

## ANALISIS NILAI FAKTOR DAKTILITAS DENGAN METODE *PUSHOVER* DENGAN PERKUATAN BRESING DIAGONAL TUNGGAL

Maria Kevinia Sutanto<sup>1</sup> dan Daniel Christianto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
*maria.325180006@stu.untar.ac.id*

<sup>2</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
*danielc@ft.untar.ac.id*

Masuk: 20-01-2022, revisi: 05-05-2022, diterima untuk diterbitkan: 09-05-2022

### ABSTRACT

*Changes in design regulations cause differences in earthquake forces, so additional reinforcement is needed to meet earthquake-safe high-rise buildings, so they are reinforced with steel braced. Bracing can increase the stiffness and strength of the structure and improve the structure in accepting lateral loads and resisting lateral displacement without adding a large mass. Concrete and steel structures are different materials and will affect the response modification factor (R) value in calculating earthquake loads. In SNI 1726:2019, part of the combined moment-bearing frame system of steel and concrete, the value of R itself has not been explicitly regulated. Therefore, the purpose of this research is to analyze the value of the combined structural ductility factor for reinforced concrete and steel braced structures using pushover analysis. Analysis results show that diamond braces are the best model from the tests carried out, have a ductility factor value in the X-direction, R of 5,58,  $\Omega_0$  of 2,88, and  $C_d$  of 1,44. Meanwhile, for the Y-direction, R is 7,50,  $\Omega_0$  is 2,12, and  $C_d$  is 1,07. Performance level based on ATC40, X-direction diamond braced is Immediate Occupancy, and Y-direction is Damage Control. Based on FEMA 356, the X-direction and the Y-direction are Immediate Occupancies.*

*Keywords: pushover analysis; response modification factor; performance level; bracing*

### ABSTRAK

Perbedaan peraturan desain menyebabkan perbedaan gaya gempa, diperlukan perkuatan tambahan untuk memenuhi bangunan tinggi yang aman terhadap gempa, salah satunya diperkuat dengan menambahkan bresing. Bresing dapat meningkatkan kekakuan dan kekuatan struktur membantu meningkatkan struktur dalam menerima beban lateral dan menahan simpangan lateral (menstabilkan) tanpa menambah massa yang besar. Struktur beton dan baja merupakan material yang berbeda, dan akan mempengaruhi pemilihan nilai faktor modifikasi respon (R) dalam perhitungan beban gempa. Dalam SNI 1726:2019 bagian sistem rangka pemikul momen gabungan baja dan beton, nilai R sendiri belum diatur secara eksplisit. Oleh karena itu, tujuan dalam penulisan ini adalah untuk menganalisis dan meninjau nilai faktor daktilitas struktur gabungan yaitu struktur beton bertulang dan bresing baja dengan metode analisis *pushover*. Hasil analisis menunjukkan bahwa *diamond* bresing adalah model paling baik dari uji yang dilakukan, memiliki nilai faktor daktilitas arah X yaitu R sebesar 5,58, nilai  $\Omega_0$  sebesar 2,88 dan nilai  $C_d$  sebesar 1,44. Sementara untuk arah Y yaitu R sebesar 7,50, nilai  $\Omega_0$  sebesar 2,12 dan nilai  $C_d$  adalah 1,07. Tingkat kinerja berdasarkan ATC40, *diamond* bresing arah X adalah *Immediate Occupancy*, arah Y adalah *Damage Control*. Berdasarkan FEMA 356, tingkat kinerja arah X adalah *Immediate Occupancy*, arah Y, memiliki tingkat kinerja *Immediate Occupancy*.

Kata kunci: analisis *pushover*; faktor modifikasi respon; tingkat kinerja; bresing

## 1. PENDAHULUAN

Semakin meningkatnya populasi penduduk Indonesia menjadi alasan semakin banyak bangunan tinggi di Indonesia. Seiring dengan perkembangan ketentuan tentang bangunan tinggi di Indonesia, mewajibkan dan mempertimbangkan aspek struktural seperti kemampuan struktur untuk memikul berbagai macam beban yaitu beban gravitasi dan beban seismik dalam sebuah bangunan berdasarkan letak lokasinya. Bangunan harus di rancang dan diterapkan konsep *strong column weak beam*, yang mensyaratkan bahwa setelah struktur mengalami gempa rencana, sendi plastis boleh terjadi pada balok dan tidak pada kolom. Balok harus didesain *under reinforced*, dimana ketika diberikan pembebanan secara kontinu, tulangan tarik akan leleh terlebih dahulu. Hal ini ditujukan agar bangunan masih dapat tetap berdiri dan orang yang masih berada didalamnya dapat menyelamatkan diri. Namun kenyataannya, ketika gempa rencana

terjadi, sendi plastis terjadi pada kolom sekaligus merupakan daerah yang memikul momen maksimum (Tavio & Wijaya, 2018).

Dalam menganalisis kapasitas struktur bangunan gedung tahan gempa, metode yang dapat digunakan adalah metode desain layan, metode desain ultimit dan metode berbasis kinerja (*performance-based design*). Desain berbasis kinerja memastikan bahwa struktur memenuhi kapasitas layan dan kapasitas ultimit serta memenuhi tingkat kinerja yang dibutuhkan. Konsep *Performance Based* sendiri mengadopsi perpindahan struktur sebagai pendekatannya, dimana menekankan pada kinerja struktur selama terjadinya gempa, salah satu evaluasinya adalah dengan analisis *pushover*. Analisis *pushover* adalah dimana suatu struktur dikenai beban gravitasi dan pola beban lateral yang dikendalikan dan terus meningkat sampai tercapai kondisi ultimit dengan tujuan untuk memperkirakan respons keruntuhan deformasi struktural seismik. Analisis *pushover* biasanya digunakan untuk mengevaluasi kapasitas seismik dari struktur yang ada (Khan, 2013).

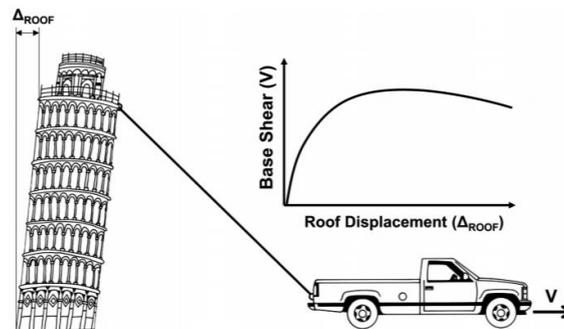
Bangunan eksisting yang telah didesain menggunakan SNI 1726-2002 jika dibandingkan dengan SNI 1726-2019 akan berbeda. Diperlukan perkuatan tambahan untuk memenuhi bangunan tinggi yang aman terhadap gempa, salah satunya diperkuat dengan menambahkan bresing atau baja pengaku. Bentuk bresing yang diambil adalah diagonal tunggal, yang dipasang diujung kanan dan kiri bentang, hal ini disebabkan karena gaya gempa akan memperbesar deformasi diujung bentang. Bresing dapat meningkatkan kekakuan dan kekuatan struktur membantu meningkatkan struktur dalam menerima beban lateral dan menahan simpangan lateral (menstabilkan).

Saat ini SNI Gempa yang terbaru adalah 1726-2019, faktor modifikasi respons ( $R$ ) dan faktor kuat lebih ( $\Omega_0$ ) dan faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) untuk bangunan komposit (beton bertulang dengan bresing baja) belum terdapat. Oleh karena itu, peneliti melakukan eksperimen mengenai faktor modifikasi respons ( $R$ ) dan faktor kuat lebih ( $\Omega_0$ ) dan faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) dengan studi kasus portal bidang dan bresing tunggal diagonal menggunakan analisis *pushover*.

### Analisis *pushover*

Analisis *pushover* adalah prosedur statis yang menggunakan teknik nonlinier yang disederhanakan untuk memperkirakan deformasi struktural seismik. Sebagai komponen individu dari struktur yang luluh atau gagal, gaya dinamis pada bangunan dialihkan ke komponen lain (Khan, 2013).

Prinsip dasar analisis *pushover* adalah menjadikan lantai model struktur bangunan tidak elastis (setelah dibebani dengan beban gravitasi) pada pola gaya lateral yang meningkat secara bertahap dapat dilihat seperti ilustrasi pada Gambar 1 (Najam, 2018).



Gambar 1. Konsep dasar analisis *pushover* (Najam, 2018).

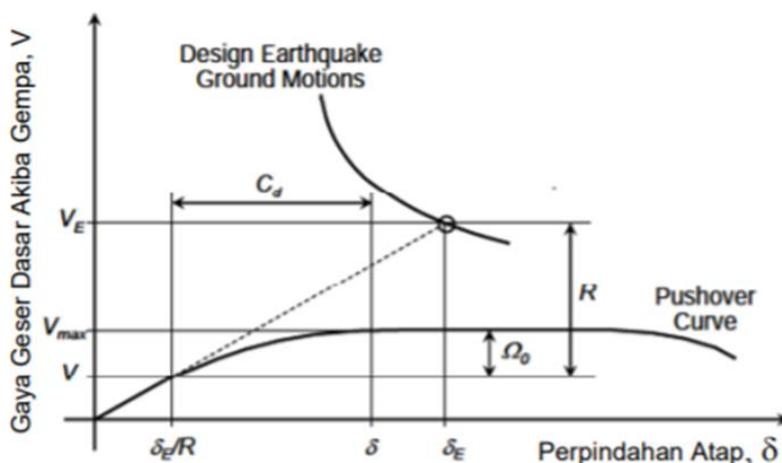
Analisis *pushover* mensimulasikan fenomena ini dengan menerapkan beban sampai titik lemah dalam struktur ditemukan dan kemudian merevisi model untuk memasukkan perubahan struktur yang disebabkan oleh link lemah. Iterasi kedua menunjukkan bagaimana beban didistribusikan kembali. Struktur itu "didorong" lagi sampai suatu titik lemah kedua ditemukan. Selanjutnya, sifat kekuatan dan kekakuan dari setiap komponen struktur diperbarui setelah setiap penambahan beban untuk memperhitungkan pengurangan resistensi komponen leleh. Proses ini dilanjutkan sampai struktur menjadi tidak stabil atau sampai tercapai target perpindahan yang telah ditentukan. Analisis *pushover* biasanya digunakan untuk mengevaluasi kapasitas seismik dari struktur yang ada dan muncul dalam beberapa pedoman terbaru untuk desain seismik retrofit

Sebenarnya, tujuan utama dari analisis *pushover* adalah untuk mendapatkan perkiraan kekuatan lateral global, daktilitas dari perpindahan global dan mekanisme kegagalan struktur di bawah gaya lateral yang disebabkan oleh

gerakan tanah gempa. Analisis statik *pushover* akan menghasilkan kurva kapasitas yang menunjukkan hubungan antara deformasi atap akibat beban lateral dengan gaya geser dasar sampai pada target yang diinginkan atau kondisi ultimit.

### Faktor modifikasi respon (R)

Faktor modifikasi respon (R) merupakan parameter kunci dalam desain konstruksi seismik. Analisis statistik ekuivalen, yang sering digunakan untuk memperkirakan respons seismik struktur, dapat diimplementasikan dengan menentukan nilai R. Secara khusus, nilai R menunjukkan kemampuan struktur untuk mendisipasi energi melalui perilaku inelastis, seperti yang ditunjukkan dalam peraturan bangunan terkini (Abdi et al., 2019).



Gambar 2. Kurva gaya geser dasar terhadap perpindahan atap untuk faktor daktilitas (Prabowo & Lase, 2016).

Gambar 2 dapat mewakili perilaku dari struktur saat kondisi elastik ke inelastik saat struktur dan runtuh yang diambil dari kurva gaya geser dasar terhadap perpindahan atap FEMA P695 saat meneliti nilai R. Kurva gaya geser dasar vs perpindahan atap masih berupa diagonal garis lurus dan belum menjadi garis parabolik, sehingga sulit dilakukan perhitungan faktor daktilitas struktur jika struktur belum menunjukkan kondisi inelastik. Besarnya nilai faktor modifikasi respon (R) dapat dihitung dari Persamaan 1.

$$R = \frac{V_E}{V} \quad (1)$$

Dengan R = faktor modifikasi respon,  $V_E$  = mewakili tingkat gaya yang dihasilkan oleh sistem penahan gaya seismik ketika sistem tetap sepenuhnya elastis linier terhadap gerakan tanah seismik desain yang terjadi saat nilai  $R = 1$ ,  $V$  = merupakan beban seismik rencana yang berhubungan dengan desain struktur.

### Faktor kuat lebih ( $\Omega_0$ )

Nilai Faktor Kuat Lebih menurut FEMA P695, berdasarkan kurva  $V-\delta$  seperti pada persamaan **Error! Reference source not found.**, nilai  $\Omega_0$  dapat dicari melalui Persamaan 2.

$$\Omega_0 = \frac{V_{maks}}{V} \quad (2)$$

Dimana  $V$  = Gaya geser dasar seismik yang diperlukan untuk desain.

Semakin besar nilai  $\Omega_0$ , semakin tinggi kapasitas dan kemampuan struktur maka semakin besar juga gaya gempa yang dibutuhkan untuk keseluruhan elemen struktur mengalami pelelehan. Nilai  $\Omega_0$  digunakan untuk memperbesar gaya-gaya dari struktur atas ke struktur bawah untuk perancangan fondasi atau konstruksi basement. Dimana salah satu tujuannya adalah mencegah struktur bawah tidak runtuh lebih cepat daripada struktur atas.

### Faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ )

Nilai Faktor Pembesaran Defleksi menurut FEMA P695, berdasarkan kurva  $V-\delta$  seperti pada Gambar 2, nilai  $C_d$  dapat dicari melalui Persamaan 3.

$$C_d = \frac{\delta}{\delta_E/R} \quad (3)$$

Dimana  $\delta$  = nilai perpindahan atap ketika struktur mulai mencapai kondisi leleh,  $\delta_E/R$  = besarnya perpindahan atap ketika struktur dikenakan beban gempa rencana sebesar  $V$ .

Pada FEMA P695 (2009) untuk nilai  $C_d$  dari kurva yang berupa fungsi Sa-Sd memiliki nilai  $C_d$  yang mungkin sama besar dengan nilai  $R$ . Berdasarkan teori *equal displacement*, hal ini mungkin terjadi pada struktur dengan redaman sebesar 5% yang dipakai untuk mendapatkan respon percepatan spektral dan perpindahan spektral. Seperti dijelaskan dalam bab 18 ASCE 7-10, dikarenakan faktor pengali nilai  $R$  maka nilai  $C_d$  untuk struktur dengan redaman lebih besar dari 5% akan kurang dari nilai  $R$ .

### Tingkat kinerja ATC 40 dan FEMA 356

Besarnya simpangan horizontal harus diperhatikan sesuai dengan ketentuan yang berlaku yaitu batas kinerja layan dan batas kinerja ultimit sesuai Tabel 1 menurut ATC 40, namun untuk Tabel 2 berdasarkan FEMA 356. Menurut ATC-40, *drift* struktur dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.

$$\text{Simpangan Maksimum} = \frac{D_t}{H} \quad (4)$$

Dimana  $D_t$  = perpindahan atap dan  $H$  = total tinggi bangunan.

Tabel 1. Batas Deformasi untuk Setiap Tingkat Kinerja

<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>
0,01	0,01-0,02	0,02

(Sumber: California Seismic Safety Commission, 1996)

Tingkat kinerja struktur berdasarkan simpangan menurut FEMA 356 dapat dilihat melalui Tabel 2.

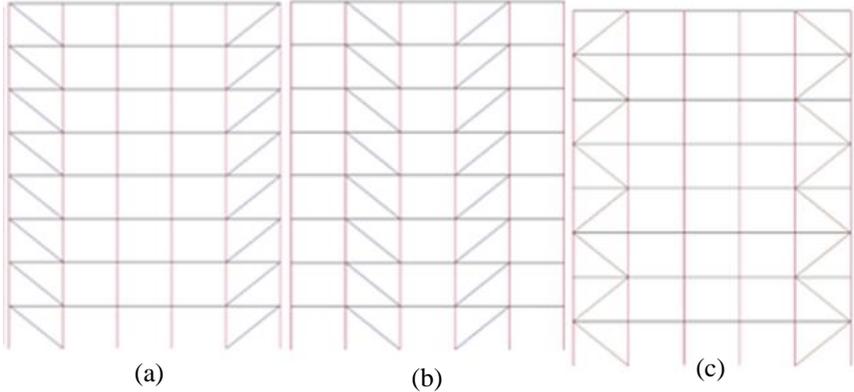
Tabel 2. Tingka Kinerja Struktur Berdasarkan Simpangan

Elemen	Tingkatan Kerja Struktur		
	<i>Immediate Occupancy (S-1)</i>	<i>Life Safety (S-3)</i>	<i>Collapse Prevention (S-5)</i>
Rangka Beton	1% untuk simpangan sementara; Simpangan permanen diabaikan	2% untuk simpangan sementara; 1% untuk simpangan permanen	4% untuk simpangan sementara atau permanen
Dinding Beton	0,5% untuk simpangan sementara; Simpangan permanen diabaikan	1% untuk simpanagn sementara; 0,5% untuk simpangan permanen	1% untuk simpangan sementara; Simpangan permanen diabaikan

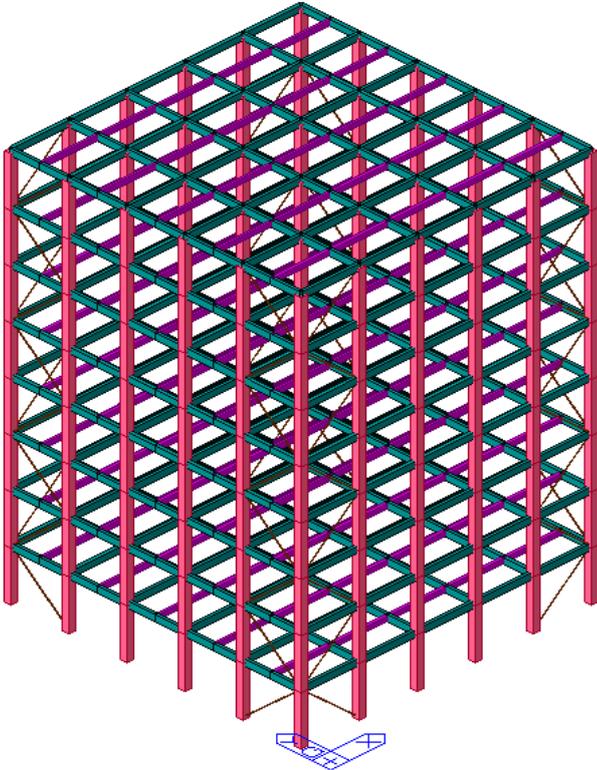
(Sumber: Federal Emergency Management Agency & American Society of Civil Engineers, 2000)

## 2. METODE PENELITIAN

Struktur portal terdiri 8 lantai dimana bentang arah x dan arah y terdapat 5 bentang, dengan masing-masing bentang berjarak 5 meter. Tinggi setiap lantainya adalah 4 meter. Struktur menggunakan bresing baja berbentuk diagonal tunggal untuk perkuatan yang difungsikan sebagai kantor dan berada di wilayah Jakarta, dan menggunakan tanah sedang (SD). Dalam penelitian ini tidak dibahas mengenai sambungan serta ukuran bresing baik kanal C dan siku L diambil mulai dari ukuran terkecil berdasarkan brosur yang beredar di pasar Indonesia. Bangunan di desain dengan pembebanan mati dan beban hidup sesuai dengan fungsi bangunan dari SNI 03-1727-1989 sementara untuk perencanaan gempa diambil dari SNI 1726-2002 untuk wilayah 3. Selanjutnya untuk beban disesuaikan kembali dengan SNI 1727-2020 dan perencanaan gempa diambil dari SNI 1726-2019. Untuk penelitian ini, digunakan bantuan peranti lunak yaitu MIDAS GEN, dimana terdapat 82 pengujian. Pemodelan sendiri, dibagi dua berdasarkan pola pembebanan nya yaitu merata dan segitiga, masing – masing terdiri satu pengujian untuk bangunan eksisting, dan empat puluh pengujian untuk bangunan *retrofit*. Model bresing yang digunakan untuk pengujian ada 3 variasi yaitu V dan *diamond* bresing, dengan beragam letak yaitu kolom pertama kolom kelima serta kolom kedua kolom ke 4 yang dapat dilihat pada Gambar 3. Detail 3D pemodelan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Model dan letak bresing. (a) model V diletakkan di kolom pertama dan kelima, (b) model V diletakkan di kolom pertama dan kelima, (c) model *diamond* bresing di kolom pertama dan kelima.



Gambar 4. Pemodelan gedung dalam bentuk 3D.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Ukuran dan jumlah bresing yang digunakan

Berdasarkan perhitungan SNI 1726-2019 gaya gempa yang di dapatkan adalah 1885,3 kN, sementara untuk SNI 1726-2002 diperoleh gaya gempa sebesar 1242,8347 kN, maka selisih yang dihasilkan adalah 642,5 kN yang setara dengan 642473,9 N. Bresing baja yang akan memperkuat bangunan dan memikul selisih gaya ini. Baja bresing yang akan digunakan adalah mutu BJ37, dengan tegangan leleh ( $f_y$ ) sebesar 240 MPa, dan tegangan *ultimate* ( $f_u$ ) adalah 370 MPa.

Bresing yang akan diuji melalui analisis *pushover* adalah profil kanal C dan siku L. Untuk Kanal C memiliki ukuran dimensi terkecil adalah 75 x 40 x 5 x 7 mm dan luas yaitu 818,8 mm<sup>2</sup>. Untuk membandingkan dengan luas yang kurang lebih sama pada siku L, maka diambil ukuran 70 x 70 x 6 mm dan luas 812,7 mm<sup>2</sup>.

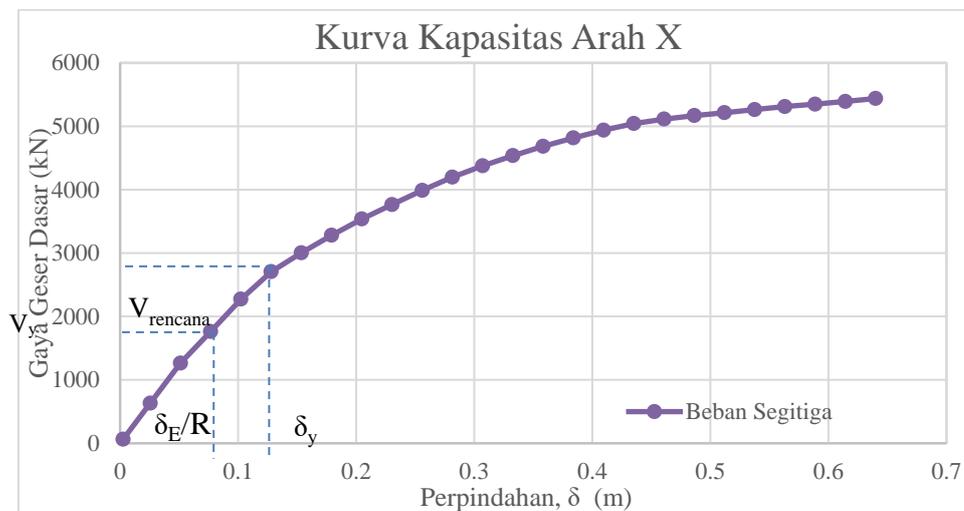
Sementara untuk kanal C, diuji pula ukuran 100 x 50 x 5 x 7 mm dengan luas 1192 mm<sup>2</sup>, ukuran 125 x 65 x 6 x 8 dengan luas 1711 mm<sup>2</sup> dan 150 x 75x 6,5 x 10 dengan luas 2371 mm<sup>2</sup>.

Untuk ukuran siku L yang akan diuji adalah 50x50x5 dengan luas 480,2 mm<sup>2</sup>, ukuran 60x60x5 dengan luas 580,2 mm<sup>2</sup> dan satu ukuran yang lebih besar dari 70 x 70 x 6 adalah ukuran 80 x 80 x 6 dengan luas sebesar 923 mm<sup>2</sup>

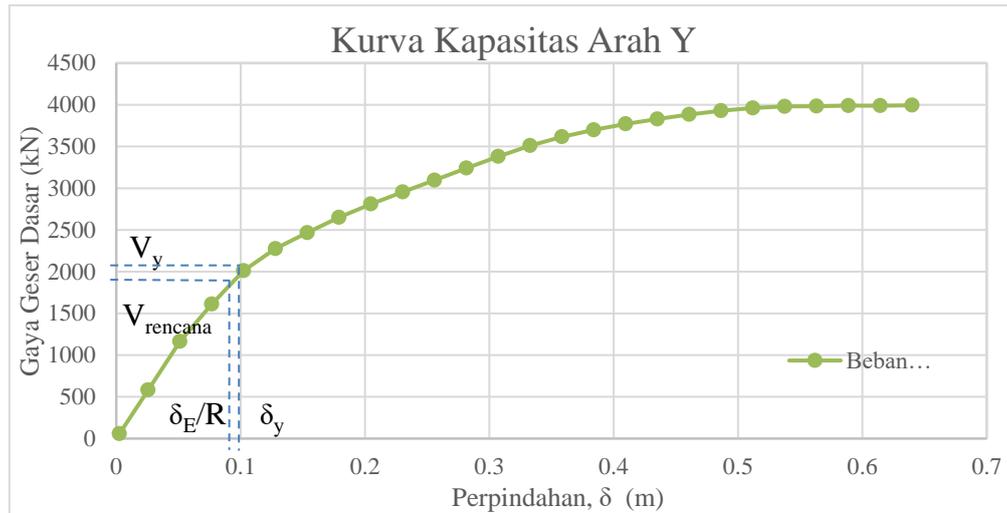
Penelitian menggunakan bresing kanal C dan siku L didasarkan karena mempunyai satu sumbu simetris dan juga berat sendirinya yang ringan sehingga mudah untuk di sambung/di pasang dan tidak terlalu mempengaruhi berat struktur bangunan eksisting.

#### Kurva hasil analisis *pushover* (kurva kapasitas)

Berdasarkan kurva kapasitas, terdapat pertemuan antara garis lengkung dan garis linier, yang disebut juga titik leleh atau *yield*. Sehingga dapat ditentukan nilai  $V_y$ ,  $\delta_y$ ,  $V_{rencana}$ , dan  $\delta_E/R$  yang dapat digunakan untuk menghitung nilai faktor daktilitas ( $R$ ,  $\Omega_0$  dan  $C_d$ ). Kurva kapasitas untuk arah X dapat dilihat pada Gambar 5, sementara untuk arah Y dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Kurva kapasitas arah X beban merata untuk bangunan retrovit.



Gambar 6. Kurva kapasitas arah Y beban merata untuk bangunan retrovit.

Berdasarkan bentuk bresing pada penelitian ini dibagi menjadi dua yaitu kanal C dan siku L. Untuk bentuk bresing berupa kanal C, terdapat kolom yang mengalami pelelehan, sedangkan bentuk bresing siku L tidak mengalami pelelehan pada kolom. Kolom merupakan suatu elemen struktur yang berperan penting dalam tekan, dan diharapkan kolom tidak mengalami pelelehan untuk menghindari keruntuhan bangunan akibat ketidakstabilan. Hal ini menjadi alasan untuk dipilihnya bresing siku L sebagai bentuk bresing yang akan digunakan.

Ukuran bresing akan berpengaruh kepada luas penampang bresing. Ukuran pada siku L yang tersedia dipasaran jauh lebih kecil daripada kanal C, sehingga apabila luas yang digunakan terlalu besar menyebabkan kelelahan pada kolom. Kanal C yang luas penampangnya lebih besar menyebabkan kolom terjadi pelelehan, sementara siku L, tidak terjadi pelelehan.

Terdapat lima variasi antara bentuk dan letak bresing, pada bentuk *diamond* bresing yang diletakan pada kolom 1 dan 5, pada arah Y menunjukkan bahwa balok leleh pada tahap ke 5, hal ini yang menjadi keunggulan tersendiri bagi *diamond* bresing.

### Pemilihan bresing optimum

Berdasarkan hasil pengujian dilakukan yang ditampilkan pada Tabel 3 dan Tabel 5. Nilai Faktor Daktilitas Arah X dan Y dengan Pembebanan Segitiga

No.	Model, Letak dan Bentuk Bresing	Ukuran Bresing Baja	RX											
			V <sub>y</sub> (kN)	V <sub>E</sub> (kN)	V <sub>rencana</sub> (kN)	V <sub>maks</sub> (kN)	δ <sub>y1</sub> (m)	δ <sub>E/R</sub> (m)	R <sub>y1</sub>	Ω <sub>0</sub>	C <sub>d</sub>	V <sub>y</sub> (kN)	V <sub>E</sub> (kN)	V <sub>rencana</sub> (kN)
25	1 & 5	75x40x5	2496,16	15090,68	1886,34	5584,96	0,102	0,077	6,05	2,96	1,32	1868,31	15090,68	1886,34
26		100x50x5	2710,77	15093,58	1886,70	5753,28	0,102	0,071	5,57	3,05	1,44	2038,09	15093,58	1886,70
27		125x65x6	3000,86	15098,38	1887,30	6013,74	0,102	0,064	5,03	3,19	1,59	2316,64	15098,38	1887,30
28		150x75x6,5	3329,18	15104,55	1888,07	6321,96	0,102	0,058	4,54	3,35	1,76	2866,58	15104,55	1888,07
29	2 & 4	75x40x5	2512,71	15090,68	1886,34	5586,62	0,102	0,077	6,01	2,96	1,33	2234,78	15090,68	1886,34
30		100x50x5	2685,82	15093,58	1886,70	5753,38	0,102	0,072	5,62	3,05	1,42	2047,76	15093,58	1886,70
31		125x65x6	2491,42	15098,38	1887,30	6021,94	0,077	0,058	6,06	3,19	1,32	2338,89	15098,38	1887,30
32		150x75x6,5	2883,08	15104,55	1888,07	6320,04	0,077	0,050	5,24	3,35	1,53	2727,93	15104,55	1888,07

Tabel 6, dipilih bresing model *diamond* letak pada kolom pertama dan kelima dengan profil baja L berukuran 50.50.5 hal ini dikarenakan bresing leleh ditahapan ketiga, balok arah x leleh ditahap keempat, balok arah y leleh diahap kelima, dan bresing gagal dilangkah ke 18 serta tidak ada yang komponen struktur (balok dan kolom) yang gagal.

### **Tingkat kinerja berdasarkan ATC 40 dan FEMA 356**

Pada midas terdapat terdapat pilihan untuk menentukan spektrum kapasitas, yaitu ATC 40 dan FEMA 440, diambil nilai *performance point displacement*. Selanjutnya *performance point displacement* akan dibagi dengan tinggi bangunan untuk mendapatkan simpangan total bangunan sesuai dengan Persamaan 4. Untuk FEMA 440 dan FEMA 356, dalam menentukan target perpindahan, kurva idealisasi dari analisis *pushover* metode FEMA 440 sama dengan FEMA 356. Ada perbedaan dari FEMA 440 dan FEMA 356, yaitu dalam menentukan nilai faktor modifikasi C1 dan C2 untuk *non-degrading system*. Maka dalam penelitian ini nilai faktor modifikasi C1 dan C2 bernilai sama antara FEMA 440 dengan FEMA 356. Oleh karena itu, target perpindahan antara FEMA 356 dengan FEMA 440 sama.

Bresing optimum memiliki simpangan total maksimum berdasarkan ATC 40 arah X dan arah Y, maka dipilih yang terbesar, yaitu dari arah Y sebesar 0,012, sesuai dengan Tabel 3, artinya struktur bangunan masuk kedalam kategori *Damage Control* dimana simpangan berada di 0,01 dan 0,02, hal ini berarti gedung yang telah di retrofit memiliki tingkat kinerja lebih baik dari *Life Safety* telah tercapai.

Bresing optimum memiliki simpangan total maksimum berdasarkan FEMA 356 arah X dan arah Y, maka dipilih yang terbesar, yaitu dari arah Y sebesar 0,0075. Sesuai dengan Tabel 4, artinya struktur bangunan masuk kedalam kategori *Immediate Occupancy* dimana simpangan berada diangka lebih kecil dari 0,01, hal ini berarti gedung yang telah di retrofit memiliki tingkat kinerja lebih baik dari *Life Safety* telah tercapai.

Tabel 3. Nilai Faktor Daktilitas Arah X dan Y dengan Pembebanan Merata

No.	Model, Letak dan Bentuk Bresing	Ukuran Bresing Baja	RX									RY								
			Vy (kN)	VE (kN)	Vrencana (kN)	Vmaks (kN)	δy1 (m)	δE/R (m)	Ry1	Ω0	Cd	Vy (kN)	VE (kN)	Vrencana (kN)	Vmaks (kN)	δy1 (m)	δE/R (m)	Ry1	Ω0	Cd
1		75x40x5	3685,73	15090,68	1886,34	6896,38	0,102	0,052	4,09	3,66	1,95	2743,17	15090,68	1886,34	6285,77	0,077	0,053	5,50	3,33	1,45
2	\\	100x50x5	3368,34	15093,58	1886,70	7046,82	0,102	0,057	4,48	3,74	1,79	2931,03	15093,58	1886,70	6489,19	0,077	0,049	5,15	3,44	1,55
3	1 & 5	125x65x6	4224,73	15098,38	1887,30	7289,49	0,102	0,046	3,57	3,86	2,24	2587,19	15098,38	1887,30	6836,73	0,077	0,056	5,84	3,62	1,37
4	C	150x75x6,5	4070,37	15104,55	1888,07	7567,89	0,068	0,032	3,71	4,01	2,16	3794,11	15104,55	1888,07	7271,95	0,077	0,038	3,98	3,85	2,01
5		75x40x5	3703,76	15090,68	1886,34	6900,48	0,102	0,052	4,07	3,66	1,96	2743,19	15090,68	1886,34	6285,81	0,077	0,053	5,50	3,33	1,45
6	\\	100x50x5	3913,34	15093,58	1886,70	7074,92	0,102	0,049	3,86	3,75	2,07	2952,31	15093,58	1886,70	6490,69	0,077	0,049	5,11	3,44	1,56
7	2 & 4	125x65x6	4246,58	15098,38	1887,30	7339,46	0,102	0,046	3,56	3,89	2,25	3278,72	15098,38	1887,30	6837,95	0,051	0,029	4,60	3,62	1,74
8	C	150x75x6,5	4101,37	15104,55	1888,07	7631,87	0,077	0,035	3,68	4,04	2,17	4101,37	15104,55	1888,07	7631,87	0,077	0,035	3,68	4,04	2,17
9	∨	75x40x5	4219,28	15090,68	1886,34	7305,64	0,128	0,057	3,58	3,87	2,24	2713,87	15090,68	1886,34	6298,73	0,077	0,053	5,56	3,34	1,44
10	∧	100x50x5	4453,71	15093,58	1886,70	7523,35	0,128	0,054	3,39	3,99	2,36	2940,10	15093,58	1886,70	6529,79	0,077	0,049	5,13	3,46	1,56
11	1&5	125x65x6	4335,84	15098,38	1887,30	7825,43	0,102	0,045	3,48	4,15	2,30	3795,38	15098,38	1887,30	6892,20	0,102	0,051	3,98	3,65	2,01
12	C Diamond Bresing	150x75x6,5	4738,87	15104,55	1888,07	8115,37	0,102	0,041	3,19	4,30	2,51	3801,08	15104,55	1888,07	7353,48	0,102	0,051	3,97	3,89	2,01
13		50x50x5	3410,40	15086,47	1885,81	6704,77	0,102	0,057	4,42	3,56	1,81	2443,13	15086,47	1885,81	6015,23	0,077	0,059	6,18	3,19	1,30
14	\\	60x60x5	3482,92	15087,75	1885,97	6753,42	0,102	0,055	4,33	3,58	1,85	2518,04	15087,75	1885,97	6094,56	0,077	0,058	5,99	3,23	1,34
15	1 & 5	70x70x6	3643,88	15090,04	1886,26	6867,60	0,102	0,053	4,14	3,64	1,93	2682,10	15090,04	1886,26	6240,89	0,077	0,054	5,63	3,31	1,42
16	L	80x80x6	3725,86	15091,16	1886,39	6944,98	0,102	0,052	4,05	3,68	1,98	2764,55	15091,16	1886,39	6324,58	0,077	0,052	5,46	3,35	1,47
17		50x50x5	3422,56	15086,47	1885,81	6725,08	0,102	0,056	4,41	3,57	1,81	2423,12	15086,47	1885,81	6015,38	0,077	0,060	6,23	3,19	1,28
18	\\	60x60x5	3496,97	15087,75	1885,97	6778,09	0,102	0,055	4,31	3,59	1,85	2975,22	15087,75	1885,97	6104,80	0,077	0,049	5,07	3,24	1,58
19	2 & 4	70x70x6	3661,22	15090,04	1886,26	6867,33	0,102	0,053	4,12	3,64	1,94	2700,42	15090,04	1886,26	6241,74	0,077	0,054	5,59	3,31	1,43
20	L	80x80x6	3744,50	15091,16	1886,39	6955,58	0,102	0,052	4,03	3,69	1,99	2784,01	15091,16	1886,39	6359,31	0,077	0,052	5,42	3,37	1,48

Tabel 4 (lanjutan). Nilai Faktor Daktilitas Arah X dan Y dengan Pembebanan Merata

No.	Model, Letak dan Bentuk Bresing	Ukuran Bresing Baja	RX									RY								
			V <sub>y</sub> (kN)	V <sub>E</sub> (kN)	Vrencana (kN)	Vmaks (kN)	δy1 (m)	δE/R (m)	R <sub>y1</sub>	Ω <sub>0</sub>	C <sub>d</sub>	V <sub>y</sub> (kN)	V <sub>E</sub> (kN)	Vrencana (kN)	Vmaks (kN)	δy1 (m)	δE/R (m)	R <sub>y1</sub>	Ω <sub>0</sub>	C <sub>d</sub>
21	∨	50x50x5	3416,25	15086,47	1885,81	7095,43	0,102	0,057	4,42	3,76	1,81	2447,23	15086,47	1885,81	6022,79	0,077	0,059	6,16	3,19	1,30
22	∧	60x60x5	3489,93	15087,75	1885,97	7150,24	0,102	0,055	4,32	3,79	1,85	2522,92	15087,75	1885,97	6104,80	0,077	0,057	5,98	3,24	1,34
23	1 & 5	70x70x6	3653,48	15090,04	1886,26	7284,39	0,102	0,053	4,13	3,86	1,94	2688,67	15090,04	1886,26	6273,73	0,077	0,054	5,61	3,33	1,43
24	L Diamond Bresing	80x80x6	3736,77	15091,16	1886,39	7357,28	0,102	0,052	4,04	3,90	1,98	2771,95	15091,16	1886,39	6359,31	0,077	0,052	5,44	3,37	1,47

Tabel 5. Nilai Faktor Daktilitas Arah X dan Y dengan Pembebanan Segitiga

No.	Model, Letak dan Bentuk Bresing	Ukuran Bresing Baja	RX									RY								
			V <sub>y</sub> (kN)	V <sub>E</sub> (kN)	Vrencana (kN)	Vmaks (kN)	δy1 (m)	δE/R (m)	R <sub>y1</sub>	Ω <sub>0</sub>	C <sub>d</sub>	V <sub>y</sub> (kN)	V <sub>E</sub> (kN)	Vrencana (kN)	Vmaks (kN)	δy1 (m)	δE/R (m)	R <sub>y1</sub>	Ω <sub>0</sub>	C <sub>d</sub>
25	∖ /	75x40x5	2496,16	15090,68	1886,34	5584,96	0,102	0,077	6,05	2,96	1,32	1868,31	15090,68	1886,34	4239,43	0,077	0,078	8,08	2,25	0,99
26	∖ /	100x50x5	2710,77	15093,58	1886,70	5753,28	0,102	0,071	5,57	3,05	1,44	2038,09	15093,58	1886,70	4453,93	0,077	0,071	7,41	2,36	1,08
27	1 & 5	125x65x6	3000,86	15098,38	1887,30	6013,74	0,102	0,064	5,03	3,19	1,59	2316,64	15098,38	1887,30	4796,26	0,077	0,063	6,52	2,54	1,23
28	C	150x75x6,5	3329,18	15104,55	1888,07	6321,96	0,102	0,058	4,54	3,35	1,76	2866,58	15104,55	1888,07	5219,04	0,077	0,051	5,27	2,76	1,52
29	∖ /	75x40x5	2512,71	15090,68	1886,34	5586,62	0,102	0,077	6,01	2,96	1,33	2234,78	15090,68	1886,34	4241,80	0,102	0,086	6,75	2,25	1,18
30	∖ /	100x50x5	2685,82	15093,58	1886,70	5753,38	0,102	0,072	5,62	3,05	1,42	2047,76	15093,58	1886,70	4447,29	0,077	0,071	7,37	2,36	1,09
31	1 & 5	125x65x6	2491,42	15098,38	1887,30	6021,94	0,077	0,058	6,06	3,19	1,32	2338,89	15098,38	1887,30	4796,32	0,077	0,062	6,46	2,54	1,24
32	C	150x75x6,5	2883,08	15104,55	1888,07	6320,04	0,077	0,050	5,24	3,35	1,53	2727,93	15104,55	1888,07	5218,92	0,077	0,053	5,54	2,76	1,44

Tabel 6 (lanjutan). Nilai Faktor Daktilitas Arah X dan Y dengan Pembebanan Segitiga

No.	Model, Letak dan Bentuk Bresing	Ukuran Bresing Baja	RX									RY								
			V <sub>y</sub> (kN)	V <sub>E</sub> (kN)	V <sub>rencana</sub> (kN)	V <sub>maks</sub> (kN)	δ <sub>y1</sub> (m)	δE/R (m)	R <sub>y1</sub>	Ω <sub>0</sub>	C <sub>d</sub>	V <sub>y</sub> (kN)	V <sub>E</sub> (kN)	V <sub>rencana</sub> (kN)	V <sub>maks</sub> (kN)	δ <sub>y1</sub> (m)	δE/R (m)	R <sub>y1</sub>	Ω <sub>0</sub>	C <sub>d</sub>
33	∨	75x40x5x7	2489,50	15090,68	1886,34	5643,87	0,102	0,078	6,06	2,99	1,32	1845,97	15090,68	1886,34	4242,65	0,077	0,078	8,17	2,25	0,98
34	∧	100x50x5	2929,04	15093,58	1886,70	5833,63	0,102	0,066	5,15	3,09	1,55	2043,71	15093,58	1886,70	4469,93	0,077	0,071	7,39	2,37	1,08
35	1 & 5	125x65x6	3010,19	15098,38	1887,30	6119,66	0,102	0,064	5,02	3,24	1,59	2322,53	15098,38	1887,30	4819,49	0,077	0,062	6,50	2,55	1,23
36	C Diamond Bresing	150x75x6,5	2866,03	15104,55	1888,07	6494,06	0,077	0,051	5,27	3,44	1,52	2866,03	15104,55	1888,07	5249,93	0,077	0,051	5,27	2,78	1,52
37	∖ /	50x50x5	2683,74	15086,47	1885,81	5376,16	0,128	0,090	5,60	2,85	1,43	2011,93	15086,47	1885,81	3989,61	0,102	0,096	7,50	2,12	1,07
38	1 & 5	60x60x5	2742,99	15087,75	1885,97	5434,13	0,128	0,088	5,48	2,88	1,46	2069,70	15087,75	1885,97	4058,76	0,102	0,094	7,29	2,15	1,10
39	L	70x70x6	2895,36	15090,04	1886,26	5557,12	0,128	0,084	5,23	2,94	1,53	2198,18	15090,04	1886,26	4217,82	0,102	0,088	6,86	2,24	1,17
40	L	80x80x6	2964,34	15091,16	1886,39	5619,84	0,128	0,082	5,11	2,98	1,57	2263,12	15091,16	1886,39	4299,20	0,077	0,076	6,67	2,28	1,20
41	∖ /	50x50x5	2691,95	15086,47	1885,81	5377,81	0,128	0,090	5,61	2,85	1,43	2018,59	15086,47	1885,81	3989,88	0,102	0,096	7,47	2,12	1,07
42	2 & 4	60x60x5	2768,72	15087,75	1885,97	5435,21	0,128	0,088	5,49	2,88	1,46	2077,40	15087,75	1885,97	4056,99	0,102	0,093	7,26	2,15	1,10
44	L	70x70x6	2906,37	15090,04	1886,26	5563,10	0,128	0,084	5,22	2,23	1,53	2207,96	15090,04	1886,26	4218,24	0,102	0,088	6,83	2,24	1,17
45	L	80x80x6	2976,29	15091,16	1886,39	5629,88	0,128	0,081	5,08	2,98	1,57	2274,59	15091,16	1886,39	4299,69	0,102	0,085	6,63	2,28	1,21
46	∨	50x50x5	2694,28	15086,47	1885,81	5370,31	0,128	0,089	5,58	2,88	1,44	2007,56	15086,47	1885,81	3983,45	0,102	0,096	7,51	2,11	1,06
47	∧	60x60x5	2754,55	15087,75	1885,97	5425,65	0,128	0,087	5,45	2,91	1,47	2064,54	15087,75	1885,97	4049,21	0,102	0,093	7,31	2,15	1,09
48	1 & 5 L Diamond Bresing	70x70x6 80x80x6	2888,13 2956,16	15090,04 15091,16	1886,26 1886,39	5553,10 5618,21	0,128 0,128	0,083 0,081	5,19 5,07	2,98 3,02	1,54 1,58	2191,52 1902,09	15090,04 15091,16	1886,26 1886,39	4201,04 4280,69	0,102 0,102	0,088 0,085	6,89 7,93	2,23 2,27	1,16 1,01

#### 4. KESIMPULAN

##### Kesimpulan

Bresing dipilih model *diamond* bresing pada kolom pertama dan kelima dengan profil baja L berukuran 50.50.5.

Model yang disarankan memiliki nilai faktor daktilitas arah X lainnya yaitu R sebesar 5,58, nilai  $\Omega_0$  adalah 2,88 dan nilai  $C_d$  adalah 1,44.

Model yang disarankan memiliki nilai faktor daktilitas arah Y lainnya yaitu R sebesar 7,50, nilai  $\Omega_0$  adalah 2,12 dan nilai  $C_d$  adalah 1,07.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, luas bresing paling kecil tidak pernah terjadi kegagalan, namun semakin besar bresing, akan menyebabkan kegagalan pada kolom.

##### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PT Midasindo Teknik Utama yang telah memberikan fasilitas lisensi peranti lunak Midas Gen sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

##### DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, H., Hejazi, F., & Jaafar, M. S. (2019). Response modification factor - Review paper. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 357(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/357/1/012003>
- Applied Technology Council. (2009). *Quantification of Building Seismic Performance Factors* (FEMA P695)
- California Seismic Safety Commission. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1* (ATC 40)
- Federal Emergency Management Agency & American Society of Civil Engineers. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings* (FEMA 356). <https://doi.org/10.4000/books.editionsehess.939>
- Khan, M. A. (2013). Seismic Design for Buildings. In *Earthquake-Resistant Structures* (pp. 283-315). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/b978-1-85617-501-2.00010-9>
- Najam, F. A. (2018). Nonlinear Static Analysis Procedures for Seismic Performance Evaluation of Existing Buildings – Evolution and Issues. *Proceedings of the 1st GeoMEast International Congress and Exhibition, Egypt 2017 on Sustainable Civil Infrastructures, 1*, 180-198. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61914-9>
- Prabowo, A., & Lase, Y. (2016). Tinjauan Nilai Faktor Modifikasi Respon (R) dan Faktor Kuat Lebih ( $\Omega_0$ ) pada Struktur Gabungan Rangka Baja dan Rangka Beton Bertulang dengan Analisis Pushover. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 23(1), 75–88. <https://doi.org/10.5614/jts.2016.23.1.8>
- Tavio & Wijaya, U. (2018). *Desain Rekayasa Berbasis Kinerja* (2nd ed.). Andi

