

## Studi Numerik Pengaruh Konfigurasi Bracing Baja Canai Dingin pada Portal 2 Dimensi

Matthew Hassel Kristian<sup>1</sup>, Nindyawati<sup>1,\*</sup>, Dzul Fikri Muhammad<sup>1</sup>

Departemen Teknik Sipil, Universitas Negeri Malang, Malang<sup>1</sup>

Koresponden\*, Email: [nindyawati.ft@um.ac.id](mailto:nindyawati.ft@um.ac.id)

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	08 Agustus 2024	<i>Improving the quality of buildings in Indonesia, a country at risk for natural disasters, particularly earthquakes, necessitates research on the use of bracing in structures to determine their strength and effectiveness. This study aims to identify and compare various bracing uses, particularly on wall panels. Numerical testing was conducted using Abaqus CAE software to achieve higher effectiveness compared to experimental testing. The study focuses on identifying strength, ductility, and displacement. Test results indicate that in terms of strength, the X-bracing variation shows a significant advantage compared to the Z-bracing variation, with 203% for X-bracing versus 178% for Z-bracing. The displacement for X-bracing has an advantage of 7,04 mm, 23,31 mm for Z-bracing, and 269,73 mm for non-bracing.</i>
Diperbaiki	04 September 2024	
Disetujui	25 September 2024	

*Keywords: cold-formed steel, capacity, numerical study, static monotonic load.*

### Abstrak

Meningkatkan kualitas bangunan di Indonesia sebagai negara yang memiliki risiko bencana alam khususnya gempa bumi, penelitian mengenai penggunaan *bracing* pada suatu struktur terutama untuk mengetahui kekuatan dan efektifitas perlu dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan masing-masing variasi penggunaan *bracing* khususnya pada panel dinding. Pengujian dilakukan dengan metode numeris menggunakan *software* Abaqus CAE agar penelitian dapat dilakukan dengan tingkat efektifitas yang lebih tinggi dibanding pengujian secara eksperimental. Kekuatan, daktilitas, dan juga pergeseran atau *displacement* merupakan hal yang akan diidentifikasi dalam penelitian ini. Hasil pengujian menunjukkan dalam hal kekuatan variasi X-bracing menunjukkan keunggulan yang cukup signifikan apabila dibandingkan dengan variasi Z-bracing yaitu 203% dibanding Z-bracing dengan 178%. Simpangan X-bracing memiliki keunggulan dengan 17,04mm, 23,31 mm untuk Z-bracing, dan 269,73 mm untuk non-bracing.

Kata kunci: baja canai dingin, kapasitas, studi numerik, beban statik monotonic

### 1. Pendahuluan

Sebagai negara yang rawan terhadap bencana geologi, Indonesia memiliki potensi tinggi terhadap bencana geologi khususnya bencana gempa bumi. Menurut Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) mencatat sepanjang tahun 2023 telah terjadi lebih dari 10.789 kali Indonesia diguncang gempa bumi dengan berbagai variasi magnitudo dan juga kedalaman. Gempa yang termasuk dalam golongan merusak atau *destructive earthquake* juga telah terjadi sebanyak 24 kali [1]. Pembangunan hunian sementara harus dilakukan dengan prinsip tahan gempa sebagai solusi untuk menimbulkan rasa aman pada korban selamat dan juga pencegahan terhadap bencana di masa mendatang.

Penggunaan baja canai dingin memiliki beberapa keunggulan yang cukup untuk digunakan sebagai material bangunan sementara. Keunggulan baja canai dingin atau *Cold Formed Steel* (CFS) diantaranya adalah baja canai dingin memiliki berat struktur yang lebih ringan daripada

baja konvensional dan memiliki ketahanan terhadap karat yang lebih tinggi sehingga dapat meminimalisir terjadinya keropos, serta dalam hal kekuatan juga cukup baik dalam mengakomodir beban dari suatu struktur. Biaya dan waktu pemasangan dari baja canai dingin juga relatif rendah sehingga pemanfaatannya pada bangunan sementara akan menjadi pilihan yang tepat [2].

Tegangan leleh, kuat tarik, dan daktilitas merupakan karakteristik material yang penting saat melakukan desain terutama pada penggunaan *cold-formed steel*. Baja canai dingin dengan kualitas G550 merupakan salah satu pilihan karena dalam AS 1397, baja canai dingin G550 memiliki kuat tekan leleh minimal sebesar 550 MPa dengan deformasi minimal sebesar 2% setiap 50 mm satuan panjang [3].

Bangunan berupa hunian sementara tahan gempa yang dinamakan RISBARI (Rumah Instan Baja Ringan) dengan implementasi *strap braced wall system* dengan konfigurasi X dengan material baja canai dingin sebagai struktur utama [4]. Penelitian serupa untuk menganalisis RISBARI terhadap

beban lateral juga telah dilakukan oleh A. Kadir, *dkk* [5] yang menghasilkan peningkatan kekakuan awal sebesar 200%, beban *ultimate* 128,87%, dan beban *yield* 103,33% terhadap *strap brace*. Kemudian pengujian penggunaan panel dinding *strap braced* baja canai dingin dengan konfigurasi X menghasilkan simpangan dengan rasio sebesar 2,46% dengan jarak 73 mm [6].

Berdasarkan pembahasan sebelumnya, untuk mengisi gap dari penelitian terdahulu maka tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi lebih dalam mengenai pengaruh variasi elemen pengaku terhadap kapasitas struktur untuk menahan beban lateral akibat terjadinya gempa. Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan perbandingan terhadap beberapa model elemen pengaku dengan konfigurasi *X-bracing*, *Z-bracing*, dan *non-bracing*. *Bracing* yang digunakan yaitu berupa material baja canai dingin yang diaplikasikan pada *braced frame wall*. Adapun perbandingan tersebut ditinjau dalam beberapa hal, yaitu beban puncak, simpangan, dan nilai daktilitas yang dihasilkan akibat pengaruh dari beban yang diberikan saat pengujian. Hal ini dilakukan guna mendukung pengaplikasian penggunaan panel tersebut pada bangunan tahan gempa. Penelitian ini secara keseluruhan menggunakan metode analisis elemen hingga atau *Finite Element Method* (FEM).

## 2. Metode

### A. Perencanaan Model

Model berupa struktur panel dinding berbahan baja canai dingin berkualitas G550 dengan profil *hollow box* berukuran 40 mm x 40 mm dengan variasi ketebalan 0,3 mm Material disusun menjadi struktur panel dinding dengan *concentric bracing* yang disambung dengan pengaturan *tie constraint* sehingga ketika analisis dijalankan, sambungan tersebut tidak akan terlepas ataupun bergeser. *Tie Constraint* bersifat permanen sehingga berapapun besar beban yang diberikan, sambungna tidak akan terputus. Model yang digunakan dibagi menjadi 3 jenis; panel dinding berkonfigurasi *Z-brace*, *X-brace*, dan tanpa *bracing*. Panel dinding didesain dengan 100 cm tinggi dan 50 cm lebar.

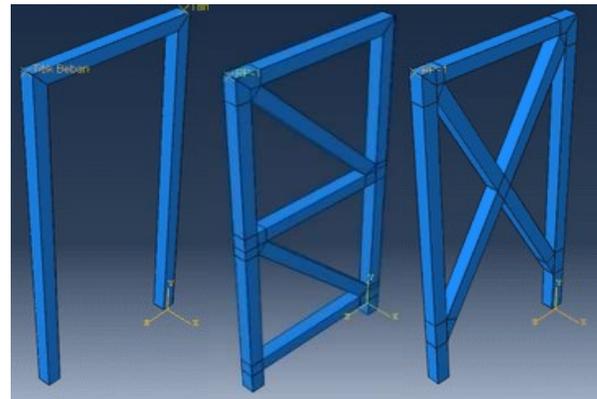
Notasi untuk setiap variasi ketebalan diberikan pada masing-masing benda uji; *Z-bracing* adalah Z-3, untuk *X-bracing* adalah X-3, dan tanpa *bracing* atau *non-bracing* adalah N-3 dengan angka 3 mengartikan 0,3 mm.

Kemudian untuk *Z-bracing*, *X-bracing*, dan *non-bracing* yang bisa dilihat pada **Gambar 1**. disusun dengan tinggi dan lebar yang sebanding antara tiap variasi *bracing*.

### B. Analisis Kekuatan

Berdasar SNI 1726:2019, Beban puncak adalah beban maksimum yang dapat ditanggung oleh suatu struktur akibat beban yang bekerja sebelum mengalami kegagalan atau deformasi yang signifikan. Perhitungan beban puncak struktur merupakan hal yang penting untuk memastikan keamanan dan kestabilan struktur pada masa pakai struktur tersebut. Perhitungan dan analisis beban puncak dapat dilakukan dengan perhitungan secara matematis dan juga simulasi untuk memprediksi perilaku struktur ketika diberi beban.

Pada dasarnya dalam menentukan beban puncak dalam suatu struktur diperlukan perhitungan menyeluruh pada semua jenis beban yang bekerja pada suatu struktur. Beberapa beban yang dihitung diantaranya adalah beban mati yang merupakan berat struktur sendiri, material, dan juga aksesoris struktur, kemudian beban hidup berupa berat orang, barang, ataupun beban berubah lainnya, selanjutnya adalah beban angin dan hujan yang merupakan luas permukaan yang terkena angin dan hujan. Semua perhitungan tadi kemudian akan dikalkulasi menjadi total keseluruhan beban atau disebut beban puncak ( $P_{peak}$ ) yang merupakan kombinasi dari semua beban yang dihitung menggunakan kurva elastis plastis.



**Gambar 1.** Model Uji

### C. Analisis Simpangan

Simpangan merupakan perbedaan posisi awal terhadap posisi akhir dari sebuah struktur, umumnya simpangan diukur dalam satuan posisi atau deformasi dengan satuan jarak. Simpangan sangat penting dalam perhitungan perencanaan struktur karena dapat menentukan kestabilan dan kinerja struktur dalam menahan berbagai jenis beban[7].

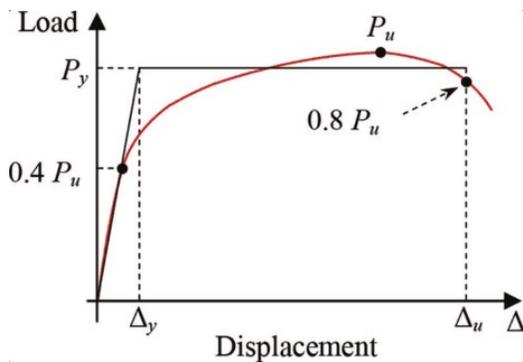
Untuk mengurangi simpangan horizontal yang terjadi pada suatu struktur, penggunaan dan penambahan pengaku atau *bracing* pada suatu struktur akan memberikan pengaruh positif pada nilai simpangan suatu struktur. Penambahan *bracing* akan membuat penyaluran beban dan gaya yang

diterima pada suatu struktur akan bekerja lebih efektif. Hal tersebut akan berpengaruh pada nilai simpangan yang lebih kecil daripada struktur tanpa penggunaan *bracing*[8].

Dalam melakukan perhitungan dan analisis untuk mengetahui simpangan yang terjadi, perhitungan dapat dilakukan menggunakan analisis struktur menggunakan *software*. Kemudian hasil analisis dapat dihitung dengan membagi gaya beban dengan konsistensi struktur.

#### D. Daktilitas

Parameter yang ditinjau pada penelitian kali ini diantaranya adalah beban puncak, kekakuan, dan daktilitas. Pembebanan *monotonic static* dilakukan dengan mengacu pada ASTM E2126. Pembebanan dengan memperhitungkan pergeseran (*Displacement*) *axial* dan pergeseran *ultimate* (*Displacement*) dan beban (*Load*) akan menghasilkan *Envelope Curve and Equivalent Elastic-Plastic Curve (EEEEP)*. Kurva *Envelope* menggambarkan respon struktur bawah pada beban maksimum akibat beban, sedangkan kurva Energi Elastis-Plastis didapatkan dari Kurva *Envelope* yang berguna untuk menentukan beban elastis plastis yang seimbang untuk mengukur kapasitas struktur dalam menyerap energi bawah pada beban.



**Gambar 2.** Kurva Envelope dan Kurva *Equivalent Elastic-Plastic* (EEEEP)

Menemukan daktilitas khususnya pada material baja canai dingin dapat menggunakan perhitungan dimana ratio antara  $\delta u$  adalah *Displacement Ultimate* yang merupakan hasil dari 0,80 dari P atau beban puncak dan  $\delta y$  adalah *yield displacement*. Daktilitas pada suatu bangunan akan menunjukkan bahwa suatu bangunan dapat menahan beban deformasi tanpa mengalami kerusakan yang parah dan dapat menyebabkan bangunan tersebut runtuh. Penggunaan rumus daktilitas *ultimate* sangat penting pada perencanaan desain bangunan untuk menahan segala jenis beban seperti contoh beban angin ataupun beban gempa.

Kondisi plastis pada kurva EEEP (**Gambar 2**) merupakan titik yang ditarik secara horizontal sehingga membentuk garis

yang adalah beban leleh ( $P_{yield}$ ) sejajar dengan simpangan ultimate ( $\Delta_u$ ). Hal tersebut menjadikan luasan kurva EEEP dengan kurva beban-simpangan memiliki luasan yang sama, namun hal tersebut perlu dicari dengan nilai  $P_{yield}$  seperti pada Persamaan (1) dan (2) [9].

$$P_{yield} = \left( \Delta u - \sqrt{\Delta u^2 - \frac{2A}{K_e}} \right) K_e \quad (1)$$

$P_{yield}$  = Beban leleh (kg)

$\Delta u$  = Simpangan *ultimate* (mm)

A = Luasan bawah kurva (kN-m)

$K_e$  = Kekakuan elastis(kN/mm)

Jika  $\Delta u^2 < \frac{2A}{K_e}$  maka dapat diasumsikan dengan Persamaan (2).

$$P_{yield} = 0,85 P_{peak} \quad (2)$$

Dimana:

$P_{yield}$  = Beban leleh (kg)

$P_{peak}$  = Beban puncak (kg)

Beban leleh pada struktur baja canai dingin merupakan tegangan maksimal yang dapat ditahan oleh suatu struktur atau material sebelum terjadinya kondisi plastis berupa deformasi permanen. Hal ini berguna untuk menemukan batas maksimum dari kekuatan dan kemampuan struktur dalam menampung suatu batas beban[10]. Setelah mendapatkan nilai dari  $P_{yield}$  maka untuk menentukan simpangan leleh dapat dicari dengan menghitung pada Persamaan (3).

$$\Delta_{yield} = \frac{P_{yield}}{K_e} \quad (3)$$

Dimana:

$\Delta_{yield}$  = Simpangan ketika  $P_{yield}$  yang pertama (mm)

$P_{yield}$  = Beban leleh (kg)

$K_e$  = Kekakuan elastik (kg/mm)

Mencari simpangan ketika  $P_{yield}$  merupakan cara yang efektif untuk mengetahui perubahan pada proses pembebanan. Dalam hal ini jarak merupakan satuan yang dicari untuk mendapatkan simpangan pada titik  $P_{yield}$  dengan memperhitungkan beban leleh dan juga kekakuan suatu struktur [11].

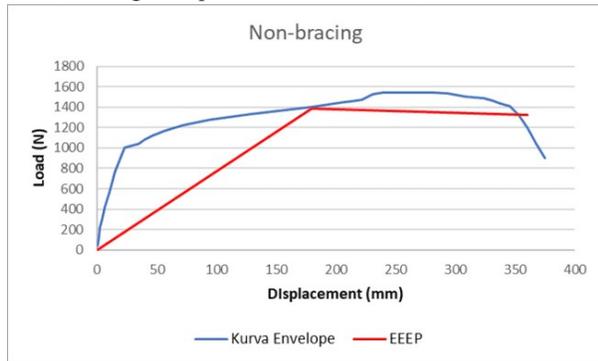
### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian konfigurasi *bracing* dengan variasi, yaitu *non-bracing*, *Z-bracing*, *X-bracing* dengan pembebanan statik monotonik secara numeris menggunakan *software* abaqus CAE. Pengujian dilakukan dengan memperlakukan pembebanan hingga mencapai titik yang sama dengan acuan waktu. Pada titik waktu yang sama, kemudian ditinjau *displacement* dan juga beban yang diterima pada masing-masing konfigurasi *bracing*. Dari hasil pembebanan tersebut kemudian didapatkan beberapa data yang memuat data beban dan simpangan sehingga dapat disusun dan dibandingkan

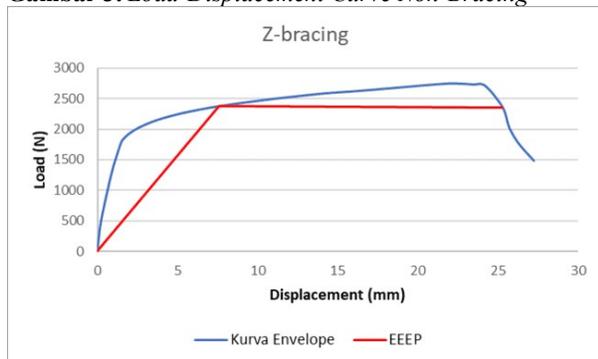
dengan kurva beserta dengan titik kerusakan pada bagian panel dinding seperti pada **Gambar 3**.

Grafik pada **Gambar 3** menunjukkan seberapa besar beban yang dapat ditampung oleh variasi *Non-bracing* yang ditinjau dengan melihat beban dan juga pergeseran atau *displacement*. Pada grafik tersebut beban puncak berada pada 1544,45 N dengan *displacement* sebesar 269,373 mm.

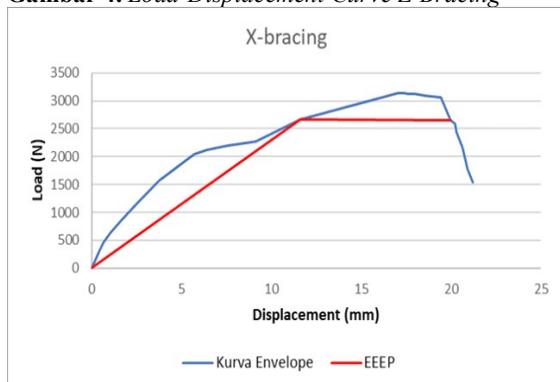
Grafik pada **Gambar 4** menunjukkan seberapa besar beban yang dapat ditampung oleh variasi *Z-bracing* yang ditinjau dengan melihat beban dan juga pergeseran atau *displacement*. Pada grafik tersebut beban puncak berada pada 2747,79 dengan *displacement* sebesar 22,316 mm.



**Gambar 3.** Load-Displacement Curve Non-Bracing

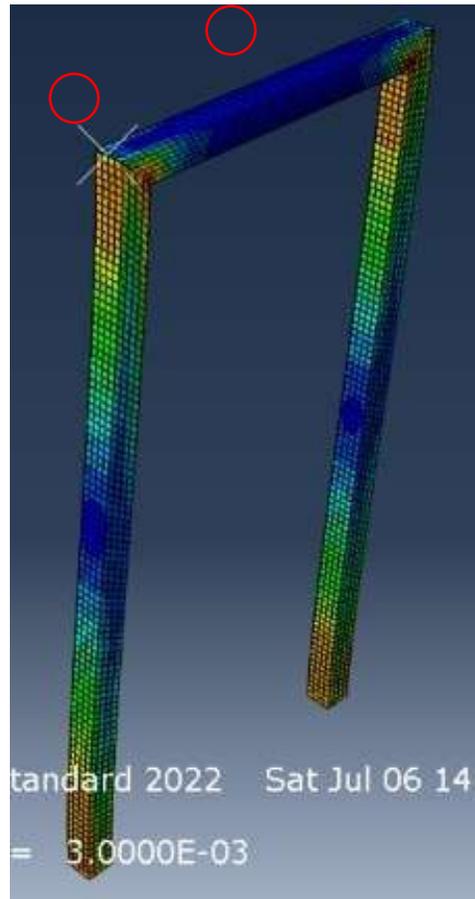


**Gambar 4.** Load-Displacement Curve Z-Bracing

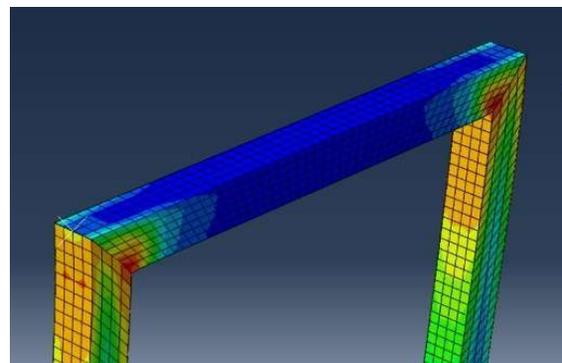


**Gambar 5.** Load-Displacement Curve X-bracing

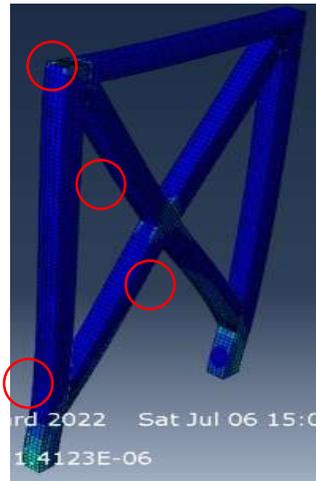
Grafik pada **Gambar 5** menunjukkan seberapa besar beban yang dapat ditampung oleh variasi *X-bracing* yang ditinjau dengan melihat beban dan juga pergeseran atau *displacement*. Pada grafik tersebut beban puncak berada pada 3138,27 N dengan *displacement* sebesar 17,014 mm.



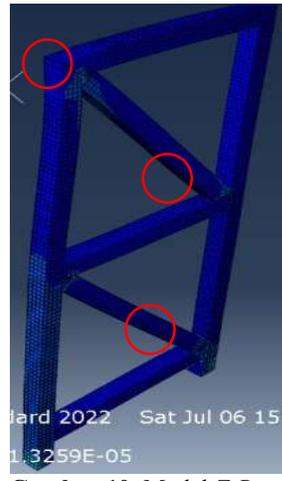
**Gambar 6.** Model Non-Bracing



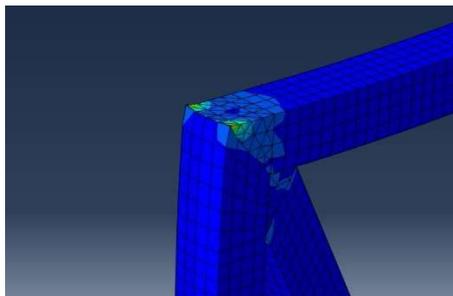
**Gambar 7.** Titik terjadinya regangan tegangan pada Non-Bracing



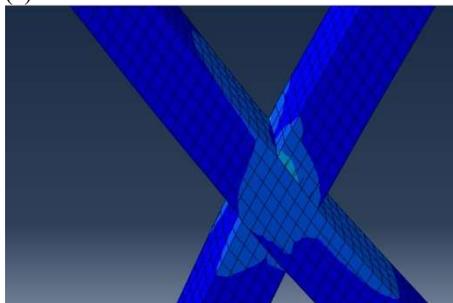
**Gambar 8.** Model *X-Bracing*



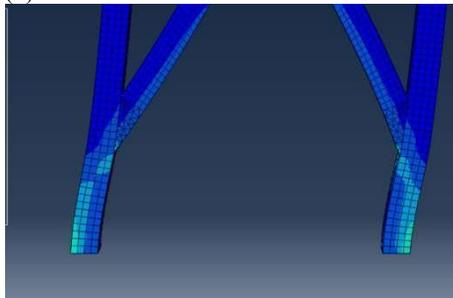
**Gambar 10.** Model *Z-Bracing*



(a)

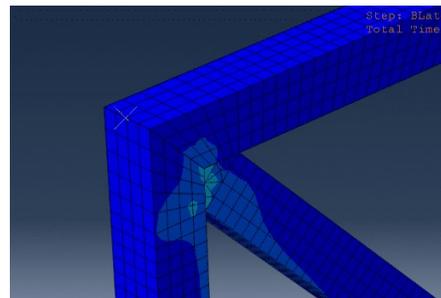


(b)

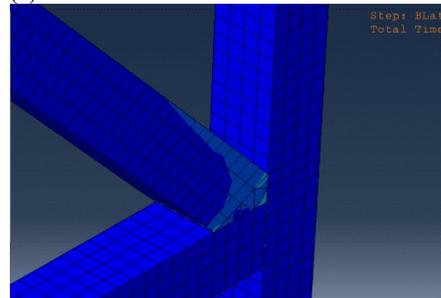


(c)

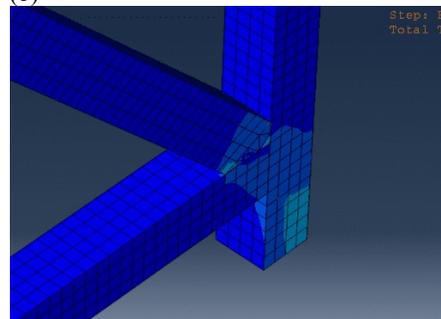
**Gambar 9.** Titik terjadinya regangan tegangan pada model *x-bracing*. (a) Bagian atas, (b) Bagian tengah, (c) Bagian bawah atau titik tumpu.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 11.** Titik terjadinya regangan tegangan pada model *Z-bracing*. (a) Bagian atas, (b) Bagian tengah, (c) Bagian bawah atau titik tumpu.

**Gambar 6.** hingga **Gambar 10.** Merupakan titik dimana ketika pemberian beban dilakukan, terjadi kondisi regangan tegangan yang terjadi pada material dan juga struktur pada model tersebut. Bisa kita lihat bahwa lokasi dimana terjadinya regangan tegangan seringkali terjadi pada titik sambungan dan juga tumpuan. Pengaruh konfigurasi sambungan dan *bracing* sangat berpengaruh pada titik regangan dan tegangan yang terjadi pada material. Semakin panjang pengaku pada suatu struktur, maka sambungan akan mengalami regangan paling tinggi juga [12]. Dalam hal ini sambungan bertipe *tie* merupakan contohnya.

Pada hasil pengujian masing-masing model, data yang didapat berupa beban leleh, beban puncak, dan juga simpangan serta daktilitas ketika puncak yang tersaji seperti **Tabel 1.**

**Tabel 1.** Data Hasil Pengujian

Model	Beban Leleh (N)	P <sub>peak</sub> (N)	Kenaikan P <sub>peak</sub> (%)	ΔP <sub>peak</sub> (mm)	μ
Non-bracing	1334.32	1544.45	100	269.73	2.0076
Z-bracing	2374.63	2747.79	178	22.31	3.3398
X-bracing	2670.66	3138.27	203	17.04	1.7216

Berdasarkan **Tabel 1** tersebut menunjukkan bahwa variasi *bracing* X memiliki tingkat kekuatan menahan beban arah horizontal lebih baik dibanding variasi lainnya dengan kekuatan menahan beban 3138,27 N dengan capaian *displacement* 17,04 mm sehingga peningkatan kekuatan menahan beban tersebut sebesar 203% dibanding *Z-bracing* dengan 178% dari model kontrol yaitu *Non-bracing*.

Pengaruh jumlah sambungan terhadap kekuatan suatu struktur akan berbanding lurus dengan jumlah sambungan, sehingga semakin banyak sambungan maka kekuatan juga akan semakin meningkat[13]. Hal tersebut dapat dilihat pada hasil kemampuan struktur dalam menahan beban dimana variasi *Z-bracing* memiliki keunggulan dibanding variasi tanpa *bracing* namun tidak lebih baik dibanding penggunaan *X-bracing*. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin banyaknya sambungan pada suatu struktur, maka akan semakin kuat juga kekuatan dari struktur tersebut dalam menahan suatu beban yang bekerja[14]. Tetapi dalam penelitian ini, hal tersebut tidak benar terkait jumlah sambungan akan mempengaruhi kekuatan struktur.

Namun faktor yang mempengaruhi kekuatan suatu struktur bukan hanya jumlah sambungan melainkan penempatan dan juga keseimbangan dalam menentukan lokasi *bracing* digunakan. Semakin efektif penempatan suatu elemen pengaku maka kekuatan struktur juga akan

meningkat. Penempatan *bracing* yang berpusat pada tengah struktur akan berpengaruh pada kekuatan yang terjadi[15].

Penggunaan *X-bracing* memiliki keunggulan dibanding variasi lainnya. Hal tersebut dikarenakan penempatan elemen pengaku yang efektif. Penempatan *bracing* pada variasi X yaitu berpusat di tengah struktur dan seimbang antar sisinya serta jumlah sambungan yang tergolong banyak.

Dalam hal simpangan terjauh pada titik beban puncak, maka simpangan masing-masing variasi adalah 269,73 mm untuk *Non-bracing*, 17,04 mm untuk *X-bracing*, dan 23,31 mm untuk *Z-bracing*. Hal tersebut menunjukkan bahwa *X-bracing* memiliki nilai *displacement* paling kecil dibandingkan dengan model lainnya.

Berdasarkan hasil tersebut maka penggunaan *X-bracing* pada penelitian ini menunjukkan bahwa simpangan yang terjadi memiliki nilai yang paling rendah dibandingkan variasi *bracing* lainnya karena *X-bracing* dapat meningkatkan kemampuan dengan cara menyebarkan beban yang diterima secara merata pada struktur untuk menahan gaya geser yang diterima [8]. Selain itu dengan penggunaan *bracing* yang lebih pendek maka tingkat kekakuan dalam variasi *bracing* memiliki keunggulan karena semakin pendek elemen pengaku pada suatu struktur maka akan semakin kecil pula simpangan yang akan terjadi. Hal ini karena gaya-gaya yang diterima oleh masing-masing elemen akan menjadi relatif kecil pula [16]. Walaupun demikian, kesetimbangan pada komposisi *bracing* tetap menjadi faktor terbesar yang mempengaruhi nilai simpangan. Hal tersebut dapat dilihat pada variasi X dan Z. Meskipun *Z bracing* memiliki bentang yang sedikit lebih pendek dibanding variasi X, namun komposisi X lebih berimbang daripada variasi Z. Sehingga nilai simpangannya juga akan lebih kecil juga.

Daktilitas pada masing-masing struktur adalah 2,01 untuk variasi *non-bracing*, 3,34 untuk *z-bracing*, dan 1,72 untuk *x-bracing*. Dari hasil tersebut, menunjukkan bahwa *x-bracing* memiliki nilai daktilitas terkecil dibanding variasi pengaku lainnya.

Daktilitas pada struktur baja sebagai pengaku sangat penting pada variasi pengaku dinding, karena hal tersebut akan berguna agar struktur dapat menahan beban yang diterima struktur dengan baik dan akan tetap berdiri meski pada fase keruntuhan [17]. Pemasangan *bracing* yang tepat akan menghasilkan nilai daktilitas yang baik pula, terutama pada suatu struktur. Pemasangan pengaku pada struktur bawah tentunya akan memberikan nilai daktilitas yang lebih baik, hal tersebut dibuktikan dengan penggunaan *bracing* Z yang memiliki angka daktilitas yang baik karena memiliki pengaku yang berada pada bawah struktur [18].

Penambahan *bracing* pada struktur akan memberikan peningkatan kekuatan dalam menahan beban, namun akan menurunkan daktilitas struktur karena *bracing* akan dipaksa meleleh lebih cepat dibanding struktur utama. Namun struktur tanpa atau sedikit *bracing* akan memiliki daktilitas kurvatur yang besar, namun akan memiliki kekuatan yang lebih rendah dalam menahan beban.

#### 4. Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian, analisis, dan juga diskusi yang telah dilakukan pada variasi *bracing*, beberapa kesimpulan yang dapat diambil diantaranya:

1. Dalam hal kekuatan, variasi *X-bracing* menunjukkan keunggulan yang cukup signifikan apabila dibandingkan dengan variasi *Non-bracing*. Namun, tidak terlalu signifikan perbedaannya apabila dibandingkan dengan variasi *Z-bracing* yaitu 203% dibanding *Z-bracing* dengan 178%.
2. Dalam hal simpangan, *X-bracing* memiliki keunggulan dengan nilai simpangan sebesar 17,04 mm, 23,31 mm untuk *Z-bracing*, dan 269,73 mm untuk *Non-bracing*.
3. Daktilitas variasi X memiliki nilai terkecil yaitu 1,72, variasi Z dengan 3,34, dan 2,01 untuk *Non-bracing*

#### Daftar Pustaka

- [1] HUMAS BSN, 'Melek Bencana di Negara Dengan Wilayah Rawan Gempa - BSN - Badan Standardisasi Nasional - National Standardization Agency of Indonesia - Setting the Standard in Indonesia ISO SNI WTO'. Accessed: May 06, 2024. [Online]. Available: <https://www.bsn.go.id/main/berita/detail/19065/melek-bencana-di-negara-dengan-wilayah-rawan-gempa>
- [2] R. Oktavian Indarto and B. Suswanto, 'Studi Analisis Perilaku Jembatan Pejalan Kaki dengan Sambungan Sekrup dan Adhesive pada Cold-Formed Steel', *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, vol. 18, no. 1, pp. 73–80, 2020.
- [3] A. Wiguna, E. Walujodjati Jurnal Kalibrasi Sekolah Tinggi Teknologi Garut Jl Mayor Syamsu No, and J. Garut, 'Analisis Kekuatan Baja Canai Dingin (Cold Formed Steel) Sebagai Alternatif Untuk Elemen Struktur Balok Rumah Sederhana Yang Merespon Gempa', *Jurnal Konstruksi*, vol. 13, no. 1, 2016, [Online]. Available: <http://jurnal.sttgarut.ac.id>
- [4] A. Awaludin, Y. Adiyuano, and F. A. Mursyid, 'RISBARI: An Alternative House Model for the 2018 Lombok Earthquake Affected People', in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, May 2020. doi: 10.1088/1757-899X/849/1/012069.
- [5] A. Kadir, I. Satyarno, and A. Awaludin, 'Kekuatan Lateral Dinding Cold-Formed Steel Strap Braced Pada Rumah Instan Sehat Baja Ringan (RISBARI)', vol. 202. 2021.
- [6] B. Hamdani, I. Satyarno, and H. Priyosulistyo, 'Kapasitas Panel Rumah Instan Sehat Baja Ringan (RISBARI)', *Wahana Teknik Sipil*, vol. 26, no. 2, pp. 235–246, 2021.
- [7] D. Felli Rahmawati, U. Khatulistiani, M. Program Studi Teknik Sipil, and D. Program Fakultas Teknik Sipil, 'Analisa Drift Gedung Struktur Baja Tahan Gempa Menggunakan Kombinasi Two Story-X Bracing dan X Bracing di Surabaya', *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Konstruksi*, vol. 7, no. 1, pp. 1–16, 2019.
- [8] D. Khairinnisa, R. Kurniawan, and S. Haris, 'Kinerja Seismik Berbagai Konfigurasi Bresing Eksentrik pada Gedung Struktur Baja Tidak Beraturan', *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, vol. 21, no. 3, pp. 213–220, 2023.
- [9] H. S. Kianjaya, I. Satyarno, and D. B. Suhendro, 'Studi Experimental Balok Sloof-Kolom Pada Rumah Instan Struktur Baja dengan Metode Pembebanan Siklik', *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 16, no. 3, pp. 159–168, 2021, doi: 10.24002/jts.v16i3.5388.
- [10] W. Wuryanti, 'Experimental Study into The Capacity of Cold-Formed Roof Trusses with Various Geometric Model Under Static Loads', *Jurnal Permukiman*, 2019.
- [11] B. Kuswanto, 'Perubahan Harga Tegangan Tarik Yield Material Baja Karbon Rendah Setelah Melalui Proses Pack Carburizing', 2010.
- [12] E. Arifi, H. Suseno, M. T. Hidayat, and H. E. Grahadika, 'Pengaruh Konfigurasi Rangka Dan Optimasi Profil Terhadap Kinerja Pada Struktur Jembatan Rangka Baja', *Rekayasa Sipil*, vol. 10, no. 3, pp. 187–193, 2016.
- [13] Y. D. Setiyarto, 'Studi Parametrik dan Eksperimental: Pengaruh Tata Letak Baut pada Sambungan Momen Sebidang untuk Struktur Baja Cold Formed', 2012.
- [14] N. G. Wariyatno, Y. haryanto, and G. H. Sudibyoy, 'The Effect of Lenght Development of Connection to The Strengh of Bamboo Reinforced Concrete Precast Beam', *Dinamika Rekayasa*, vol. 11, no. 1, pp. 38–42, 2015, doi: 10.20884/1.dr.2015.11.1.94.
- [15] A. Rizqi, B. Suswanto, and H. Al-Rasyid, 'Studi Numerik terhadap Kinerja serta Perilaku Elemen

- Reduced Bracing Section dan Stiffeners pada Concentrically Braced Frames*’, *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, vol. 19, no. 3, pp. 197–208, 2021.
- [16] F. J. Evangelistha Rienanda Ellen Kumaat and R. S. Windah, ‘Pengaruh *Bracing* Pada Bangunan Bertingkat Rangka Baja Yang Berdiri Di Atas Tanah Miring Terhadap Gempa’, *Jurnal Sipil Statik*, vol. 7, no. Juni, pp. 605–614, 2019.
- [17] Ilham, ‘Analisis Kinerja Bangunan Rangka Baja dengan Bresing Tahan Tekuk terhadap Beban Gempa’, *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 6, no. 2, pp. 98–110, 2020, doi: 10.26760/rekaracana.v6i2.98.
- [18] F. J. Evangelistha Rienanda Ellen Kumaat and R. S. Windah, ‘Pengaruh *Bracing* Pada Bangunan Bertingkat Rangka Baja Yang Berdiri di Atas Tanah Miring Terhadap Gempa’, *Jurnal Sipil Statik*, vol. 7, no. Juni, pp. 605–614, 2019.