

OPTIMASI KONFIGURASI BRESING KONSENTRIS DITINJAU DARI BIAYA KONSTRUKSI, KEMUDAHAN FABRIKASI, DAN METODE EREKSI STRUKTUR BAJA

FEBIANA MAULANI¹, JEPLY MURDIAMAN GUCI^{1*}, RIKO ZULHENDRA¹, SUCI PUTRI ELZA²

¹Teknik Sipil, Teknik, Universitas Andalas, Padang, Sumatera Barat

²Teknik Sipil, Teknik, Universitas Mercu Buana, Jakarta, DKI Jakarta

**Corresponding Author : jeplymurdiaman@eng.ac.id*

Naskah diterima : 20 Mei 2026. Disetujui : 2 Juni 2026. Diterbitkan : 30 Juni 2026

ABSTRAK

Pemilihan konfigurasi bresing konsentris pada struktur baja tidak hanya memengaruhi kinerja struktur, tetapi juga biaya konstruksi, kemudahan fabrikasi, dan metode ereksi. Penelitian ini merupakan pengembangan dari studi komparatif sistem bresing konsentris pada warehouse dengan konfigurasi X, Inverted V, K, dan Diagonal. Kajian difokuskan pada pekerjaan bresing saja, tanpa memasukkan elemen struktur lain seperti kolom, balok, rafter, gording, dan ikatan angin. Berat total bresing yang dianalisis adalah 2.917,18 kg untuk tipe X, 2.103,61 kg untuk Inverted V, 2.492,44 kg untuk K, dan 2.625,46 kg untuk Diagonal. Biaya dihitung menggunakan HSP Kota Padang Tahun Anggaran 2026 sebesar Rp60.618,43/kg. Hasil analisis menunjukkan bahwa Inverted V memiliki biaya terendah, yaitu Rp127.517.536 atau 27,89% lebih murah dibandingkan tipe X. Namun, berdasarkan batasan kinerja struktur, tipe X tetap menjadi konfigurasi paling layak secara teknis.

Kata kunci : bresing konsentris, biaya konstruksi, fabrikasi baja, ereksi baja, *warehouse*, optimasi.

1. PENDAHULUAN

Bangunan *warehouse* merupakan salah satu infrastruktur penting dalam sistem logistik, industri, dan distribusi barang. Karakteristik utama bangunan warehouse adalah kebutuhan ruang yang luas, bentang struktur relatif besar, serta tuntutan efisiensi material dan kecepatan pelaksanaan konstruksi. Kondisi tersebut menjadikan struktur baja sebagai salah satu pilihan utama karena memiliki rasio

kekuatan terhadap berat yang baik, fleksibilitas desain tinggi, serta memungkinkan proses fabrikasi dan ereksi dilakukan secara lebih cepat dibandingkan sistem struktur konvensional (Kavitha et al., 2023) .

Pada struktur baja *warehouse*, sistem penahan gaya lateral menjadi komponen penting yang harus diperhatikan, khususnya pada wilayah dengan tingkat kegempaan tinggi dan potensi beban angin yang signifikan (Zhao & Astaneh-Asl, 2003). Salah satu sistem yang banyak digunakan adalah sistem bresing konsentris atau Concentrically Braced Frame (CBF)(Souri & Mofid, 2023). Sistem ini bekerja dengan menyalurkan gaya lateral melalui elemen diagonal yang menerima gaya aksial tarik dan tekan. Dalam penerapannya, bresing konsentris dapat dibuat dalam beberapa konfigurasi, antara lain tipe X, Inverted V, K, dan Diagonal. Setiap konfigurasi memiliki karakteristik mekanisme kerja struktur, kebutuhan material, jumlah batang, jumlah titik sambungan, serta tingkat kesulitan fabrikasi dan pemasangan yang berbeda (Anunciação et al., 2021; Shameli et al., 2026; Ubaid & Khan, 2023; Vivek Kumar et al., 2025).

Penelitian sebelumnya oleh Putri Elza dan Murdianan Guci (Putri Elza & Murdianan Guci, 2025a) telah membandingkan kinerja struktur baja bresing konsentris pada bangunan *warehouse* dengan konfigurasi X, Inverted V, K, dan Diagonal. Kajian tersebut berfokus pada respons struktur, simpangan, rasio kapasitas-demand, serta stabilitas elemen bresing. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bresing tipe X memberikan kinerja struktur paling baik karena menghasilkan simpangan terkecil dan memenuhi kriteria kekuatan serta kelangsingan elemen. Sebaliknya, konfigurasi Inverted V, K, dan Diagonal menunjukkan kondisi kritis hingga tidak memenuhi persyaratan stabilitas pada elemen tertentu.

Meskipun kinerja struktur merupakan aspek utama dalam perencanaan, pemilihan konfigurasi bresing pada proyek konstruksi tidak hanya ditentukan oleh aspek kekuatan dan stabilitas. Dalam praktik pelaksanaan, konfigurasi bresing juga berpengaruh terhadap biaya konstruksi, kemudahan fabrikasi, metode ereksi, durasi pekerjaan, kebutuhan alat bantu, dan risiko rework di lapangan (Dyanati et al., 2017; Nguyen & Nguyen, 2025; Pradeep et al., 2022). Konfigurasi yang secara struktur paling baik belum tentu menjadi pilihan paling ekonomis, karena dapat membutuhkan berat baja lebih besar, jumlah sambungan lebih banyak, proses penyetalan lebih rumit, dan waktu pemasangan lebih lama. Sebaliknya, konfigurasi yang lebih ringan dan mudah dipasang perlu tetap dievaluasi terhadap batasan teknis agar tidak menurunkan keandalan struktur.

Berdasarkan hal tersebut, diperlukan kajian lanjutan yang tidak hanya membandingkan konfigurasi bresing dari sisi kinerja struktur, tetapi juga dari sisi biaya dan konstruktabilitas. Pada penelitian ini, perbandingan difokuskan hanya pada elemen bresing, sehingga komponen struktur lain seperti kolom, balok, rafter, gording, ikatan angin, dan elemen atap tidak dimasukkan dalam perhitungan biaya. Pendekatan ini dilakukan agar pengaruh konfigurasi bresing terhadap biaya pekerjaan, kemudahan fabrikasi, dan metode ereksi dapat dianalisis secara lebih spesifik.

Biaya pekerjaan bresing dihitung berdasarkan berat total masing-masing konfigurasi dan Harga Satuan Pekerjaan (HSP) Bidang Ke-PU-an dan SHSTBGN Tahun Anggaran 2026 Kota Padang (Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kota Padang, 2026). Karena seluruh konfigurasi menggunakan profil baja siku ganda yang sama, maka harga satuan dasar per kilogram digunakan sama untuk

seluruh tipe bresing. Namun, kesamaan HSP dasar tidak berarti bahwa tingkat kesulitan fabrikasi dan pemasangan setiap konfigurasi juga sama. Oleh karena itu, aspek kemudahan fabrikasi dan ereksi dianalisis secara terpisah melalui pendekatan penilaian multi-kriteria.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi dan membandingkan konfigurasi bresing konsentris tipe X, Inverted V, K, dan Diagonal ditinjau dari biaya konstruksi, kemudahan fabrikasi, dan metode ereksi struktur baja. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pertimbangan teknis dan ekonomis dalam pemilihan konfigurasi bresing pada bangunan warehouse, khususnya pada tahap perencanaan awal ketika keputusan desain harus mempertimbangkan keseimbangan antara keamanan struktur, efisiensi biaya, dan kemudahan pelaksanaan konstruksi.

2. METODA PENELITIAN

2.1 Parameter Struktur Bresing

Desain struktur bresing pada permodelan ini menggunakan desain berdasarkan penelitian dari Elza dan Guci tahun 2025 (Putri Elza & Murdianan Guci, 2025).

Objek penelitian adalah elemen bresing konsentris pada struktur baja warehouse satu tingkat. Sistem bresing yang dibandingkan terdiri atas empat konfigurasi, yaitu:

1. Bresing tipe X
2. Bresing tipe Inverted V
3. Bresing tipe K
4. Bresing tipe Diagonal

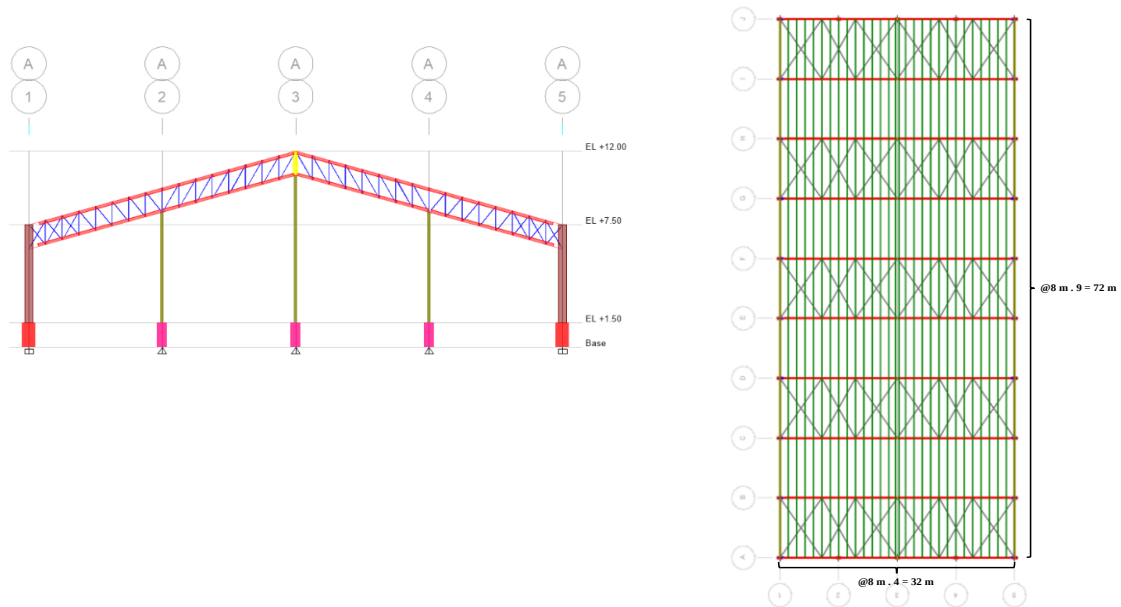
Seluruh konfigurasi menggunakan profil bresing yang sama, yaitu baja siku ganda 2L 70×70×7 mm. Dengan demikian, perbedaan biaya dan konstruktabilitas terutama dipengaruhi oleh berat bresing, pola konfigurasi, jumlah elemen, bentuk sambungan, kemudahan fabrikasi, dan metode ereksi.

Tabel 2.1 Tabel berat Material

No	Elemen Struktur	Berat Material per meter		Berat Material	
1	Konfigurasi Bresing Tipe X	14.59	Kg/m	2917.18	Kg
2	Konfigurasi Bresing Tipe Inverted V	14.59	Kg/m	2103.61	Kg
3	Konfigurasi Bresing Tipe K	14.59	Kg/m	2492.44	Kg
4	Konfigurasi Bresing Tipe Diagonal	14.59	Kg/m	2625.46	Kg

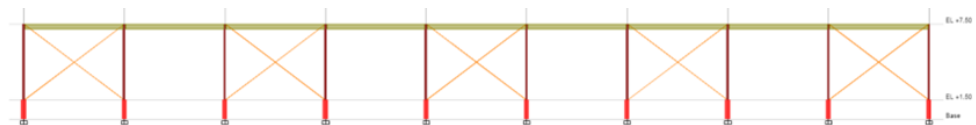
Berdasarkan Tabel 2.1, konfigurasi Inverted V memiliki berat paling rendah, sedangkan konfigurasi X memiliki berat paling tinggi. Karena seluruh konfigurasi menggunakan profil baja yang sama, maka perbedaan berat tersebut menjadi dasar utama dalam menghitung perbedaan biaya pekerjaan bresing.

Secara lengkap desain bangunan gudang seperti gambar di bawah ini:

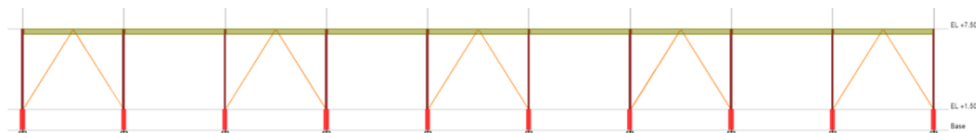


Gambar 1. Denah dan Tampak Struktur Melintang

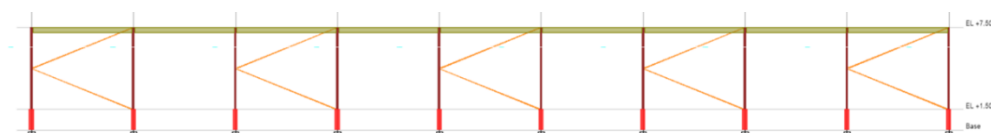
Berikut gambar konfigurasi bresing :



Gambar 2. Konfigurasi Bresing Tipe X dengan ukuran bresing 10.308 m



Gambar 3. Konfigurasi Bresing Tipe Inverted V dengan ukuran bresing 7.632 m



Gambar 4. Konfigurasi Bresing Tipe K dengan ukuran bresing 8.634 m

Gambar 5. Konfigurasi Bresing Tipe Diagonal dengan ukuran bresing 10.308 m

2.2 Perhitungan Volume dan Berat Baja Bresing

Volume dan berat total dari masing-masing tipe bresing dihitung berdasarkan:

$$Volume (m^3) = \frac{Berat (Kg)}{7850 kg/m^3} \quad (1)$$

$$Berat Total (Kg) = Panjang Bresing (m) \times Jumlah Bresing \times Berat per meter (Kg/m) \quad (2)$$

Dengan asumsi panjang bentang segmen adalah 8 meter, tinggi 6.5 meter dan jumlah segmen 9 buah, tiap bresing memiliki ukuran Panjang berdasarkan tipe konfigurasi masing – masing.

2.3 Metode Perhitungan Biaya

Analisis biaya didasarkan pada HSP Bidang Ke PU-AN dan SHSTBGN tahun 2026 (Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kota Padang, 2026). Kemudian dilakukan perhitungan AHSP masing – masing bresing baja. Komponen biaya utama meliputi harga satuan material baja dan harga pekerjaan pemasangan baja (tenaga kerja dan peralatan). Setelahnya, di hitung estimasi biaya masing-masing konfigurasi bresing. Kemudian hasil tersebut dibandingkan untuk menentukan konfigurasi bresing yang paling efisien secara biaya.

2.4 Metode Penilaian Kemudahan Fabrikasi dan Ereksi

Kemudahan fabrikasi dan ereksi dinilai menggunakan pendekatan multi-kriteria. Penilaian diberikan dalam skala 1 sampai 100, dengan nilai lebih tinggi menunjukkan konfigurasi yang lebih mudah dikerjakan.

Kriteria kemudahan fabrikasi meliputi:

1. Jumlah batang bresing.
2. Tingkat kesulitan pemotongan.
3. Kerumitan sudut potong.
4. Jumlah titik sambungan.
5. Potensi konflik geometri.
6. Kemudahan penyusunan *shop drawing*.
7. Kemudahan marking dan drilling.

Kriteria kemudahan ereksi meliputi:

1. Jumlah elemen yang harus diangkat.
2. Kemudahan penyetelan posisi.
3. Kebutuhan *temporary support*.
4. Kemudahan akses pemasangan baut atau las.
5. Kompleksitas urutan pemasangan.
6. Potensi *rework* akibat toleransi lapangan.

Bobot asumsi penelitian yang ditetapkan dengan pendekatan Multi-Criteria Decision Making (MCDM)/Analytical Hierarchy Process (AHP)(Zumrut et al., 2022). Bobot penilaian multi-kriteria ditetapkan sebagai berikut:

Tabel 2.2 Tabel Penilaian multi-kriteria

Parameter	Bobot
Biaya konstruksi	50%
Kemudahan fabrikasi	25%
Kemudahan ereksi	25%

Biaya konstruksi diberi bobot terbesar karena penelitian ini menempatkan efisiensi biaya sebagai aspek utama optimasi. Kemudahan fabrikasi dan ereksi masing-masing diberi bobot 25% karena keduanya berpengaruh terhadap produktivitas, durasi, dan risiko pelaksanaan di lapangan (Saaty, 1980).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Biaya Pekerjaan Bresing

Dengan menggunakan HSP sebesar Rp60.618,43/kg, biaya pekerjaan bresing untuk masing-masing konfigurasi dihitung seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Perhitungan Biaya Pekerjaan Bresing

Konfigurasi Bresing	Berat (kg)	Biaya/Kg	Total
X	2.917,18	60.618,43	176.834.872
Inverted V	2.103,61	60.618,43	127.517.536
K	2.492,44	60.618,43	151.087.800
Diagonal	2.625,46	60.618,43	159.151.263

Berdasarkan Tabel 3.1, konfigurasi X menghasilkan biaya pekerjaan bresing terbesar, yaitu Rp176.834.872. Hal ini disebabkan oleh berat total bresing tipe X yang paling besar dibandingkan konfigurasi lainnya. Konfigurasi Inverted V menghasilkan biaya paling rendah, yaitu Rp127.517.536, karena memiliki berat bresing paling kecil.

Konfigurasi K memiliki biaya sebesar Rp151.087.800, sedangkan konfigurasi Diagonal memiliki biaya sebesar Rp159.151.263. Dengan demikian, jika biaya hanya dihitung berdasarkan berat bresing dan HSP per kg, maka urutan konfigurasi dari paling ekonomis hingga paling mahal adalah:

1. Inverted V
2. K
3. Diagonal
4. X

3.2 Indeks Biaya terhadap Bresing Tipe X

Untuk melihat efisiensi biaya setiap konfigurasi, biaya masing-masing tipe dibandingkan terhadap bresing tipe X. Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Indeks Biaya dan Penghematan terhadap Bresing Tipe X

Konfigurasi Bresing	Biaya (Rp)	Index Biaya terhadap X (%)	Penghematan terhadap X (%)	Penghematan terhadap X (Rp)
X	176.834.872	100	0	0
Inverted V	127.517.536	72.11	27.89	49.317.336

K	151.087.800	85.44	14.56	25.747.072
Diagonal	159.151.263	90.00	10.00	17.683.608

Hasil analisis menunjukkan bahwa konfigurasi Inverted V memberikan potensi penghematan terbesar terhadap bresing tipe X, yaitu sebesar Rp49.317.336 atau 27,89%. Konfigurasi K memberikan penghematan sebesar Rp25.747.072 atau 14,56%, sedangkan konfigurasi Diagonal memberikan penghematan sebesar Rp17.683.608 atau 10,00%.

Secara biaya langsung, Inverted V merupakan konfigurasi paling efisien. Namun, biaya langsung tidak dapat dijadikan satu-satunya dasar pemilihan konfigurasi bresing karena konfigurasi yang lebih ringan belum tentu memenuhi kriteria kekuatan dan stabilitas. Oleh sebab itu, hasil biaya perlu dianalisis bersama dengan aspek fabrikasi, ereksi, dan kinerja struktur.

3.3 Analisis Kemudahan Fabrikasi

3.3.1 Bresing Tipe X

Bresing tipe X memiliki dua elemen diagonal yang saling menyilang pada satu panel. Konfigurasi ini membutuhkan ketelitian lebih tinggi dalam proses fabrikasi karena terdapat potensi konflik geometri pada titik persilangan. Proses pemotongan, pelubangan, dan penyetelan elemen harus dilakukan secara presisi agar kedua diagonal dapat dipasang dengan baik pada bidang yang sama (Lee, 2015).

Selain itu, jumlah batang bresing pada tipe X relatif lebih banyak dibandingkan konfigurasi Diagonal. Hal ini dapat meningkatkan waktu fabrikasi, jumlah marking, jumlah lubang baut, kebutuhan pelat sambung, serta proses pemeriksaan dimensi. Meskipun demikian, bresing X memiliki pola kerja yang simetris dan secara struktural mampu mendistribusikan gaya lateral dengan lebih baik (Li et al., 2003)

Dari sisi fabrikasi, bresing tipe X dapat dikategorikan memiliki tingkat kesulitan tinggi dibandingkan konfigurasi lainnya.

3.3.2 Bresing Tipe Inverted V

Bresing Inverted V memiliki dua batang diagonal yang bertemu pada satu titik di bagian atas atau pada elemen balok. Konfigurasi ini relatif lebih mudah difabrikasi dibandingkan tipe X karena tidak terdapat persilangan batang di tengah panel. Bentuknya juga relatif simetris, sehingga memudahkan proses pengulangan dimensi pada beberapa panel bresing (Hashemi Rezvani et al., 2019; Yeom & Yoo, 2018).

Namun, titik pertemuan kedua batang pada balok membutuhkan detail sambungan yang baik. Pelat pada titik puncak harus mampu menerima dan menyalurkan gaya dari kedua batang bresing. Jika detail sambungan tidak dirancang dengan baik, dapat terjadi konsentrasi gaya pada balok atau titik sambungan.

Dari sisi fabrikasi, Inverted V memiliki tingkat kesulitan sedang dan lebih mudah dibandingkan tipe X.

3.3.3 Bresing Tipe K

Bresing tipe K memiliki batang diagonal yang bertemu pada kolom di sekitar tengah tinggi kolom. Konfigurasi ini menimbulkan tantangan fabrikasi karena titik sambungan tidak hanya berada pada joint balok-kolom, tetapi juga pada badan kolom. Hal ini dapat meningkatkan kompleksitas detail pelat, drilling, dan penyetelan sambungan

Selain itu, titik sambungan di tengah kolom memerlukan kontrol dimensi yang lebih teliti agar tidak menimbulkan eksentrisitas atau ketidaksesuaian posisi saat ereksi. Meskipun berat bresing K lebih rendah dibandingkan tipe X dan Diagonal, konfigurasi ini tidak otomatis lebih mudah dikerjakan karena detail sambungannya lebih rumit.

Dari sisi fabrikasi, bresing tipe K memiliki tingkat kesulitan sedang hingga tinggi.

3.3.4 Bresing Tipe Diagonal

Bresing Diagonal merupakan konfigurasi paling sederhana dari sisi geometri. Elemen bresing hanya membentuk satu diagonal pada setiap panel, sehingga proses pemotongan, pelubangan, marking, dan penyetelan relatif lebih mudah. Tidak terdapat titik persilangan batang seperti pada tipe X, dan tidak terdapat titik pertemuan dua batang pada balok seperti pada Inverted V (Nguyen & Nguyen, 2025).

Konfigurasi Diagonal juga lebih mudah dikelompokkan dalam proses fabrikasi karena pola batangnya sederhana dan berulang. Risiko kesalahan fabrikasi relatif lebih rendah dibandingkan konfigurasi lain. Namun, dari sisi struktur, konfigurasi ini dapat menghasilkan distribusi gaya yang kurang seimbang dan berpotensi meningkatkan risiko tekuk pada elemen tekan.

Dari sisi fabrikasi, bresing Diagonal merupakan konfigurasi paling mudah.

3.4 Analisis Metode Ereksi

3.4.1 Ereksi Bresing Tipe X

Metode ereksi bresing tipe X relatif lebih kompleks karena terdapat dua batang diagonal yang harus dipasang dalam satu panel. Pemasangan diagonal pertama perlu memperhatikan posisi diagonal kedua agar tidak terjadi konflik ruang. Pada beberapa kondisi, pemasangan dapat memerlukan penyangga sementara atau penyesuaian posisi agar kedua batang dapat bertemu pada titik sambungan dengan baik.

Waktu pemasangan bresing X cenderung lebih lama karena jumlah elemen lebih banyak dan penyetelan sambungan lebih teliti. Namun, setelah kedua diagonal terpasang, panel struktur memperoleh kekakuan lateral yang baik dan stabilitas bidang rangka meningkat.

3.4.2 Ereksi Bresing Tipe Inverted V

Ereksi bresing Inverted V relatif lebih mudah dibandingkan tipe X. Dua batang diagonal dipasang dari titik bawah menuju titik puncak pada balok. Karena tidak terdapat persilangan batang, proses penyetelan di lapangan lebih sederhana.

Kendala utama terdapat pada titik puncak sambungan. Jika posisi pelat atau balok tidak presisi, maka pemasangan kedua batang dapat mengalami kesulitan. Oleh karena itu, kontrol dimensi pada fabrikasi dan ereksi sangat penting untuk menghindari rework.

Secara umum, bresing Inverted V memiliki metode ereksi yang cukup efisien dan lebih mudah dibandingkan tipe X dan K.

3.4.3 Ereksi Bresing Tipe K

Ereksi bresing tipe K relatif lebih sulit karena adanya titik sambungan pada kolom di tengah tinggi elemen. Posisi sambungan tersebut dapat menyulitkan akses pekerja, terutama pada saat pemasangan baut, penyetelan posisi batang, dan pengecekan alignment. Pemasangan juga dapat membutuhkan platform kerja tambahan.

Selain itu, sambungan pada badan kolom harus dipasang dengan hati-hati agar tidak menimbulkan masalah eksentrisitas dan deformasi lokal. Dari sisi metode ereksi, konfigurasi K tidak terlalu menguntungkan meskipun biaya materialnya lebih rendah dibandingkan tipe X.

3.4.4 Ereksi Bresing Tipe Diagonal

Bresing Diagonal memiliki metode ereksi paling sederhana. Batang bresing dapat dipasang langsung dari satu titik ke titik lainnya tanpa adanya persilangan batang atau titik pertemuan khusus di tengah panel. Proses pengangkatan, penyetelan, dan pemasangan dapat dilakukan lebih cepat.

Konfigurasi ini juga memiliki risiko konflik lapangan yang lebih rendah. Oleh karena itu, dari aspek ereksi, bresing Diagonal merupakan konfigurasi paling mudah. Namun, keunggulan ini tetap harus dikontrol terhadap hasil analisis struktur karena kemudahan pemasangan tidak selalu identik dengan keamanan struktur.

3.5 Penilaian Multi-Kriteria

Penilaian multi-kriteria dilakukan dengan mempertimbangkan biaya konstruksi, kemudahan fabrikasi, dan kemudahan ereksi. Skor biaya dihitung berdasarkan normalisasi terhadap konfigurasi dengan biaya terendah, yaitu Inverted V. Sementara itu, skor fabrikasi dan ereksi diberikan berdasarkan tingkat kompleksitas konfigurasi.

Tabel 3.3. Penilaian Multi-Kriteria Konfigurasi Bresing

Konfigurasi	Skor Biaya	Skor Fabrikasi	Skor Ereksi	Nilai Akhir
X	72,11	70	65	69,81
Inverted V	100,00	85	85	92,50
K	84,40	75	70	78,45
Diagonal	80,12	95	95	87,56

Berdasarkan Tabel 3.3, konfigurasi Inverted V memperoleh nilai akhir tertinggi, yaitu 92,50. Hal ini disebabkan oleh biaya paling rendah serta tingkat kemudahan fabrikasi dan ereksi yang relatif baik. Konfigurasi Diagonal berada pada peringkat kedua dengan nilai akhir 87,56 karena sangat unggul dari sisi fabrikasi dan ereksi, meskipun biayanya lebih tinggi dibandingkan Inverted V dan K.

Konfigurasi K memperoleh nilai akhir 78,45. Meskipun biaya K lebih rendah dibandingkan Diagonal dan X, kompleksitas sambungan pada kolom menyebabkan nilai fabrikasi dan ereksinya lebih rendah. Konfigurasi X memperoleh nilai akhir 69,81 karena memiliki biaya paling tinggi serta tingkat kesulitan fabrikasi dan ereksi paling besar.

Jika hanya ditinjau dari biaya konstruksi, kemudahan fabrikasi, dan metode ereksi, maka konfigurasi Inverted V merupakan alternatif paling optimum. Namun, hasil ini belum mempertimbangkan batasan kinerja struktur. Berdasarkan penelitian sebelumnya, konfigurasi X merupakan satu-satunya konfigurasi yang memenuhi kriteria kekuatan dan stabilitas secara lebih baik. Oleh karena itu, perlu dibedakan antara konfigurasi optimum secara ekonomi dan konfigurasi optimum secara teknis.

3.6 Integrasi dengan Kinerja Struktur

Optimasi konfigurasi bresing tidak dapat hanya didasarkan pada biaya terendah. Dalam struktur baja, elemen bresing merupakan bagian dari sistem penahan gaya lateral, sehingga aspek kekuatan, stabilitas, dan daktilitas tetap harus menjadi batasan utama. Konfigurasi yang murah tetapi tidak memenuhi kapasitas struktur tidak dapat langsung direkomendasikan untuk digunakan.

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa bresing tipe X menghasilkan simpangan terkecil dan memenuhi kriteria rasio kapasitas-demand serta kelangsingan elemen. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun tipe X memiliki biaya paling tinggi, konfigurasi ini memberikan kinerja struktur paling stabil dan aman.

Sebaliknya, Inverted V memiliki biaya paling rendah, tetapi hasil struktur sebelumnya menunjukkan adanya kondisi kritis pada elemen bresing. Oleh karena itu, Inverted V dapat dipertimbangkan sebagai konfigurasi optimum secara biaya, tetapi perlu dilakukan redesain elemen bresing, perbaikan detail sambungan, atau peningkatan profil agar memenuhi persyaratan kekuatan dan stabilitas.

Konfigurasi Diagonal unggul dari sisi fabrikasi dan ereksi, tetapi memiliki kelemahan dari sisi stabilitas elemen tekan. Konfigurasi K juga tidak direkomendasikan sebagai pilihan utama karena memiliki kompleksitas sambungan pada kolom dan hasil kinerja struktur yang kurang baik.

Dengan demikian, hasil optimasi dapat dirangkum sebagai berikut:

1. Optimum Berdasarkan Biaya Langsung: Inverted V.
2. Optimum Berdasarkan Kemudahan Fabrikasi Dan Ereksi: Diagonal.
3. Optimum Berdasarkan Kelayakan Teknis Tanpa Redesain: X.
4. Alternatif Optimum Jika Dilakukan Redesain: Inverted V.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis optimasi konfigurasi bresing konsentris ditinjau dari biaya konstruksi, kemudahan fabrikasi, dan metode ereksi struktur baja, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

Pertama, perhitungan biaya pekerjaan bresing menggunakan HSP pekerjaan baja profil siku dengan pengelasan secara semimekanis sebesar Rp60.618,43/kg menunjukkan bahwa biaya bresing tipe X adalah Rp176.834.872, Inverted V sebesar Rp127.517.536, K sebesar Rp151.087.800, dan Diagonal sebesar Rp159.151.263.

Kedua, konfigurasi Inverted V merupakan konfigurasi paling ekonomis dari sisi biaya langsung karena memiliki berat bresing paling rendah, yaitu 2.103,61 kg. Dibandingkan dengan tipe X, konfigurasi Inverted V memberikan penghematan sebesar Rp49.317.336 atau 27,89%.

Ketiga, konfigurasi Diagonal merupakan konfigurasi paling mudah dari sisi fabrikasi dan ereksi karena memiliki bentuk geometri paling sederhana, jumlah konflik sambungan paling sedikit, dan urutan pemasangan yang relatif lebih mudah. Namun, konfigurasi ini tidak menjadi pilihan paling ekonomis karena beratnya lebih besar dibandingkan Inverted V dan K.

Keempat, konfigurasi X memiliki biaya paling tinggi dan metode fabrikasi serta ereksi yang lebih kompleks. Akan tetapi, berdasarkan hasil penelitian struktur sebelumnya, konfigurasi X merupakan konfigurasi yang paling memenuhi aspek kekuatan dan stabilitas. Oleh karena itu, tipe X tetap menjadi pilihan paling layak diterapkan apabila tidak dilakukan redesain elemen bresing.

Kelima, hasil penilaian multi-kriteria menunjukkan bahwa Inverted V memperoleh nilai tertinggi dari aspek biaya, fabrikasi, dan ereksi. Namun, apabila aspek kinerja struktur dijadikan sebagai syarat wajib, maka tipe X menjadi konfigurasi optimum secara teknis. Dengan demikian, Inverted V dapat direkomendasikan sebagai alternatif ekonomis hanya apabila dilakukan redesain profil dan sambungan agar memenuhi kriteria kekuatan dan stabilitas.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Anunciação, N. C., Souza, L. G. Q., Pereira, A. A., Ribeiro, C. B., & Barboza, M. D. S. (2021). Comparative analysis of bracing systems in a steel structure shed. *World Congress in Computational Mechanics and Ecomas Congress*, 900. <https://doi.org/10.23967/wccm-eccomas.2020.085>
- Dyanati, M., Huang, Q., & Roke, D. (2017). Cost-benefit evaluation of self-centring concentrically braced frames considering uncertainties. *Structure and Infrastructure Engineering*, 13(5), 537–553. <https://doi.org/10.1080/15732479.2016.1173070>
- Hashemi Rezvani, F., Taghizadeh, M. A. M., & Reza Ronagh, H. (2019). Estimating the cross-sectional area of inverted-V braces required for mitigating the progressive collapse of Steel Intermediate Moment Resisting Frames. *Structure and Infrastructure Engineering*, 15(8), 1075–1086. <https://doi.org/10.1080/15732479.2019.1602148>
- Kavitha, R., Logeshwaran, S., Sabarinathan, S., & Vijai Anand, V. (2023). Structural analysis and design for a warehouse using STAAD PRO. *Materials Today Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.479>
- Krumpfen III, R. P., & Carrato, P. J. (2009). Comparative study of bolted versus welded SCBF connections. *Proceedings of the 2009 Structures Congress Don T Mess with*

- Structural Engineers Expanding Our Role*, 1357–1363. [https://doi.org/10.1061/41031\(341\)148](https://doi.org/10.1061/41031(341)148)
- Lee, K. S. (2015). An experimental study on non-compression X-bracing systems using carbon fiber composite cable for seismic strengthening of RC buildings. *Polymers*, 7(9), 1716–1731. <https://doi.org/10.3390/polym7091480>
- Li, L., Dawe, J. L., & Dukuze, A. (2003). Knife-plate connections for tubular bracing. *Proceedings Annual Conference Canadian Society for Civil Engineering, 2003*, 1378–1387.
- Nguyen, H.-P., & Nguyen, P.-C. (2025). The Impact of Different Bracing Ratios on the Structural Performance of Planar Steel Frames. *Engineering Technology and Applied Science Research*, 15(3), 22388–22393. <https://doi.org/10.48084/etasr.8928>
- Pradeep, A., Thampi, A. R., Shrikant, Susan Sam, H., & Joseph, L. (2022). Stability analysis of high-rise building and optimization of bracing configuration. *Materials Today Proceedings*, 65, 1990–1995. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.324>
- Putri Elza, S., & Murdianan Guci, J. (2025a). STUDI KOMPARATIF SISTEM BAJA BRESING KOSENTRIS PADA WAREHOUSE DENGAN KONFIGURASI X, V, K, DAN DIAGONAL. *Analisis Sipil Aktual*, 1(4).
- Putri Elza, S., & Murdianan Guci, J. (2025b). STUDI KOMPARATIF SISTEM BAJA BRESING KOSENTRIS PADA WAREHOUSE DENGAN KONFIGURASI X, V, K, DAN DIAGONAL. *Analisis Sipil Aktual*, 1(4).
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill.
- Shameli, R., Babu, T. L., & Vasugi, V. (2026). Comparative Study on Behaviour of Steel Building Frame with X, K, and V Bracing. In *Lecture Notes in Civil Engineering: 749 LNCE*. https://doi.org/10.1007/978-981-95-2014-5_23
- Souri, O., & Mofid, M. (2023). Seismic evaluation of concentrically braced steel frames equipped with yielding elements and BRBs. *Results in Engineering*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100853>
- Ubaid, M., & Khan, R. A. (2023). Effect of bracing configuration on the seismic response of buildings with re-entrant corners. *Innovative Infrastructure Solutions*, 8(1). <https://doi.org/10.1007/s41062-022-01029-x>
- Vivek Kumar, C., Swetha, R. R., Manoj, T., & Preetham, K. (2025). Seismic response assessment of steel frame building with cross braced systems in different locations of multi-storey building. *Procedia Structural Integrity*, 70, 97–104. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2025.07.031>
- Yang, T. Y., Sheikh, H., & Tobber, L. (2019). Influence of the brace configurations on the seismic performance of steel concentrically braced frames. *Frontiers in Built Environment*, 5. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2019.00027>
- Yeom, H.-J., & Yoo, J.-H. (2018). Analytical Investigation on Seismic Behavior of Inverted V-braced Frames. *International Journal of Steel Structures*, 18(1), 189–198. <https://doi.org/10.1007/s13296-018-0315-4>

- Zhao, Q., & Astanteh-Asl, A. (2003). Cyclic behavior of composite shear wall systems. *Proceedings Annual Technical Session Structural Stability Research Council*, 639–658.
- Zumrut, I. B., Baran, H. B., & Ozbalta, T. G. (2022). Multi-Criteria Decision-Making Approach for Selecting a Structural System of an Industrial Facility. *Organization, Technology and Management in Construction: An International Journal*, 14(1), 2656–2665. <https://doi.org/10.2478/otmcj-2022-0010>