

## Kajian Eksperimental Bresing Tahan Tekuk pada Bangunan Tahan Gempa di Indonesia

**Rhonita Dea Andarini**

Alumni Program Magister (S2) Rekayasa Struktur, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan  
Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesa No. 10 Bandung 40132, E-mail: rhonita.da@gmail.com

**Muslinang Moestopo**

Kelompok Keahlian Rekayasa Struktur, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan/  
Pusat Rekayasa Industri-Laboratorium Mekanika Struktur  
Institut Teknologi Bandung  
Jalan Ganesa No. 10 Bandung 40132, E-mail: mmoestopo@gmail.com

### Abstrak

*Sistem rangka bresing tahan tekuk merupakan pengembangan dari sistem rangka bresing konsentrik dengan bresing tahan tekuk sebagai elemen utama penyerap energi gempa yang direncanakan leleh pada seluruh inti bajanya. Kajian eksperimental dilakukan terhadap tiga spesimen bresing dengan variasi ukuran diameter pipa pengekan (pipa PVC) dan mortar. Pembebanan siklik secara kuasi-statik dengan kontrol perpindahan dilakukan terhadap ketiga spesimen bresing hingga mencapai keruntuhan. Kinerja yang paling baik dihasilkan oleh bresing berdiameter 216 mm dalam hal kekuatan, kurva histeresis dan kurva backbone. Beberapa kegagalan diamati pada spesimen bresing tahan tekuk dalam hal perilaku leleh pada daerah peralihan inti bresing yang tidak terkontrol dan keterbatasan kemampuan sistem penahan tekuk.*

**Kata-kata Kunci:** *Bresing tahan tekuk, Leleh, Eksperimental, kurva histeresis.*

### Abstract

*Buckling-restrained brace frame is developed from concentrically-braced frame. Buckling restrained brace is the major seismic energy dissipating element that expected to yield in its entire steel core. Experimental work was carried out on three brace specimens with PVC pipe and mortar diameter variations. Quasi-static loading with displacement control was applied to each brace until its failure. The 216-mm diameter brace shows the best performance on its strength, hysteretic curve and backbone curve. Several failures are observed from specimens on uncontrolled- steel-core-yielding behavior and limited buckling-restrained mechanism ability.*

**Keywords:** *Buckling-restrained brace, Yielding, Experimental, Hysteretic curve.*

## 1. Pendahuluan

Masalah tekuk menjadi perhatian dalam desain bangunan baja. Tekuk menyebabkan hilangnya kekuatan tekan sehingga pengecekan kapasitas tekan dari suatu elemen struktur menjadi satu hal yang diperhatikan. Masalah tekuk pada bresing dapat diselesaikan apabila bresing memiliki ketahanan terhadap gaya tekan yang diterima, khususnya pada struktur yang memikul beban gempa bolak-balik. Hal ini diakomodasi dengan kehadiran bresing tahan tekuk.

### 1.1 Konsep bresing tahan tekuk

Sistem rangka bresing tahan tekuk merupakan pengembangan dari sistem rangka bresing konsentrik. Inovasi ini muncul dengan ide untuk menyelesaikan masalah tekuk yang dialami oleh bresing yang mengalami gaya

tekan pada sistem rangka baja konsentrik. Masalah tekuk merupakan salah satu jenis kegagalan elemen struktur yang mempengaruhi besarnya energi disipasi. Apabila terjadi tekuk, elemen struktur tidak dapat bekerja kembali seperti yang diharapkan semula. Daktilitas material baja tidak dapat dimanfaatkan secara optimal.

Agar permasalahan tekuk dapat diantisipasi dengan baik, nilai kelangsingan yang dimiliki bresing harus sekecil mungkin sehingga nilai  $f_y$  tekan tercapai. Luas penampang bresing diperbesar untuk mencapai nilai kelangsingan yang kecil. Perbesaran luas penampang dilakukan dengan menambah selongsong di inti baja (berupa mortar atau beton).

Bresing tahan tekuk tersusun dari inti baja yang daktilitas yang direncanakan untuk leleh akibat gaya tarik dan

gaya tekan. Untuk mencegah tekuk akibat tekan, inti baja dibungkus oleh selongsong baja yang diisi dengan mortar atau beton. Di antara mortar dan inti beton, ditempatkan material tertentu atau celah udara untuk meminimalisasi atau menghilangkan transfer gaya aksial dari inti baja ke mortar dan selongsong baja. Efek Poisson juga menyebabkan ekspansi inti baja saat tekan terjadi sehingga celah udara dibutuhkan di antara mortar dan inti baja.

Pelelehan inti baja pada bresing tahan tekuk merupakan proses disipasi energi yang diharapkan dalam Sistem Rangka Bresing Tahan Tekuk. Pelelehan inti bresing berkaitan dengan peningkatan kekuatan bresing pasca leleh dan peningkatan nilai deformasi bresing saat mengalami gaya tekan. Bagian-bagian bresing tahan tekuk dipaparkan sebagai berikut (CRC Press, 2004):

1. Bagian leleh terkekang

Komponen ini tersusun dari inti baja yang direncanakan untuk leleh akibat gaya tarik dan gaya tekan. Baja mutu rendah dengan daktilitas tinggi lebih sering dipakai. Komponen ini menentukan kuat aksial bresing yang dihasilkan.

2. Bagian tidak leleh terkekang

Bagian yang dikelilingi casing dan mortar ini merupakan perpanjangan dari segmen terkekang leleh dengan perbesaran luasan penampang untuk memastikan respons elastik. Hal ini dapat dicapai dengan memperlebar segmen terkekang leleh di ujung-ujungnya. Transisi pelebaran segmen perlu diperhatikan untuk meminimalisasi konsentrasi tegangan.

3. Bagian tidak leleh tidak terkekang

Segmen ini didesain sebagai sambungan bresing. Sambungan dapat berupa sambungan baut dan las

dengan perilaku jepit atau sendi. Segmen ini juga didesain dengan mempertimbangkan kemudahan dalam proses konstruksi dan pencegahan terhadap tekuk lokal.

4. Casing dan material pengisi pencegah tekuk

Material pengisi casing secara efektif meminimalisasi transfer gaya geser antara baja terkekang dengan mortar. Bahan seperti karet, *polyethylene*, silikon telah dipakai di sejumlah penelitian. Komponen casing ini hanya mengalami tekuk dengan amplitudo yang sangat kecil sebagai akibat dari adanya mekanisme kekangan. Celah udara dibutuhkan agar ekspansi yang terjadi dapat diakomodasi dengan baik

5. Sistem penahan tekuk

Sistem ini terdiri dari bahan pengisi pencegah tekuk (beton atau *steel casing*). Dalam pemakaian beton, proses *mix design* dan *curing* harus dilakukan secara benar. Hal ini dilakukan untuk memastikan nilai kuat tekan beton rencana tercapai. Nilai kuat tekan penting karena beton berkontribusi besar pada kemampuan tahanan bresing terhadap tekuk.

1.2 Desain bresing tahan tekuk

Batang baja yang dipakai dalam bresing didesain untuk menahan gaya aksial dari bresing secara keseluruhan. Kuat aksial desain  $FP_{y_{sc}}$  (LRFD), baik tarik maupun tekan, berdasarkan batas leleh ditentukan sebagai berikut:

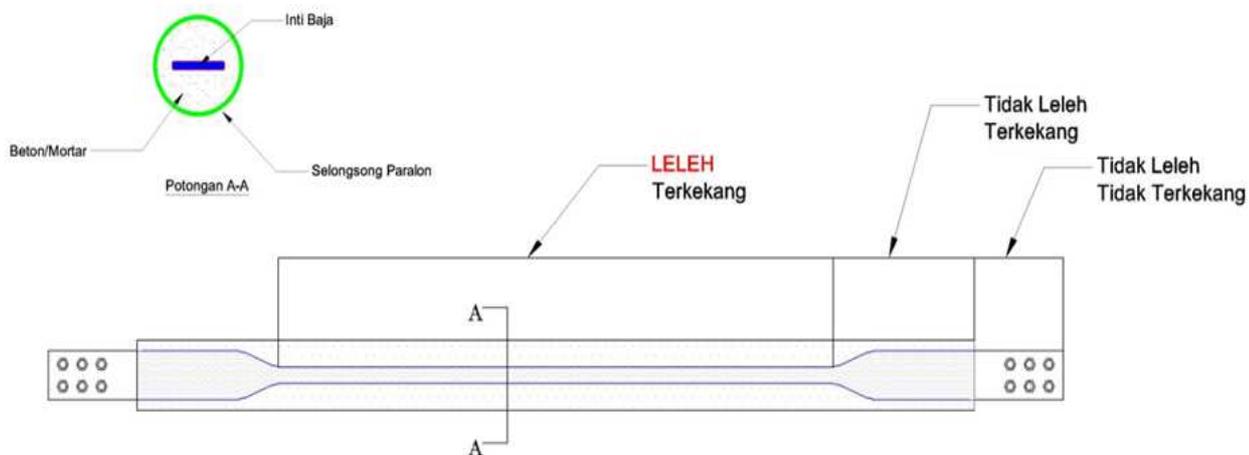
$$P_{y_{sc}} = F_{y_{sc}} A_{sc} \tag{1}$$

dimana:

$F_{y_{sc}}$  = tegangan leleh hasil pengujian, (MPa)

$A_{sc}$  = luas dari batang baja inti ( $mm^2$ )

F = 0.90 (LRFD)



Gambar 1. Komponen bresing tahan tekuk

Sistem penahan tekuk terdiri dari selubung dan material pengisi (beton, dalam penelitian ini). Sistem pertahanan tekuk akan membatasi tekuk lokal dan global inti baja untuk deformasi yang sesuai dengan 2.0 x simpangan antar lantai. Sistem pertahanan tekuk tidak boleh tertekuk dengan deformasi 2.0 x simpangan antar lantai.

Kuat tarik dari bresing ditentukan dengan formula  $\beta \omega R_y P_{ysec}$ , sedangkan kuat tekan bresing adalah  $\omega R_y P_{ysec}$

$$\beta = \frac{\beta \omega F_{sc} A}{\omega F_{sc} A} = \frac{P_{maks}}{T_{maks}} \quad (2)$$

$$\omega = \frac{\omega F_{sc} A}{F_{sc} A} = \frac{T_{maks}}{F_{sc} A} \quad (3)$$

dimana:

$P_{maks}$  = gaya tekan maksimum (N)

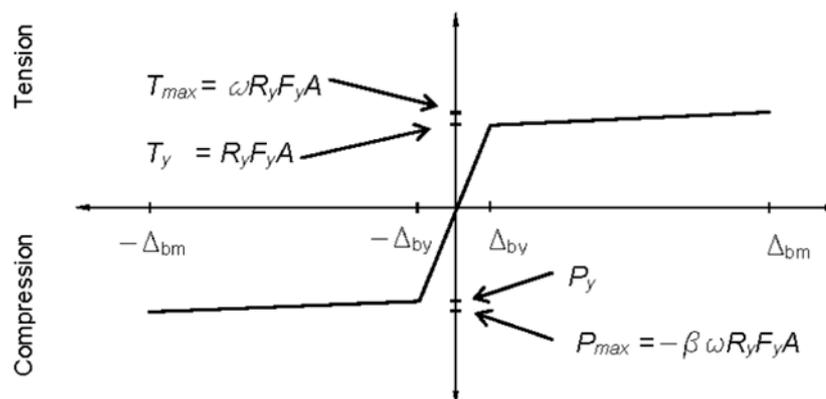
$T_{maks}$  = gaya tarik maksimum dengan deformasi sesuai dengan 200% dari simpangan antar lantai

$F_{ysc}$  = kekuatan leleh dari batang baja inti (MPa)

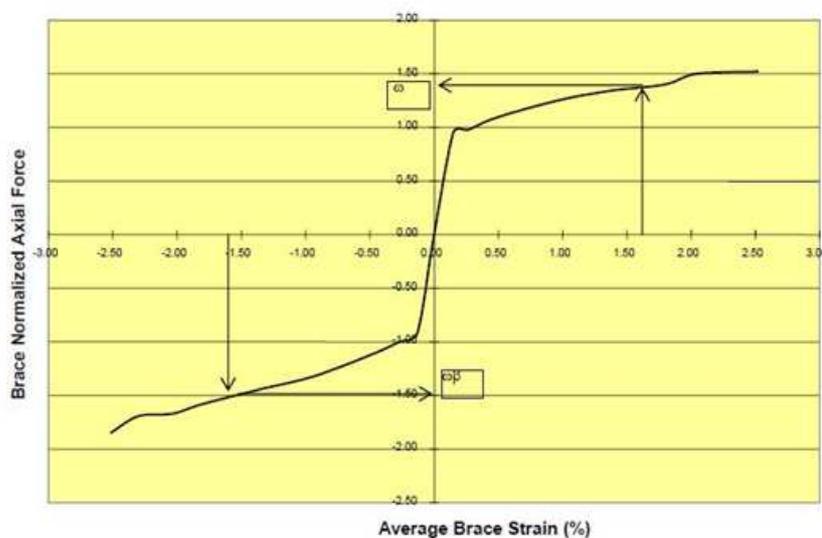
Dalam hal ini  $\beta$  adalah rasio antara gaya tekan maksimum terhadap gaya tarik maksimum dari hasil pengujian. Sedangkan  $\omega$  adalah rasio antara gaya tarik maksimum terhadap kuat leleh batang baja inti. Faktor  $R_y$  tidak dipakai apabila nilai  $P_{ysec}$  merupakan nilai tegangan leleh yang diperoleh dari pengujian.

Kurva *backbone* yang dihasilkan dari pengujian *bresing* tahan tekuk memuat diagram gaya bresing normalisasi dan regangan rata-rata bresing. Kurva *backbone* diperlukan untuk menentukan besaran kapasitas aksial yang dicapai oleh bresing tahan tekuk. Dengan mengetahui deformasi desain bresing, gaya tekan dan gaya tarik yang dicapai dapat diketahui melalui faktor  $\omega$  dan  $\beta$ . Kurva *backbone* didapat dari kurva histeresis hasil pengujian dengan menetapkan pasangan besaran regangan dan gaya maksimum atau pasangan besaran perpindahan dan gaya maksimum.

Dalam pengujian bresing tahan tekuk, hasil yang diperoleh harus memenuhi kriteria yang ditetapkan oleh ANSI/AISC 341-10 sebagai berikut.



Gambar 2. Diagram gaya-perpindahan batang (ANSI/AISC 341-10)



Gambar 3. Contoh kurva backbone (Lopez, 2004)

1. Hasil plot gaya vs perpindahan menunjukkan perilaku bresing yang stabil dan berulang dengan kenaikan kekakuan positif.
2. Tidak ada fraktur, instabilitas bresing atau kegagalan sambungan bresing.
3. Pada bresing, setiap siklus dengan deformasi lebih besar dari  $\Delta_{by}$ , gaya tarik dan gaya tekan maksimum tidak kurang dari kuat nominal inti baja.
4. Pada bresing, setiap siklus dengan deformasi lebih besar dari  $\Delta_{by}$ , rasio antara gaya tekan maksimum terhadap gaya tarik maksimum tidak lebih dari 1,3.

Makalah ini menyajikan hasil kajian eksperimental terhadap kinerja bresing tahan tekuk dengan variasi diameter pipa pengeang (pipa PVC dalam penelitian ini), mencakup kurva histeresis, kurva *backbone*, analisis kegagalan, dan kekuatan.

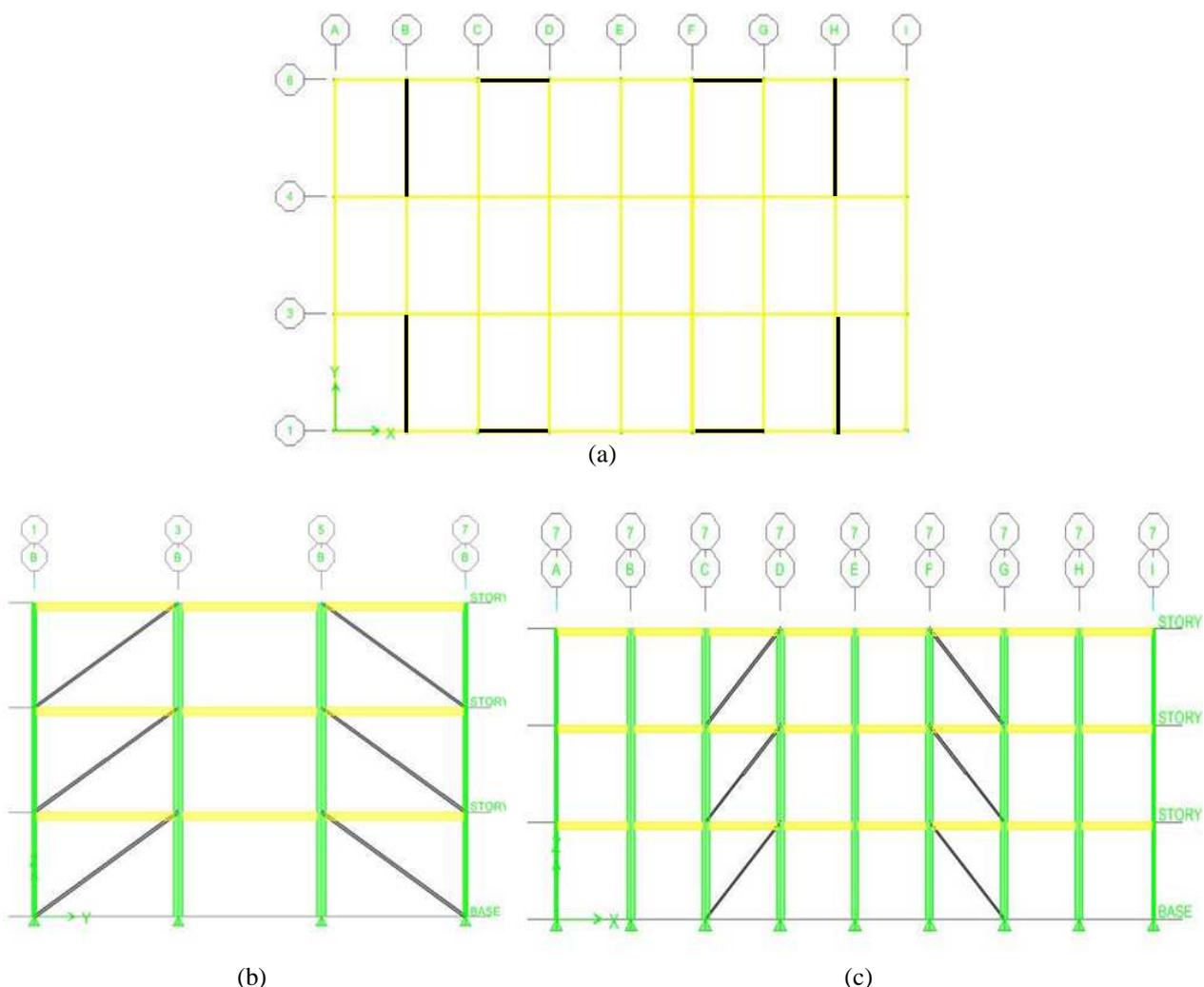
## 2. Kajian Eksperimental

### 2.1 Desain bresing tahan tekuk

Kinerja bresing tahan tekuk yang ditinjau dalam kajian ini adalah kinerja bresing yang direncanakan untuk memenuhi kebutuhan struktur bangunan ruko 3 lantai berukuran 32x18 meter yang berlokasi di kota Padang kondisi tanah lunak, seperti terlihat pada **Gambar 4**. Perencanaan dilakukan mengikuti ketentuan pembebanan akibat gempa (RSNI 03-1726-201X) dan ketentuan perencanaan bresing tahan tekuk (ANSI/AISC 341-10). Dengan bantuan perangkat lunak, diperoleh desain bresing tahan tekuk dengan luas penampang inti baja 300 mm<sup>2</sup>.

### 2.2 Benda uji

Kajian eksperimental dilakukan terhadap tiga buah spesimen bresing dengan tiga diameter pipa PVC yang



**Gambar 4. Model bangunan ruko: (a) Denah penempatan bresing. (b) Konfigurasi bresing tahan tekuk arah melintang. (c) Konfigurasi bresing tahan tekuk arah memanjang**

berbeda, yaitu 216 mm (Spesimen 1), 165 mm (Spesimen 2), dan 140 mm (Spesimen 3). Uji tarik terhadap pelat baja pembentuk inti bresing dilakukan mengikuti standar JIS Z2201 untuk mengetahui karakteristik material yang digunakan dalam mendesain elemen bresing. Hasil uji tarik dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1. Hasil uji tarik**

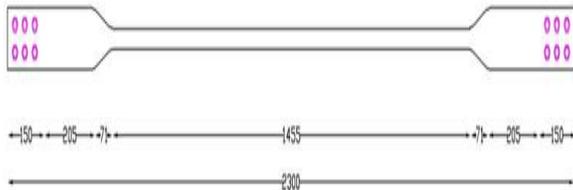
Properti	Pelat Baja
Tegangan Leleh (MPa)	306
Tegangan Tarik (MPa)	505

Pengujian juga dilakukan terhadap beton yang dipakai sebagai material pengisi pencegah tekuk dan didapat  $f'_c=46,89$  MPa. Perencanaan benda uji bresing mencakup penentuan luasan inti baja, diameter selongsong beton, pendekatan nilai  $P_{cr}$  masing-masing spesimen, *gap* antara inti baja dan selongsong beton dan pengecekan konsentrasi tegangan pada daerah peralihan.

Gambaran benda uji serta detailing sambungan dapat dilihat pada **Gambar 5** sampai dengan **Gambar 7**.

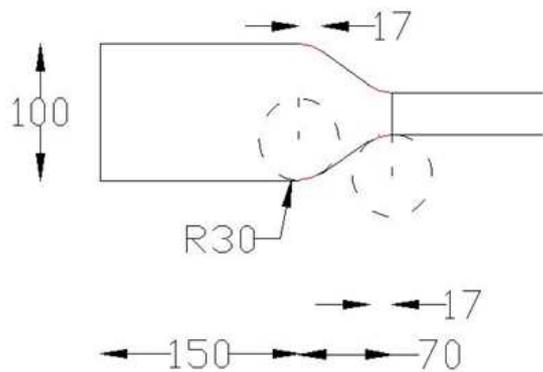
**a. Dimensi inti bresing**

Panjang total : 2350 mm; panjang leleh: 1460 mm; tebal batang baja : 10 mm; panjang daerah peralihan : 70 mm; panjang sambungan : 150 mm



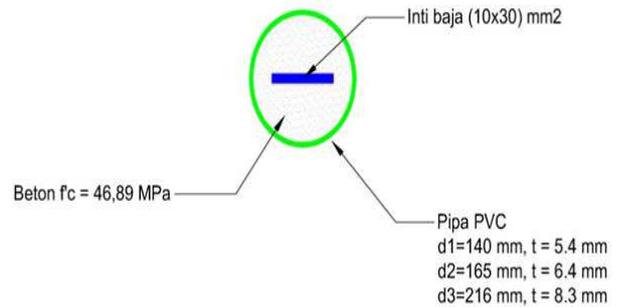
**b. Detail daerah peralihan**

Panjang daerah peralihan : 70 mm; jari-jari : 30 mm



**Gambar 6. Detail daerah peralihan**

**c. Penampang bresing tahan tekuk**



**Gambar 7. Penampang bresing tahan tekuk**

**2.3 Set up pengujian**

Pengujian terhadap kinerja bresing tahan tekuk dilakukan terhadap spesimen yang dipasang secara diagonal konsentrik pada sebuah portal sederhana. Kedua ujung bresing berupa sendi, dengan salah satu sendi dipasang pada portal yang bergerak ke arah dorong dan tarik sesuai dengan perpindahan aktuator. Perpindahan ini menimbulkan gaya tarik dan tekan pada bresing.

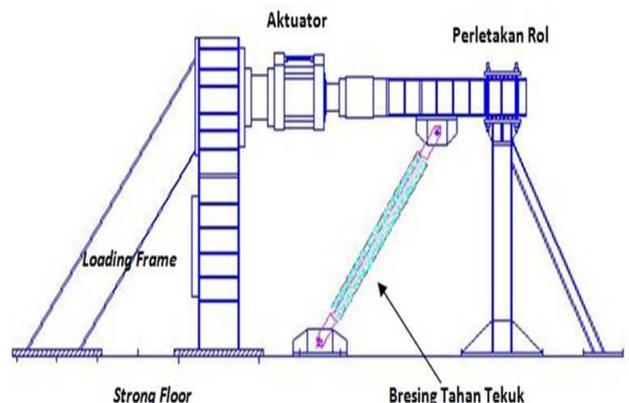
Pengamatan perpindahan dilakukan melalui bacaan pada aktuator dan pada LVDT yang dipasang di kepala aktuator, sedangkan *strain gauge* dipasang pada inti baja untuk mengamati perubahan regangan yang terjadi selama pengujian.

**2.4 Pengujian pembebanan**

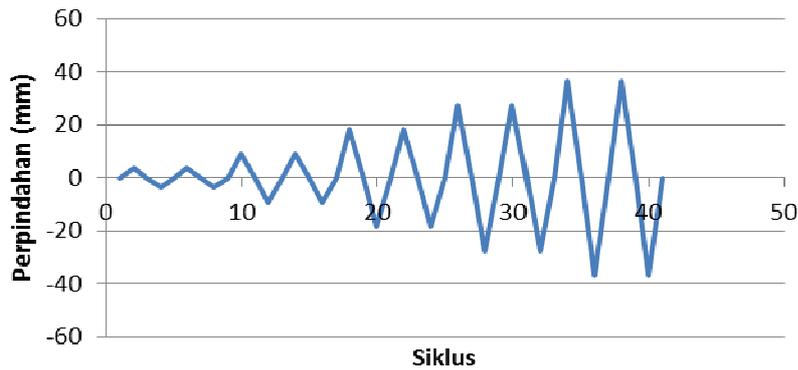
Pembebanan diberikan melalui aktuator pada ujung atas bresing berupa perpindahan siklik kuasi-statik yang diatur mengikuti pola pembebanan yang ditunjukkan dalam **Gambar 9**.

Pencatatan dilakukan selama pembebanan terhadap besarnya beban yang bekerja, perpindahan bresing dan regangan pada inti bresing.

Pembebanan dihentikan ketika terjadi penurunan bacaan beban tekan puncak pada siklus pembebanan yang akan ditunjukkan pula oleh kegagalan yang terjadi pada benda uji.



**Gambar 8. Set up pengujian**



Gambar 9. Siklus *quasi* statik inelastik

### 3. Hasil Pengujian dan Pembahasan

#### 3.1 Kurva histeresis beban-perpindahan

Hasil pengujian terhadap ketiga spesimen: bresing berdiameter 216 mm, 165 mm, dan 140 mm, menunjukkan perilaku yang sama pada zona elastik. Hal ini ditunjukkan dengan kekakuan elastik ketiga benda uji yang terlihat dari garis lurus yang berhimpit pada kurva ketiga spesimen. (Gambar 10)

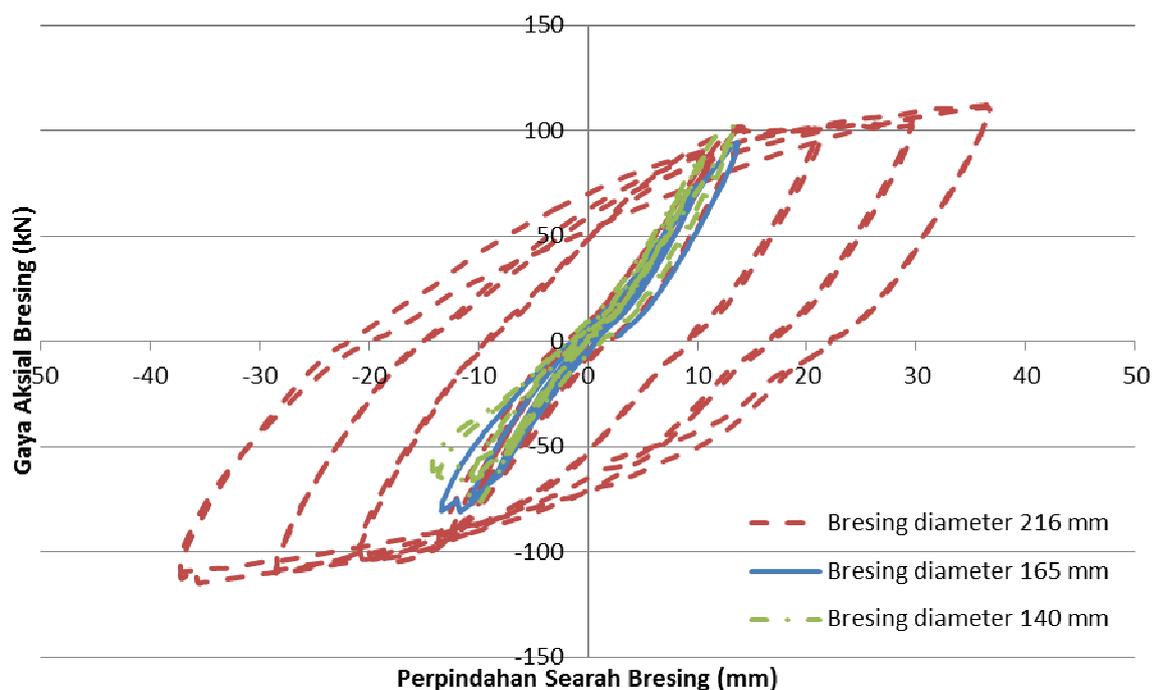
Gambar 10 menunjukkan perbandingan antara kurva histeresis yang dihasilkan oleh ketiga benda uji akibat pola pembebanan siklik yang sama, dengan beban tekan puncak masing-masing adalah 107,57 kN, 81,54 kN, dan 65,95 kN dengan perpindahan searah bresing sebesar 37,26 mm, 21,20 mm, dan 14,19 mm.

Dari hasil kurva histeretik ketiga spesimen, tampak jelas bahwa spesimen berdiameter 216 mm menunjukkan kelelahan yang berulang dan lebih stabil dibandingkan dengan spesimen lainnya. Spesimen dengan diameter lebih kecil tidak mencapai deformasi saat perilakunya memasuki zona inelastik.

Gambar 10 menunjukkan bahwa perbedaan diameter pipa PVC dan selongsong beton menghasilkan perbedaan pencapaian jumlah siklus pembebanan setiap spesimen

#### 3.2 Kurva *backbone*

Kurva *backbone* dibentuk dengan menentukan titik-titik maksimum pada kurva histeretik dan menghubungkannya antara regangan rata-rata bresing dengan gaya bresing normalisasi. Nilai regangan rata-rata (%) adalah rasio nilai perpindahan inti bresing



Gambar 10. Perbandingan kurva histeresis



Gambar 11. Pengujian bresing tahan tekuk

dengan nilai panjang leleh spesimen bresing (1460 mm). Gaya bresing normalisasi adalah rasio antara gaya bresing maksimum tiap siklus dengan gaya leleh bresing.

Gambar 12 menunjukkan spesimen 1 (diameter 216 mm) memberikan perilaku bresing tahan tekuk yang lebih baik karena kapasitas aksial tekan dan tarik sama, baik pada saat elastik maupun inelastik. Spesimen 2 dan 3 (diameter 165 mm dan 140 mm) tidak menunjukkan kecenderungan peningkatan kapasitas tekan dan tarik sebaik spesimen 1. Regangan rata-rata yang dicapai bresing spesimen 1 sebesar 0,5%, lebih baik dibanding spesimen lainnya (sebesar 0,3% dan 0,15%). Nilai regangan rata-rata yang dicapai ketiga spesimen masih terbatas untuk kebutuhan bangunan sederhana 3 lantai.

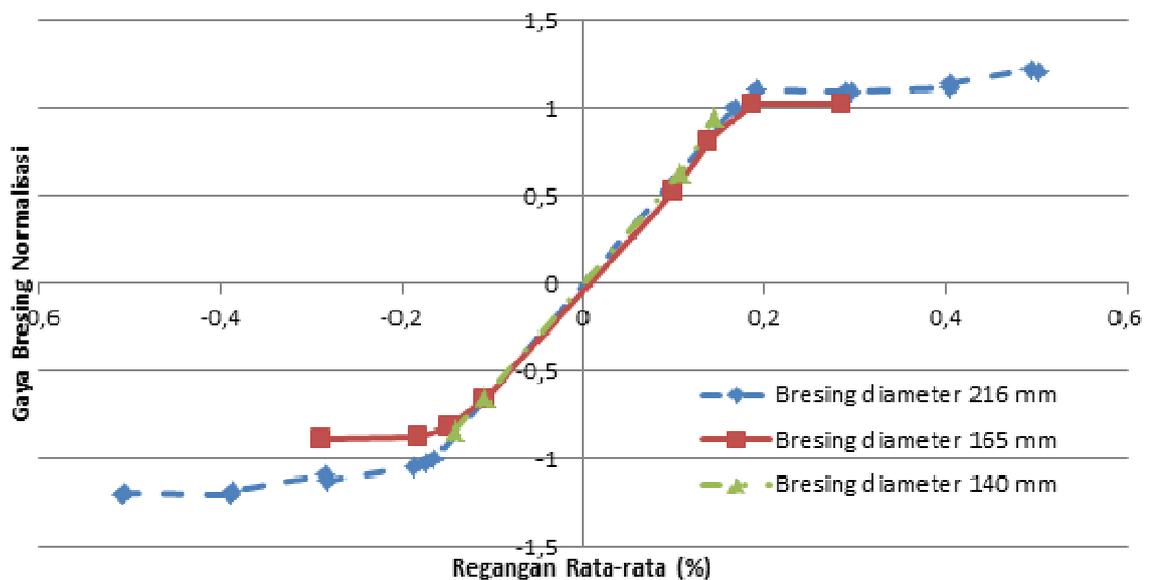
Kurva *backbone* yang dihasilkan spesimen 1 menunjukkan kenaikan kapasitas aksial tarik dan tekan bresing

yang paling baik setelah inti bresing mencapai kelelahan. Hal ini terlihat dari pencapaian nilai regangan rata-rata dan gaya bresing normalisasi.

### 3.3 Analisis kegagalan

Hasil pengamatan visual menunjukkan pengujian siklik yang dilakukan menunjukkan ketiga spesimen bresing memiliki model kegagalan yang berbeda. Spesimen 1 (diameter 216 mm) mengalami kegagalan akibat fraktur pada inti bresing. Spesimen 2 (diameter 165 mm) dan spesimen 3 (diameter 140 mm) mengalami tekuk pada daerah peralihan inti bresing.

Spesimen 1 mengalami penurunan kinerja dimulai dari retaknya mortar/beton yang menunjukkan penurunan sistem penahan tekuk. Kegagalan berlanjut pada penggelembungan pada pipa PVC akibat tekuk inti bresing, penurunan gaya aksial saat dibebani gaya tarik sampai akhirnya inti bresing patah pada akhir pem-



Gambar 12. Perbandingan kurva *backbone*



(a)



(b)

**Gambar 13. Kegagalan spesimen 1 (a) Pengelembungan pada pipa (b) Patah inti bresing**

bebanan (lihat **Gambar 13**). Namun demikian, selongsong pipa PVC tidak mengalami tekuk pada bagian tengah bresing.

Spesimen 2 mengalami penurunan kemampuan gaya aksial dimulai saat perubahan geometri bresing terlihat pada bagian tengah bresing. Secara konsisten, perubahan bresing secara visual terus terjadi sepanjang siklus pembebanan sampai bresing menunjukkan penurunan gaya aksial tekan (dari 81 kN menjadi 45 kN). Bresing menekuk pada akhir pembebanan.

Spesimen 3 mulai mengalami penurunan gaya tekan saat perpindahan leleh bresing (dari 75,5 kN menjadi 65,93 kN). Retak mortar pada siklus berikutnya menunjukkan sistem penahan tekuk mulai tidak bekerja dengan baik. Nilai gaya tekan setiap siklus secara konsisten menurun dan tidak menyamai nilai gaya tariknya sehingga pembebanan dihentikan. Bresing menekuk pada akhir pembebanan.

Tekuk bresing dan fraktur pada inti bresing menunjukkan spesimen bresing tidak memenuhi persyaratan stabilitas pengujian bresing tahan tekuk yang ditetapkan ANSI/AISC 341-10, yaitu tidak ada fraktur, instabilitas bresing atau kegagalan sambungan bresing.

Beberapa kegagalan diamati pada spesimen bresing tahan tekuk sebagai berikut:

- a. Perilaku leleh pada daerah peralihan inti bresing yang tidak terkontrol

Kelelahan ini disebabkan oleh:

1. Konsentrasi tegangan pada daerah peralihan inti bresing
2. Tegangan residual akibat pengelasan pada proses perkuatan

- b. Kemampuan sistem penahan tekuk bresing yang terbatas

Daerah peralihan antara inti bresing dan ujung bresing (segmen terkekang tidak leleh) merupakan daerah yang harus dijaga agar tidak leleh dan tidak tekuk sehingga kinerja bresing tahan tekuk dapat meningkat.

### **3.4 Kekuatan**

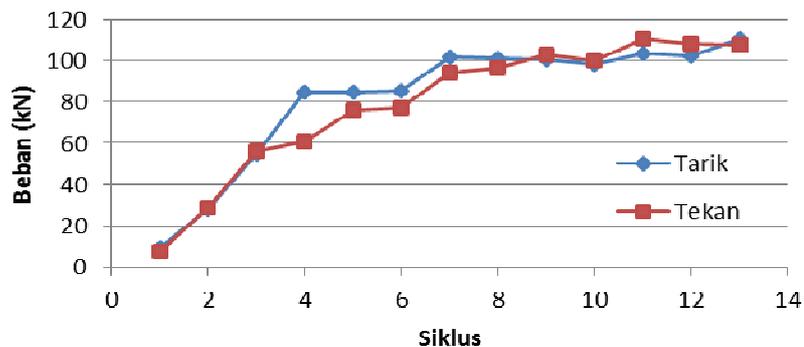
Fokus dari bresing tahan tekuk adalah peningkatan kapasitas tekan dari bresing, baik pada tahap elastik maupun inelastik. Pembahasan juga meliputi pengecekan rasio antara gaya tekan dan gaya tarik selama pembebanan siklik terhadap kriteria yang ditetapkan ANSI/AISC 341-10.

Spesimen 1 (diameter 216 mm) menunjukkan kenaikan gaya tekan seiring pembebanan siklus pembebanan yang diberikan. Gaya tekan maksimum yang hampir sama dengan gaya tarik per siklus menunjukkan bresing berperilaku seperti yang didesain. Spesimen 1 juga

Tabel 2 Gaya tarik dan tekan per siklus

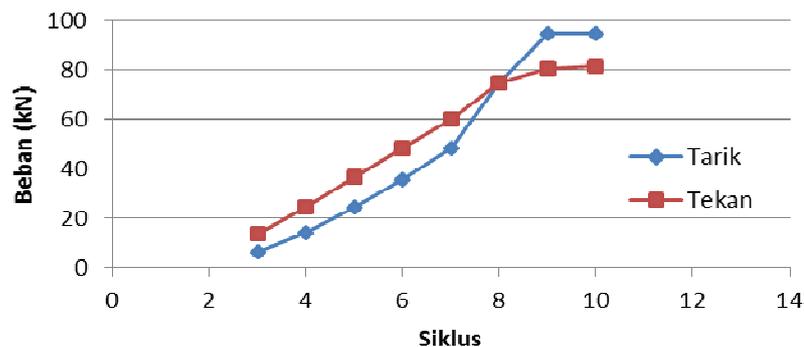
Siklus	Diameter 216 mm			Gaya Aktuator (kN) Diameter 165 mm			Diameter 140 mm		
	Tarik $V_1$	Tekan $V_1'$	$V_1'/V_1$	Tarik $V_2$	Tekan $V_2'$	$V_2'/V_2$	Tarik $V_3$	Tekan $V_3'$	$V_3'/V_3$
1	9.31	7.43	0.80	-	-	-	9.67	10.16	1.05
2	28.21	28.61	1.01	-	-	-	30.02	30.76	1.02
3	54.79	56.18	1.03	6.14	13.8	2.25	57.35	58.74	1.02
4	84.76	60.76	0.72	14.24	24.55	1.72	87.14	75.5	0.87
5	84.76	75.74	0.89	24.4	36.49	1.50	86.19	65.93	0.76
6	85.55	76.94	0.90	35.39	48.46	1.37	101.84	65.6	0.64
7	101.94	93.9	0.92	48.25	60.17	1.25	99.55	61.3	0.62
8	101.41	96.22	0.95	74.44	74.65	1.00	87.23	65.93	0.76
9	100.61	103.05	1.02	94.51	80.42	0.85	101.47	65.95	0.65
10	98.36	99.78	1.01	94.69	81.54	0.86	-	-	-
11	103.44	110.52	1.07	-	-	-	-	-	-
12	102.26	108.13	1.06	-	-	-	-	-	-
13	110.52	107.57	0.97	-	-	-	-	-	-

Siklus vs Beban  
Spesimen 1, Diameter 216 mm



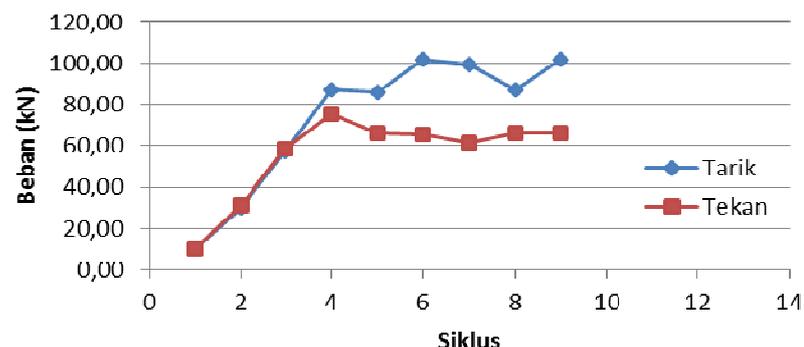
(a)

Siklus vs Beban  
Spesimen 2, Diameter 165 mm



(b)

Siklus vs Beban  
Spesimen 3, Diameter 140 mm



(c)

Gambar 14. Peningkatan beban per siklus tiap spesimen

memenuhi persyaratan kekuatan yang ditetapkan ANSI/AISC 341-10, yaitu hasil plot gaya bresing vs perpindahan yang stabil dan berulang (**Gambar 10**), gaya tarik dan gaya tekan maksimum yang lebih besar dari kuat nominal inti baja pada deformasi setelah leleh, dan rasio gaya tekan dan gaya tarik pada deformasi setelah leleh yang kurang dari 1,3. Namun demikian, patah pada inti bresing menunjukkan fraktur sehingga spesimen 1 tidak memenuhi persyaratan ANSI/AISC 341-10.

Spesimen 2 (diameter 165 mm) dan spesimen 3 (diameter 140 mm) menunjukkan kenaikan gaya tekan seiring pembebanan siklus pembebanan yang diberikan. Namun, kedua spesimen tersebut menunjukkan kurva histeresis yang tidak stabil dan tidak berulang, tekuk pada bresing, dan gaya tekan maksimum yang lebih kecil dari kuat inti nominal inti baja. Spesimen 2 dan 3 tidak memenuhi persyaratan ANSI/AISC 341-10.

#### **4. Kesimpulan**

1. Hasil pengujian siklik bresing tahan tekuk dengan penggunaan pipa PVC membentuk kurva *backbone* dengan pencapaian regangan rata-rata yang terbatas. Namun demikian, spesimen bresing menunjukkan potensi kinerja yang baik yang dilihat dari peningkatan kemampuan kapasitas aksial bresing pasca leleh pada spesimen dengan diameter terbesar.
2. Diameter pipa PVC merupakan faktor dominan yang mempengaruhi kinerja bresing tahan tekuk.
3. Spesimen bresing dengan diameter 216 mm memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan spesimen berdiameter lebih kecil dalam hal:
  - a. Pemenuhan persyaratan kekuatan yang ditetapkan ANSI/AISC 341-10.
  - b. Kurva histeresis yang gemuk dan tidak menunjukkan gejala *pinching*.
  - c. Kurva *backbone* yang menunjukkan kapasitas tarik dan tekan yang sama serta kecenderungan peningkatan kapasitas bresing saat tahap inelastik.
4. Namun demikian, secara umum, ketiga spesimen bresing tahan tekuk menunjukkan kinerja yang kurang baik dalam hal:
  - a. Perilaku leleh pada daerah peralihan inti bresing yang tidak terkontrol
    1. Konsentrasi tegangan pada daerah peralihan inti bresing
    2. Tegangan residual akibat pengelasan pada proses perkuatan

- b. Kemampuan sistem penahan tekuk bresing yang terbatas

#### **5. Ucapan Terima Kasih**

Penulis menyampaikan terimakasih atas dukungan dana bagi pelaksanaan penelitian ini melalui Program Riset dan Inovasi ITB dan Program IMHERE B2c.

#### **Daftar Pustaka**

- American Institute of Steel Construction, 2010, *ANSI/AISC 341-10 Seismic Provision for Structural Steel Building*. Chicago.
- CRC Press., 2004, *Earthquake Engineering: From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering*. Chapter 16.
- Lopez, W.A., and Sabelli, R., 2004, *Steel Tips: Seismic Design of Buckling Restrained Braced Frames*.
- RSNI 01-1726-201X, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. 201X.