X dan SRBBAT seperti terlihat pada Gambar 9 dan 10. Terlihat dari gambar ini kinerja dari SRBPMK tipe Vierendeel+BAT masih di bawah SRBBAT, tapi lebih baik dari tipe bresing-X, rangka batang konvensional ataupun balok solid. Terjadi penurunan rasio simpangan sampai 20% jika dibandingkan sistem Vierendeel tanpa BAT.



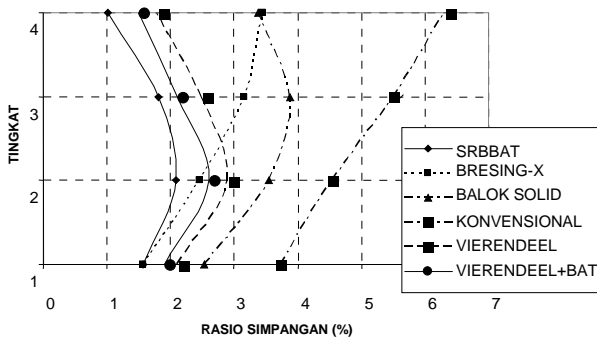
Gambar 6. Skala gempa terhadap tanah S<sub>3</sub> UBC



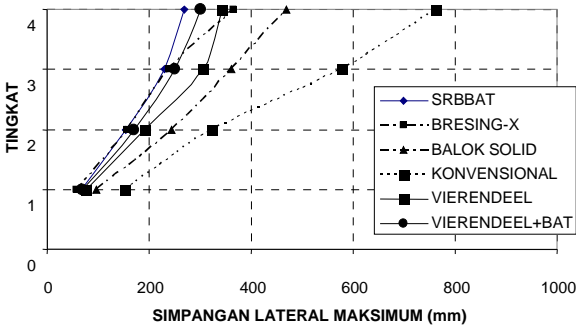
Gambar 7. Simpangan relatif lantai-2 Vierendeel+BAT, gempa Miyagi



Gambar 8. Simpangan relatif lantai-2 rangka Vierendeel gempa Miyagi, Basha dan Goel (1996)

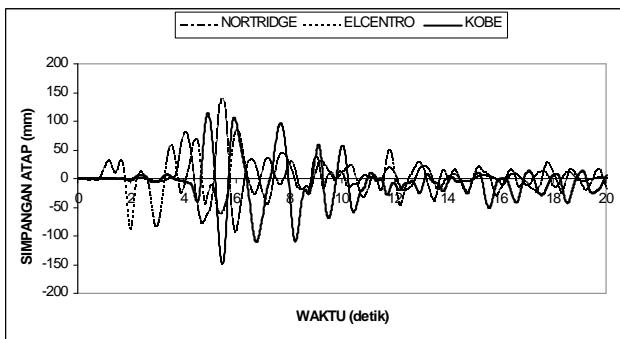


Gambar 9. Rasio simpangan, gempa Miyagi

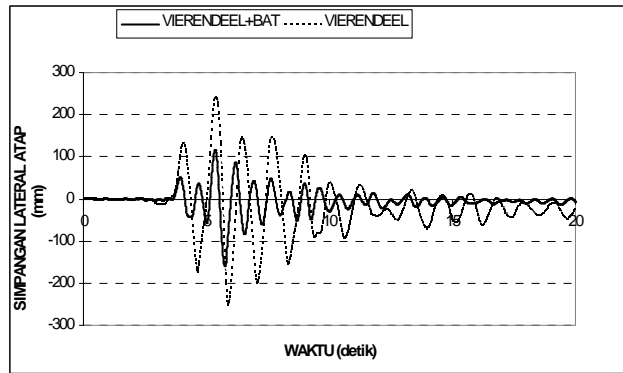


Gambar 10. Simpangan lateral atap, gempa Miyagi

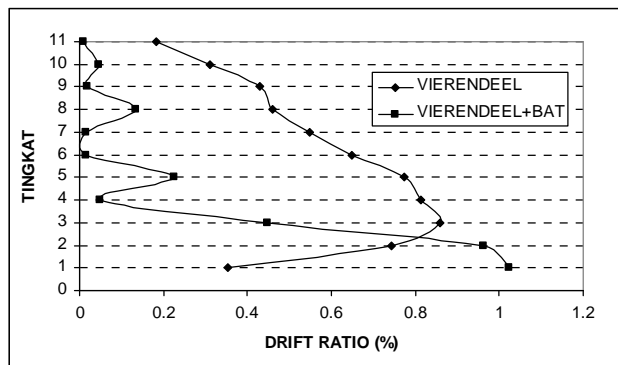
Untuk menguji validasi sistem struktur Vierendeel+BAT yang diteliti, rangka penelitian diatas dikaji terhadap tiga rekaman gempa yang sudah diskala pada Gambar 5. Untuk struktur 4-lantai, simpangan stabil dan asimtotik selama berlangsungnya gempa (Gambar 11). Hasil studi struktur 7-bentang 11-lantai atau tinggi bangunan 44 meter (Kuswanto, 2005) perbandingan simpangan dan rasio simpangan sistem Virendeel yang diperkaku BAT terhadap sistem struktur Virendeel tanpa BAT akibat gempa Kobe dapat dilihat pada Gambar 12 dan 13 berturut-turut. Terlihat secara umum sistem dengan tambahan BAT simpangan atap dan rasio simpangannya lebih kecil dan untuk kedua sistem, rasio simpangannya masih dibawah 2%.



Gambar 11. Simpangan lateral atap struktur 4-lantai

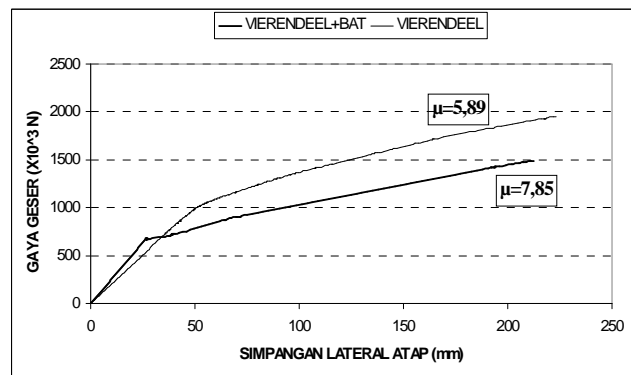


Gambar 12. Simpangan lateral atap struktur 11-lantai, gempa Kobe



Gambar 13. Rasio simpangan struktur 11-lantai, gempa Kobe

Untuk mengetahui peningkatan daktilitas sistem Vierendeel+BAT, beban dorong statik nonlinier dari Tabel 1 dibebankan pada model analitik Gambar 5. Kurva Gambar 14 menunjukkan meskipun sistem Vierendeel+BAT lebih kaku dari Vierendeel tanpa BAT, daktilitas naik dari 5,89 menjadi 7,85 atau meningkat sebesar 33,2%. Hal ini disebabkan pemakaian baja sangat lunak pada BAT sehingga terjadi leleh lebih awal. Gaya geser dasar pada kolomnya berkurang sampai 41,4%.



Gambar 14. Kurva beban dorong statik nonlinier struktur 4-lantai

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dari kajian-kajian analitik dimuka yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari Analisis Riwayat Waktu Nonlinier, sistem Vierendeel+BAT mempunyai rasio simpangan tingkat sampai 40,5% dan simpangan atap sampai 20,2% lebih kecil dari Vierendeel tanpa BAT akibat gempa Miyagi. Terbukti penggunaan BAT akan memperkecil simpangan atap dan rasio simpangan tingkat.
2. Dari kajian Beban Dorong Statik Nonlinier dibuktikan bahwa sistem Vierendeel+BAT mempunyai daktilitas 33,2% lebih tinggi dibandingkan Vierendeel tanpa BAT, sehingga sistem struktur yang diusulkan mempunyai faktor reduksi, R, yang lebih besar dari Vierendeel tanpa BAT. Hasil ini juga mendukung rekomendasi bahwa R rangka dengan pengaku BAT dapat diperbesar (NEHRP, 2000).
3. Dari kajian Beban Dorong Statik Nonlinier dibuktikan bahwa sistem Vierendeel+BAT lebih kaku dan mempunyai gaya geser dasar sampai 41,4% lebih kecil dibandingkan Vierendeel tanpa BAT, sehingga sistem struktur ini bisa lebih ekonomis.
4. Secara umum sistem struktur Vierendeel+BAT yang dibebani dengan beban gempa dengan kandungan frekwensi yang berbeda, Elcentro, Northridge dan Kobe menunjukkan kinerja yang baik.
5. Perilaku inelastik sistem struktur Vierendeel+BAT ini jika dibandingkan dengan Rangka Batang Konvensional, Balok Solid, SRBPMK tipe bresing-X memang menunjukkan peningkatan, tetapi relatif lebih rendah dari SRBBAT.

Penelitian yang telah dilakukan baru sebatas kajian analitik dan pada bentang tertentu. Perlu adanya kajian-kajian analitik untuk bentang-bentang dan tinggi struktur yang lebih bervariasi. Selanjutnya kajian eksperimental perlu dilakukan untuk mendukung hasil-hasil analitik yang telah dicapai.

## DAFTAR PUSTAKA

- AISC, 2005. *Seismic Provisions for Structural Steel Building*, American Institute of Steel Construction, Chicago.
- Akiyama, H., 1985. *Earthquake-Resistant Limit-State Design for Building*, University of Tokyo Press, Tokyo

- Basha, H.S., and Goel, S.C., 1996. Seismic-Resistant Truss-Moment Frames with Vierendeel Segment, *The 11<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, paper no. 487.
- Chopra, A.K., 2001. *Dynamics of Structures :Theory and Applications to Earthquake Engineering*, 2<sup>nd</sup> ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Goel, S.C., and Itani, A.M., 1994. Seismic-Resistant Special Truss-Moment Frames, *Journal of Structural Engineering*, 120(6), 1781-1797, ASCE,
- ICBO., 1988, 1997. *Uniform Building Code*, International Conference of Building Officials, Whittier, Calif.
- Inoue, K., 2004a. Hysteresis-Type Vibrations Dampers. Design of Hysteresis Type Dampers, *Steel Construction Today and Tomorrow*, No.7, June, 4-6, The Japan Iron and Steel Federation, Tokyo.
- Inoue, K., 2004b. Low Yield-Point Steel for Steel Dampers, *Steel Construction Today and Tomorrow*, No.7, June, 7-8, The Japan Iron and Steel Federation, Tokyo.
- Kuswanto, Y.D., 2005. Studi Daktilitas Gedung Baja Tingkat Tinggi Dengan Sistem Struktur Special Truss Moment Frames Tipe Vierendeel, *Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Sipil ITS, Surabaya.
- Manual of Steel Construction, Load and Resistance Factor Design (LRFD), 1986. American Institute of Steel Construction, Chicago.
- NEHRP, 2000. *Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures*, BSSC, Washington, D.C.
- Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung Menggunakan Metoda LRFD, 2000. Laboratorium Mekanika Struktur, Pusat Penelitian Antar Universitas, Bidang Ilmu Rekayasa, ITB, Bandung.
- Prakash, V., dan Powell, G.H., 1992. DRAIN-2DX, University of California, Berkeley, California.
- SAP., 2000. *Integrated Finite Elements Analysis and Design of Structures*, Computers and Structures, Inc., Berkeley, CA.
- Shimokawa, H. and Kamura, H., 1999. Hysteretic Behavior of Flat-Bar Brace Stiffened by Square Steel Tube, *The 6<sup>th</sup> International Conference on Steel & Space Structures*, 1-4, Singapore.
- Sugihardjo, H., Merati, W., Surahman, A., dan Moestopo, M., 2004. Kajian Analitik Perilaku Rangka Batang Daktail dengan Bresing-X dari Baja Sangat Lunak sebagai Peredam Histeretik, *Prosiding Konferensi Rekayasa Kegempaan II*,

Asosiasi Ahli Rekayasa Kegempaan (AARGI), ISBN 979-95620-1-5, 67-79, Yogyakarta.

- Sugihardjo, H. (2006) : Perilaku Inelastik Balok Rangka Batang Daktail Berelemen Bresing Anti Tekuk Sebagai Komponen Gedung Bertingkat, *Disertasi*, Sekolah Pascasarjana, ITB, Bandung.
- Sugihardjo, H., 2007. Studi penggunaan Bresing Anti Tekuk untuk meningkatkan kinerja inelastik struktur baja tahan gempa tipe rangka Vierendeel, *Penelitian Dana DIPA ITS*, Nomor kontrak : 0812.17/I2.7/PM/2007, LPPM-ITS, Surabaya.
- Sugihardjo, H., Merati, W., Surahman, A., dan Moestopo, M., 2008. Inelastic Behavior Of Ductile Buckling-Restrained Braced Truss-Girders Moment Frames, *Proceeding of The International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation (ICEEDM08)*, Indonesian Earthquake Engineering Association (IEEA) dan ITB, Jakarta.