

ANALISIS BUCKLING RESTRAINED BRACES SYSTEM SEBAGAI RETROFITTING PADA BANGUNAN BETON BERTULANG AKIBAT GEMPA KUAT

Widya Apriani¹, Sjahril A Rahim²

1. Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru, Kode Pos 28293, Indonesia

2. Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Jakarta, Kode Pos 16424, Indonesia

E-mail : widya.apriani99@yahoo.com

ABSTRAK

Pada umumnya bangunan yang ada di Indonesia telah dibangun dengan acuan pedoman SNI 1726-1989-F dan SNI 03-1726-2002. Setelah peraturan baru SNI 03-1726-2010 disahkan, bangunan yang telah ada boleh jadi tidak memenuhi standar baru, sehingga harus diperkuat (retrofitting). Untuk mendapatkan sistem struktur dengan respon yang paling baik terhadap gempa dilakukan studi pengembangan analisis mengenai perilaku BRB (Buckling Restrained Braces). B्रेसing tipe ini diaplikasikan pada bangunan tinggi struktur beton bertulang. Penelitian terlingkup mengenai, mekanisme, kinerja, dan parameter-parameter aktualnya terkait dengan adanya pengaruh gempa rencana sesuai FEMA 356. Hal-hal tersebut diteliti dengan membandingkan antara struktur eksisting, dengan struktur hasil retrofitting-nya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil analisa statik nonlinier (pushover analysis) untuk struktur sistem ganda dengan BRBS sampai pada target peralihan (*performance point*) yang dihitung berdasarkan FEMA 356 struktur gedung yang didesain masih memiliki taraf kinerja Life safety.

Kata kunci : buckling restrained brace, struktur sistem ganda, retrofitting, FEMA 356, taraf kinerja Life safety

ABSTRACT

In general, the existing building in Indonesia has been constructed with reference to the guidelines SNI 1726-1989-F and SNI 03-1726-2002, along with expanding knowledge of the new regulations have been born SNI 03-1726-2010. Existing buildings may be not meeting the new standards, so the buildings are vulnerable to safety and rigidity of the structure. To that end, should be strengthened (retrofitting). To get the system structure with the best response to the earthquake made the development of analytical studies on the behavior of BRB. Bracing is applied to the type of reinforced concrete structures in tall buildings. The study included about mechanisms, performance and actual parameters associated with the influence of earthquake plans with FEMA 356. Those things are investigated by comparing the existing structure with its retrofitting the structure. The results showed that the results of nonlinear static analysis (pushover analysis) for the structure of the dual system (DS) with BRBS to the intermediate targets (performance point) are calculated based on FEMA 356, designed the building structure still has the Life Safety performance level. This indicates that the building is designed according to the performance already qualified FEMA 356 because the building is designed as an office building.

Keywords : Buckling restrained brace, dual system structure, Retrofitting, FEMA 356, Life Safety

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan wilayah rentan mengalami gempa bumi. Resiko yang terjadi akibat gempa harus dikurangi, maka diperlukan bangunan yang tahan terhadap gempa. Sehingga beberapa dekade terakhir telah banyak dilakukan penelitian untuk mendapatkan sistem struktur dengan respons yang paling baik terhadap gempa. Pada umumnya Bangunan yang ada di Indonesia telah dibangun dengan acuan pedoman SNI 1726-1989-F dan SNI

03-1726-2002, seiring dengan berkembangnya pengetahuan maka telah lahir peraturan baru SNI 03-1726-2010.

Pada tahun 2010, Sutijpto telah melakukan analisis terhadap adanya persyaratan geser dasar seismik minimum pada RSNI 03-1726-2010, yang tidak dinyatakan secara eksplisit dalam SNI 03-1726-2002. Hasilnya bahwa gedung dengan perioda di atas 3 detik (19 lapis ke atas) yang telah terbangun dan yang dirancang berdasarkan SNI 03-1726-

2002, tidak memenuhi persyaratan RSNI 03-1726-2010. Bangunan yang telah ada boleh jadi menjadi tidak memenuhi standar baru, sehingga bangunan rentan akan keamanan dan kekakuan struktur. Untuk itu, seharusnya dikaji ulang dan bila perlu harus diperkuat (retrofitting).

Struktur yang paling umum digunakan untuk menahan tahanan lateral adalah Concentric Brace Frame (CBF). Struktur ini memiliki kekakuan lateral yang sangat tinggi. Namun karena timbul perilaku tekuk dan kehilangan kekakuan lateral akibat adanya gaya tekan pada struktur, maka perilaku histeristik pada CBF sudah tidak dapat diandalkan lagi (Di Sarno et al, 2010). Sebaliknya, Buckling restrained braces (BRB) merupakan pengaku yang mampu mengakomodasi dan menahan gaya tekan yang dapat menyebabkan tekuk pada struktur.

Selain itu, Menurut Di Sarno(2010) yang meneliti retrofitting dengan BRB yang diaplikasikan pada bangunan (2 lantai) beton bertulang juga menunjukkan hasil yang baik dimana diperoleh displacement global dan lokal berkurang setelah diretrofitting, pada bangunan eksisting simpangan antar lantai 2,34% pada CPLS dan 1,92% pada LSLS, sebaliknya untuk struktur retrofitting simpangan antar lantai berkurang menjadi 0,84% pada CPLS dan 0,65% pada LSLS serta lebih dari 60% energi dapat didisipasi oleh BRB ini.

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, perlu dilakukan adanya suatu pengembangan analisis mengenai perilaku BRB yang diaplikasikan pada struktur beton bertulang dengan pada bangunan tinggi.

Penelitian terlingkup mengenai perilaku, mekanisme, kinerja, dan parameter-parameter aktualnya terkait dengan adanya pengaruh gempa rencana. Hal-hal tersebut diteliti dengan membandingkan antara struktur eksisting, yakni struktur beton bertulang sistem portal, dengan struktur hasil retrofitting-nya, yakni struktur eksisting yang diberi tambahan elemen pengaku BRBS (Buckling restrained braces system).

Dilakukan beberapa pemodelan struktur. Model kemudian dilakukan retrofitting yang selanjutnya akan dibandingkan dengan struktur eksisting. penelitian ini dikembangkan analisisnya dengan menggunakan analisis statik non linier.

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui perilaku struktur yang telah diretrofitting dengan BRB.

2. Untuk mengetahui bagaimana respon nyata struktur ketika terkena gempa dengan metode analisa statik non linier (pushover).

Ruang lingkup penulisan ini adalah :

1. Pemodelan struktur gedung beton bertulang.
2. Klasifikasi gedung beraturan, 20 lantai.
3. di wilayah gempa 3, jenis tanah lunak.
4. Modelisasi dan analisa menggunakan program ETABS.
5. Analisis dengan FEMA 356 yaitu dengan analisis beban dorong static (pushover analysis).

METODOLOGI, DESAIN, DAN ANALISA

Fokus desain struktur yang sudah ada dalam penelitian ini dilakukan dengan analisa dinamik respons spektrum yang di kontrol dengan analisa statik ekuivalen (pengecekan gaya geser). untuk SNI 03-1726-2010 disyaratkan gaya elemen yang dihasilkan ragam harus diskalakan sedemikian hingga geser dasar tersebut sama dengan 0,85 kali geser dasar metode statik ekuivalen atau bila $V_{cqc} < 85\% V_{statik}$, faktor skala gaya dan simpangan antar lantai = $0,85\% V_{statik} / V_{cqc}$.

Struktur bangunan eksisting yang dijadikan model dalam kasus ini adalah struktur bangunan *dual system*, yakni menggunakan pengaku *shear wall*, yang dalam kondisi ini bangunan tidak memenuhi prasyarat desain tahan gempa dari peraturan SNI revisi yang baru.

Pemodelan Elemen Struktur

Tabel 1. Dimensi Balok

Lantai	Tipe balok	As tulangan terpasang atas (mm ²)	Jumlah tulangan atas	As tulangan terpasang bawah (mm ²)	Jumlah tulangan bawah
Lantai 1	B40×60	1963	4D25	804	4D16
	B35×35	603	3D16	402	2D16
	B25×40	804	4D16	402	2D16
	B50×70	6433	8D32	3217	4D32

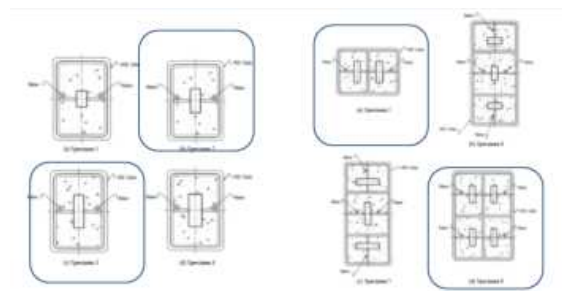
Tabel 2. Dimensi Kolom

Tipe	B(m)	H(m)	Tulangan
Kolom 80	80	80	20D32
Kolom 70	70	70	20D25
Kolom 65	65	65	20D25
Kolom 60	60	60	20D25
Kolom 55	55	55	20D25
Kolom 50	50	50	20D25
Kolom 45	45	45	12D20

Mutu beton yang dipakai, untuk balok adalah 40MPa, kolom 45 MPa, dan dinding geser 45 MPa. Mutu baja tulangan kolom 400 MPa, balok 240 MPa. Tinggi lantai 5.0 m (lantai 1) dan 4.0 m (lantai 2-20). Desain mengacu pada BRBS.

Dalam menentukan tipe bresing yang digunakan, dipilihlah bresing yang telah diuji dan yang menghasilkan kurva disipasi energi yang baik dalam menerima gaya gempa.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Steve merritt, Chia-ming uang dan Gianmario benzoni dari *University of California, San Diego Department of Struktural Engineering La Jolla* [20] dimana hasilnya menunjukkan kurva histerisis yang sangat stabil tekan-tariknya dan simetrikal.



Gambar 1. Penampang BRB

Berdasarkan hasil desain diperoleh tipe bresing yang dipilih adalah spec 2 : lantai 16-20 , spec 3 : lantai 10-15, spec 5 : lantai 3- 9 , dan spec 8 : lantai 1-2

P = gaya aksial bresing (hasil ETABS)

$f_y = 250 \text{ MPa}$

$f_u = 410 \text{ MPa}$

$E = 210000 \text{ MPa}$

bpl = lebar steel core

tpl = 14 mm

$L = 7810.2 \text{ mm}$

$C_d = 5$ (Tabel R.3-1 Appendix R ANSI AISC-341-05)

Yield Length : 5467.17 mm

Work Point Length : 7810.2 mm

Penentuan kapasitas tarik dan tekan maksimum dilakukan berdasarkan hasil uji terhadap sampel BRB. Dalam perencanaan ini digunakan hasil uji mengacu BRB Widlcat test report, USA yang ditunjukkan sebagai berikut:

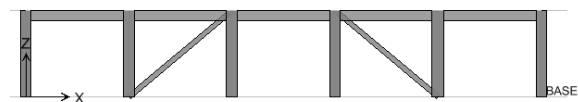
Untuk kapasitas tarik, persamaan regresinya adalah : $\omega = 26.789 \xi + 1.0333$

Untuk kapasitas tekan, persamaan regresinya adalah : $\omega\beta = - 45.186 \xi - 0.7691$

Tabel 3. Perhitungan Kekuatan BRB

Story	tipebrbs	Member force check $N_{pl} = A_{sc} * f_y$ (N)	$P_{psc} = P_{psc} * A_{sc}$	for tension = $\omega * P_{psc}$	for compression = $\omega\beta * P_{psc}$
STORY20	spec 2	400750	400750	467828.16	-398820.13
STORY19	spec 2	400750	400750	492051.63	-439665.05
STORY18	spec 2	628500	628500	795762.08	-730121.81
STORY17	spec 2	628500	628500	843484.85	-810590.54
STORY16	spec 2	628500	628500	894879.59	-897250.83
STORY15	spec 3	879500	879500	1137734.79	-1062467.89
STORY14	spec 3	879500	879500	1107839.07	-1012058.60
STORY13	spec 3	879500	879500	1065361.05	-940433.41
STORY12	spec 3	879500	879500	1112844.55	-1020498.70
STORY11	spec 3	879500	879500	1145560.44	-1075663.28
STORY10	spec 3	879500	879500	1171187.62	-1118875.08
STORY9	spec 5	1882562.5	1882563	2258587.45	-1976216.12
STORY8	spec 5	1882562.5	1882563	2324985.87	-2088175.20
STORY7	spec 5	1882562.5	1882563	2431476.02	-2267735.75
STORY6	spec 5	1882562.5	1882563	2460133.93	-2316057.88
STORY5	spec 5	1882562.5	1882563	2360758.01	-2148493.13
STORY4	spec 5	1882562.5	1882563	2387428.40	-2193463.96
STORY3	spec 5	1882562.5	1882563	2513828.83	-2406596.64
STORY2	spec 8	3018635	3018635	3846446.89	-3547069.46
STORY1	spec 8	4429862.5	4429863	5770541.92	-5418887.00

Dalam penelitian ini, jenis konfigurasi BRB yang dipakai adalah tipe single diagonal. Pada konfigurasi ini BRB dipasang dari sisi bawah bagian kiri portal sampai sisi atas bagian kanan portal. Penentuan letak Buckling restrained braces didistribusikan proporsional tiap lantai. Berikut ini adalah pemodelan dari bentuk bresing diagonal :



Gambar 2. Single Diagonal Bressing

Pemodelan BRB pada Program ETABS dalam pemodelan yang terdiri dari: Pendefinisian elemen sebagai section designer, kemudian section steel core baja inti yaitu sebagai segmen terkekang dan leleh (bagian tengah), intinya yang berfungsi sebagai penahan gaya adalah baja inti tersebut. Sedangkan bagian lain tidak di definisikan di dalam ETABS. Buckling restrained braces dimodelkan sebagai pin-end. Frame kolom dimodelkan sebagai fixed.

ANALISA

Perencanaan Berbasis Kinerja

Analisa yang dilakukan dua tahap. yang pertama analisa pushover tujuannya adalah mengevaluasi perilaku seismik struktur terhadap beban gempa rencana, yaitu memperoleh nilai $\mu\Delta$ actual dan R actual struktur, memperlihatkan kurva kapasitas (capacity curve) dan memperlihatkan skema kelelahan (distribusi sendi plastis) yang terjadi. Tahap kedua analisis yaitu menentukan tingkat kinerja struktur dengan berbasis titik kinerja.

Tahapan analisis pushover sebagai berikut.

1. menentukan tipe dan besar beban.

- a. beban gravitasi : beban mati (DL dan SDL) tidak diskalakan sehingga skala = 1 dan beban hidup (LL) dengan skala 0.3
 - b. kontrol peralihan : memakai batasan drift sesuai kinerja batas ultimit dikalikan tinggi total gedung. Pola beban yang digunakan adalah pola beban arah utama gedung yang tidak diskalakan lagi sehingga skala = 1
2. melakukan analisis beban dorong. Dari analisis ini didapat kurva kapasitas yang menunjukkan hubungan gaya geser dasar terhadap peralihan, yang memperlihatkan perubahan perilaku struktur dari linier menjadi non-linier, berupa penurunan kekakuan yang diindikasikan dengan penurunan kemiringan kurva akibat terbentuknya sendi plastis pada kolom dan balok.

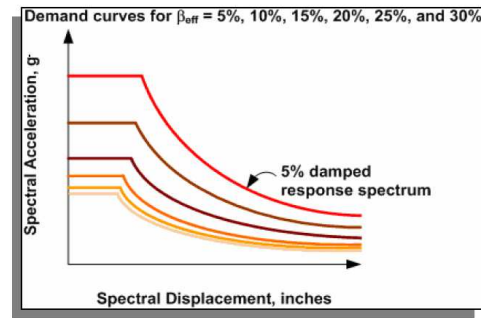
Tabel 4. Tingkat Kerusakan Bangunan

Level Kinerja	Penjelasan
operasioanal	Tidak ada kerusakan struktural dan non struktural yang berarti, bangunan dapat tetap berfungsi
Immediate occupancy	Tidak terjadi kerusakan struktural, komponen non struktural masih berada di tempatnya dan bangunan tetap dapat berfungsi tanpa terganggu masalah perbaikan
Life safety	Terjadinya kerusakan struktural tetapi tidak terjadi keruntuhan, komponen non struktural tidak berfungsi, tetapi bangunan masih dapat digunakan setelah dilakukan perbaikan.
Collapse prevention	Kerusakan terjadi pada komponen struktural dan non struktural, bangunan hamper runtuh, dan kecelakaan akibat kejatuhan material bangunan sangat mungkin terjadi.

Analisis kedua yaitu analisis kinerja struktur mengenal empat tingkat kerusakan seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

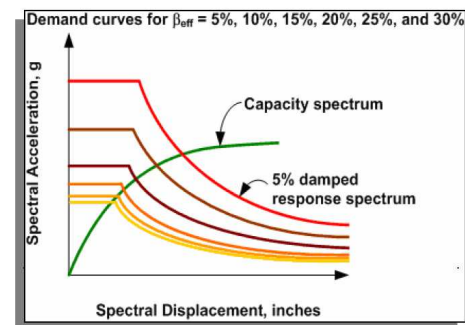
Penentuan *performance point* dengan metode kapasitas spektra dapat dilakukan dengan tiga prosedur. Langkah-langkah yang digunakan pada program perangkat lunak ETABS yaitu sebagai berikut.

1. Plot respons spektrum elastik dengan damping 5% yang sesuai dengan kondisi tanah setempat.
2. Plot *family spectra* dengan redaman 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% pada kurva yang sama dengan spectrum kebutuhan 5% seperti pada gambar berikut.



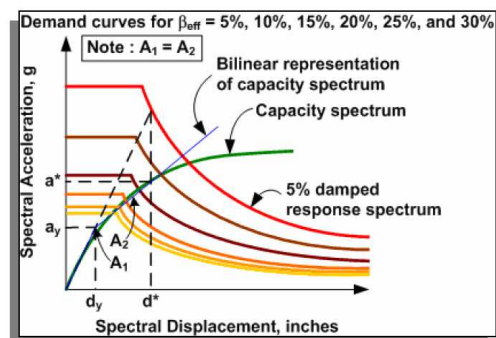
Gambar 3. Kurva family demand spectrum

3. kurva *demand* ditransformasi dari analisis *pushover* menjadi kurva spektrum kapasitas. Plot kapasitas spektra tersebut pada kurva yang sama, seperti dalam gambar berikut.



Gambar 4. Kurva demand spectrum dan spectrum kapasitas

4. Gambar kurva dari poin 3 diubah menjadi bilinear. Kemiringan awal dari kurva bilinear sama dengan kekakuan elastik struktur. Sedangkan titik a' dan d' ditentukan dengan equal displacement yaitu segmen dari pasca elastik yang diperoleh dengan meneruskan garis kemiringan awal hingga memotong ke kurva 5% spektrum kebutuhan. Tarik garis dari titik perpotongan tersebut hingga berpotongan dengan spectrum kapasitas. Rotasi titik perpotongan tersebut hingga berpotongan dengan spectrum kapasitas. Rotasi titik yang diperoleh sehingga didapat luas A_1 sama dengan luas A_2 . Titik akhir yang diperoleh adalah titik a' dan d' .



Gambar 5. Kurva bilinear

5. hitung besarnya redaman efektif dengan persamaan berikut :

$$post\ yield\ slope = \frac{a'_i - a_y}{d_i - d_y} \quad (3.2)$$

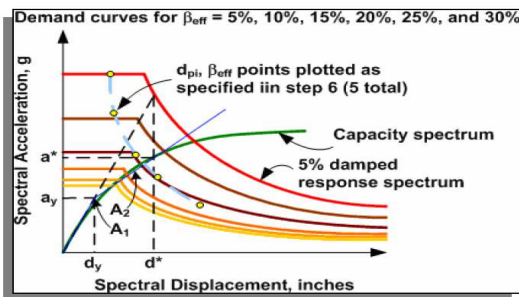
Untuk tiap titik api dan dpi , maka gradient pasca elastic ditentukan oleh persamaan berikut:

$$post\ yield\ slope = \frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y} \quad (3.3)$$

Karena kemiringan konstan, maka :

$$a_{pi} = \frac{(a'_i - a_y)(d_{pi} - d_y)}{d_i - d_y} + a_y \quad (3.4)$$

6. plot titik-titik yang diperoleh pada kurva yang sama sehingga diperoleh kurva berikut :



Gambar 6. Iterasi untuk menemukan Performance Point

7. Hubungkan titik-titik yang diperoleh dari langkah 6 seperti ditampilkan dalam gambar 3.11. Perpotongan garis tersebut dengan spectrum kapasitas merupakan *performance point* struktur.

Retrofitting BRBs

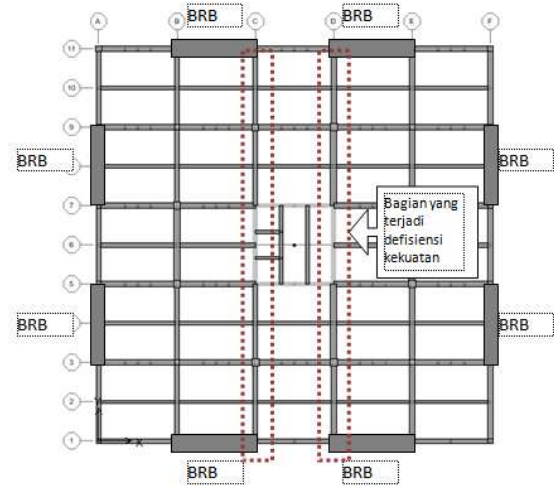
Penentuan Letak Bresing

Retrofitting dilakukan setelah diperiksa terjadinya kegagalan di beberapa elemen struktur. Untuk melakukan retrofitting BRBS dan menentukan letak penempatan bresing pada struktur disesuaikan dengan keberadaan elemen struktur yang mengalami overstress. Dari analisa MODEL diperoleh elemen balok mengalami overstress. Posisi balok berada pada lantai 9-18. Pada posisi ini akan direncanakan penempatan BRB.

Selanjutnya dari hasil analisis MODEL DS10-b diperoleh overstress pada elemen kolom di lantai 4-9. Overstress terjadi hampir merata di seluruh bidang struktur, oleh karena itu dipertimbangkan untuk memposisikan bresing pada seluruh tingkat bangunan.

Untuk menghasilkan struktur yang baik dalam menahan gaya gempa, maka posisi bresing di letakkan pada perimeter bangunan dan pada ke

empat sisi bangunan seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini :

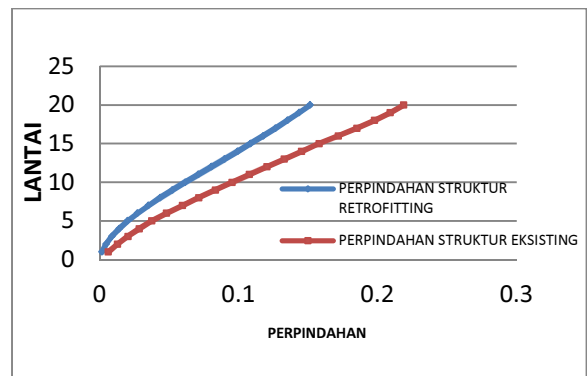


Gambar 5. 19 Posisi Bresing

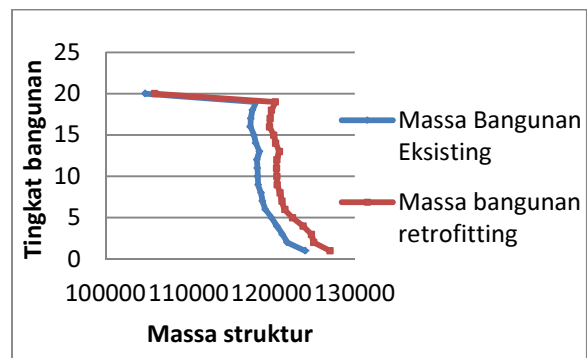
Gambar 7. Perbandingan Nilai Periode Struktur

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan perpindahan struktur eksisting dan retrofitting perpindahan akibat gempa rencana yang bekerja menjadi menurun.

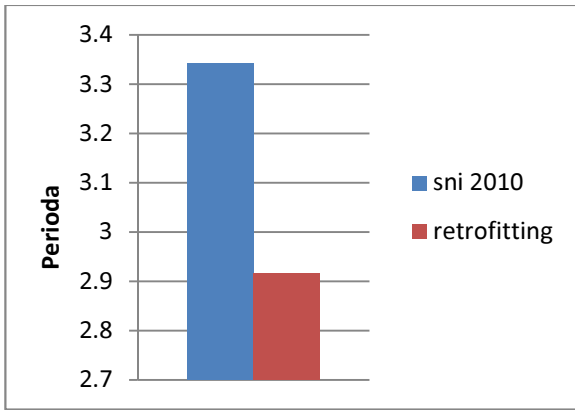


Gambar 8. Grafik Perpindahan Struktur



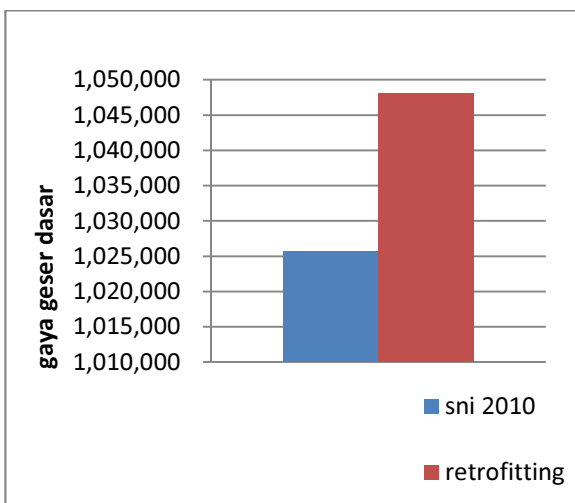
Gambar 9. Gambar Perbandingan nilai massa struktur

Peningkatan massa struktur akibat penambahan elemen baru yaitu BRB menyebabkan peningkatan massa rata-rata sebesar 2 perpindahan lantai akibat gempa rencana yang bekerja menjadi menurun. Hal ini tidak berpengaruh kepada struktur awal terutama kolom dalam menahan massa BRB.



Gambar 10. Perbandingan Nilai Periode Struktur

Penurunan nilai periode struktur setelah diretrofitting karena bertambahnya kekakuan dan massa pada struktur. Penurunan periode ini juga dipengaruhi oleh peningkatan gaya geser dasarnya.



Gambar 11. Perbandingan Nilai Gaya Geser Dasar

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan gaya geser sebesar 2% pada struktur yang di retrofitting dengan BRB.

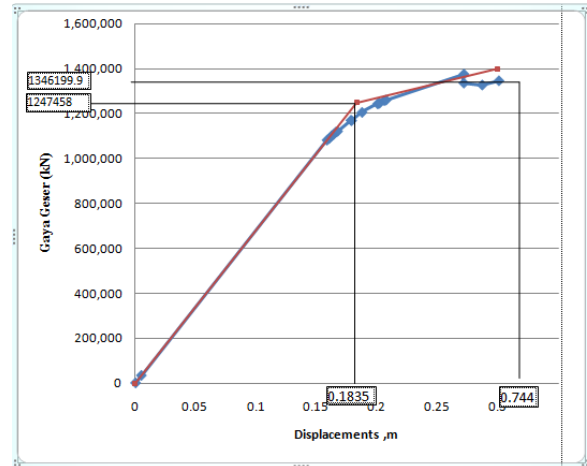
- Evaluasi kinerja struktur pada kondisi inelastik (pushover analysis) model retrofitting

Waktu getar alami efektif

Jadi waktu getar fundamental efektif sama dengan waktu getar fundamental elastis = 2.16 detik.

Pergerakan kurva yang monoton mengindikasikan tidak terjadinya tekuk pada seluruh komponen struktur, walaupun ada penurunan gaya geser pada beberapa titik. Kurva bilinear pushover arah x memperlihatkan kekakuan awal (K_i) berimpit dengan kekakuan efektif (K_e), jadi waktu getar alami tidak mengalami perubahan sampai tercapai kondisi leleh.

Analisa Bilinear Target Perpindahan



Gambar 5. 27 Analisa kurva bilinear untuk target perpindahan

Gambar 12. Analisa kurva bilinear untuk target perpindahan

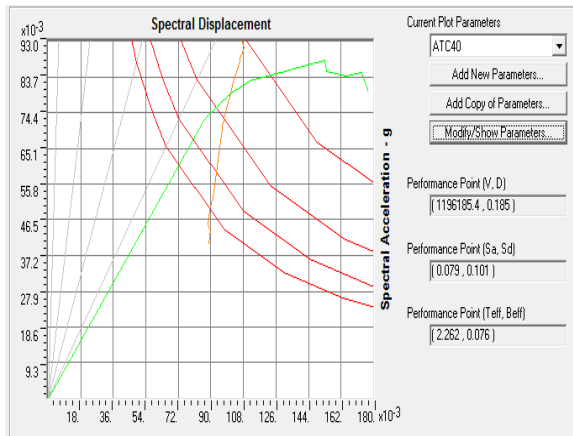
Tingkat Kinerja Struktur

Tingkat kinerja struktur diperoleh yaitu tingkat kinerja Immediate Occupancy. Hal ini menunjukkan bahwa target fungsi bangunan sebagai gedung perkantoran pada prediksi awal yaitu Life safety terpenuhi.

Tabel 5. Kinerja Struktur

Parameter	Tipe struktur 1
δ_y (m)	0.1835
Vleleh(kg)	1247568.9
Vmaks(kg)	1346199.9
δ_m (m)	0.744
μ	4.05
R (ETABs)	7.8327

Berdasarkan SNI 03-1726-2002 penentuan tingkat daktilitas gempa, dari analisis diperoleh $\mu = 4.05$ dan faktor reduksi gempa (R) melebihi dengan rencana awal yaitu $R = 7$ (untuk struktur portal dengan bresing tahan tekuk). Sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur sudah memenuhi dan struktur termasuk kedalam daktil parsial.



Gambar 13. Target peralihan

Hasil analisis memperlihatkan bahwa target peralihan diperoleh sebesar $\delta t = 0.185$ meter dan $V_t = 1196185.4$ kg, dan waktu getar alami (T_e) diperoleh sebesar 2.262 detik. Maka berdasarkan metode ini perilaku struktur arah x saat terjadi gempa masih dalam keadaan elastis.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Aplikasi BRBS pada struktur sebagai retrofitting mampu menahan gaya tekan yang dapat menyebabkan tekuk pada struktur. Hasil studi menunjukan bahwa kerusakan pada elemen struktur dapat diatasi dengan pemasangan BRBS.
2. Dari berbagai posisi yang ditempatkan, yaitu *Buckling Restrained Braces* dengan ukuran yang sama diletakkan pada setiap lantai (tipe 1), *Buckling Restrained Braces* didistribusikan proporsional tiap lantai (tipe 2), dan *Buckling Restrained Braces* didistribusikan proporsional bergantung pada *story shear* (tipe 3). Diperoleh posisi penempatan yang paling optimal adalah tipe 3. posisi paling optimal adalah pada perimeter bangunan dan pada jarak 2b dan 4b.
3. Periode alami dari struktur setelah retrofitting berupa penambahan elemen BRBS mengalami penurunan, hal ini menandakan kekakuan struktur semakin bertambah
4. Kekakuan struktur dual system eksisting meningkat dengan dilakukannya retrofitting dengan penambahan elemen BRBS. Dengan

dilakukannya retrofitting, perpindahan lantai akibat gempa rencana yang bekerja menjadi menurun.

5. Hasil analisa statik nonlinier (pushover analysis) untuk struktur dual sistem (DS) dengan BRBS sampai pada target peralihan (performance point) yang dihitung berdasarkan FEMA 356 struktur gedung yang didesain masih memiliki taraf kinerja Immediate Occupancy. Artinya struktur masih berada diatas syarat yang ditetapkan yaitu Life safety. Hal ini menunjukkan bahwa gedung yang didesain sudah memenuhi syarat kinerja sesuai FEMA 356 karena gedung di desain sebagai gedung perkantoran.
6. Tingkat Daktilitas struktur retrofitting masih sesuai dengan R rencana yang disyaratkan yaitu 7.8237 karena R untuk sistem struktur dengan bresing tahan tekuk menurut FEMA 356 adalah 7.
7. Sebaran sendi plastis yang terjadi pada elemen bresing pada bidang yang adalah yang pertama kali terjadi. Selanjutnya terjadi pada balok pada bidang yang terdapat dinding geser. Sendi plastis yang terjadi berhenti pada tingkat Immediate Occupancy.

DAFTAR PUSTAKA

- Di Sarno, L & Manfredi, G. 2010. *Seismic retrofitting with restrained braces: Application to an existing non-ductile RC framed building*. *Journal of structure engineering Elsevier: Italy*. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143974X08000710> [Accessed 3 Januari 2011]
- Dunai, László. (2011, Maret). *Final report : Type Testing of Buckling restrained braces* According to en 15129: Budapest. Available at: www.starseismic.eu/downloads/110315%20Final%20report%20EWC800.pdf [Accessed 21 Januari 2011]
- Hussain, Saif, et al. (2006). *Buckling Restrained Braced Frame (BRBF) Structure : Analysis, Design And Approvals Issues*. Coffman Engineers, Inc: Los Angeles, CA
http://www.coffman.com/documents/news/industry_articles/brbfpaperfinal.pdf [Accessed 21 Januari 2011]