

PENGARUH RASIO B/t KOLOM *CONCRETE FILLED STEEL TUBULAR* PADA BANGUNAN GEDUNG TAHAN GEMPA

Vanda Marini Putri¹, Wahiddin²

Mahasiswa Program Studi DIV Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang²

Email: vandamarinip@gmail.com¹, wahiddin@polinema.ac.id²

ABSTRAK

Indonesia yang berada dalam zona Cincin Api Pasifik memerlukan sistem struktur bangunan yang mampu menahan beban gempa secara efisien dan berkelanjutan. Kolom *Concrete Filled Steel Tubular* (CFST) menawarkan alternatif inovatif dengan mengeliminasi kebutuhan bekisting konvensional, sehingga berkontribusi dalam mengurangi limbah konstruksi dan penggunaan material sementara. Sejumlah studi sebelumnya menunjukkan bahwa CFST memiliki kekuatan aksial dan kekakuan lateral yang lebih tinggi dibandingkan kolom beton bertulang konvensional (RCC), menjadikannya kandidat unggul untuk struktur tahan gempa. Penelitian ini menganalisis pengaruh rasio lebar terhadap ketebalan baja (B/t) terhadap kinerja seismik kolom CFST pada struktur delapan lantai, melalui pemodelan numerik menggunakan analisis respons spektrum. Empat variasi rasio B/t dengan ataupun tanpa tulangan dievaluasi untuk mengkaji simpangan lateral, *story drift*, kekakuan, dan rasio kapasitas desain. Hasil menunjukkan bahwa semakin kecil rasio B/t, kekakuan lateral meningkat dan simpangan maksimum berkurang. Kolom dengan B/t terkecil menunjukkan simpangan 2% lebih rendah dibandingkan variasi dengan tulangan tambahan, menegaskan dominasi kontribusi baja terhadap kekakuan sistem. Rasio kapasitas desain juga menurun seiring penurunan B/t, mengindikasikan peningkatan margin keamanan struktur. Dari aspek biaya, kolom CFST B/t 58,33 memiliki nilai satuan Rp20,4–Rp21,1 juta/m³, dengan total estimasi biaya Rp9,88 miliar untuk seluruh kolom bangunan. Temuan ini menegaskan bahwa kolom CFST tidak hanya memberikan performa struktural yang baik, tetapi juga mendukung prinsip konstruksi berkelanjutan melalui pengurangan limbah dan optimalisasi elemen struktural.

Kata kunci : CFST; rasio B/t; *story drift*; kekakuan lateral; respons spektrum; keberlanjutan; biaya konstruksi.

ABSTRACT

Indonesia, located within the Pacific Ring of Fire, requires building structural systems capable of withstanding seismic loads efficiently and sustainably. Concrete-Filled Steel Tubular (CFST) columns offer an innovative alternative by eliminating the need for conventional formwork, thereby contributing to reduced construction waste and temporary material usage. Previous studies have shown that CFST columns exhibit higher axial strength and lateral stiffness compared to conventional reinforced concrete (RCC) columns, making them strong candidates for seismic-resistant structures. This study analyzes the effect of the width-to-thickness ratio (B/t) of steel tubes on the seismic performance of CFST columns in an eight-story building structure, through numerical modeling using response spectrum analysis. Four B/t ratio variations, both with and without internal reinforcement, are evaluated to assess lateral displacement, story drift, stiffness, and design capacity ratio. The results indicate that a smaller B/t ratio leads to increased lateral stiffness and reduced maximum displacement. The column with the smallest B/t ratio exhibited 2% lower displacement than the variant with additional reinforcement, emphasizing the dominant role of steel in contributing to system stiffness. Additionally, the design capacity ratio decreased as the B/t ratio decreased, indicating an increased safety margin in structural performance. From a cost perspective, the CFST column with a B/t ratio of 58.33 had a unit cost ranging from IDR 20.4 to 21.1 million per m³, with a total estimated cost of IDR 9.88 billion for all building columns. These findings confirm that CFST columns not only provide favorable structural performance but also support sustainable construction principles through waste reduction and structural element optimization.

Keywords : CFST; B/t ratio; story drift; lateral stiffness; response spectrum; sustainability; construction cost.

1. PENDAHULUAN

Permintaan akan sistem struktur bangunan yang efisien, kuat, dan ramah lingkungan semakin meningkat seiring dengan kompleksitas kebutuhan konstruksi modern. Salah satu aspek yang mendapat perhatian khusus adalah efisiensi dalam elemen kolom struktur gedung, yang tidak hanya harus mampu menahan beban vertikal dan lateral secara andal, tetapi juga perlu mendukung prinsip keberlanjutan. Pada praktik umum di lapangan, penggunaan bekisting konvensional dalam pekerjaan kolom sering kali menghasilkan limbah material yang berdampak terhadap lingkungan.

Sebagai solusi inovatif, *Concrete Filled Steel Tubular* (CFST) menawarkan sistem struktur komposit yang menggabungkan kekuatan tekan beton dan kekuatan tarik baja dalam satu elemen integral. Keunggulan utama CFST terletak pada kemampuannya untuk mengeliminasi kebutuhan bekisting, serta potensi dalam mengurangi limbah konstruksi. Selain itu, struktur CFST memiliki ketahanan beban aksial dan kekakuan lateral yang tinggi, menjadikannya kandidat ideal untuk bangunan di wilayah rawan gempa seperti Indonesia, yang secara geografis berada pada zona Cincin Api Pasifik.

Namun, untuk memastikan kinerja optimal dari kolom CFST dalam struktur tahan gempa, diperlukan pemahaman terhadap parameter desain yang memengaruhi perilaku dinamis sistem. Salah satu parameter krusial adalah rasio antara lebar (B) dan ketebalan dinding baja (t) atau rasio B/t, yang terbukti memiliki pengaruh signifikan terhadap deformasi lateral, redistribusi energi, dan kapasitas beban struktur. Penelitian [1] menunjukkan bahwa rasio B/t, bersama dengan mutu material dan tingkat beban aksial, sangat memengaruhi kapasitas penyerapan energi serta stabilitas sistem struktur komposit CFST ber dinding tipis saat mengalami gaya gempa.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini secara khusus akan mengevaluasi pengaruh variasi rasio B/t pada kolom CFST terhadap kinerja struktur gedung tahan gempa, dengan memfokuskan analisis pada simpangan lateral, kekakuan antar lantai (*story stiffness*), dan rasio kapasitas desain. Selain analisis teknis, studi ini juga mencakup perhitungan estimasi biaya pembangunan kolom CFST berdasarkan volume material dan harga satuan pekerjaan, untuk menilai kelayakan ekonominya.

2. METODE

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh rasio lebar terhadap ketebalan baja (B/t) pada *kolom Concrete-Filled Steel Tubular* (CFST) terhadap kinerja struktur bangunan tahan gempa bertingkat delapan. Struktur dimodelkan sebagai gedung 3D dengan sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sesuai SNI 1726:2019[2]. Bangunan diasumsikan berdiri di atas tanah kategori sedang dan berlokasi di wilayah rawan gempa tinggi, seperti Provinsi Maluku, yang tercatat memiliki frekuensi gempa tertinggi di Indonesia [3].



Gambar 1. Denah gedung yang akan dianalisis

Sumber: Hasil pemodelan dengan ETABS

Model bangunan memiliki lima bentang arah X sepanjang 6000 mm dan enam bentang arah Y sepanjang 4000 mm. Tinggi lantai pertama adalah 4500 mm dan lantai berikutnya hingga atap masing-masing 4000 mm. Elemen struktur terdiri dari balok B1 (500 × 750 mm), balok B2 (450 × 700 mm), pelat lantai (tebal 150 mm), dan kolom persegi berukuran 700 × 700 mm. Penelitian ini memfokuskan pada variasi tebal baja hollow pada kolom, yang kemudian dinyatakan sebagai rasio B/t.

Material yang digunakan mencakup mutu beton $f'c$ 30 MPa, baja hollow ASTM A53 Grade B dengan f_y 240 MPa, dan tulangan BJTS 280 dan BJTS 420B masing-masing dengan f_y 280 MPa dan 420 MPa.

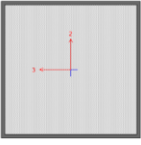

Variabel utama dalam penelitian ini adalah rasio B/t pada kolom CFST. Semua kolom memiliki ukuran luar tetap, sedangkan tebal baja hollow divariasikan untuk menghasilkan rasio B/t yang berbeda. Setiap variasi dimodelkan dalam ETABS dan dianalisis menggunakan metode respons spektrum sesuai SNI 1726:2019 [2].

Parameter yang dievaluasi meliputi simpangan lateral maksimum, *story drift*, dan kekakuan antar lantai. Selain itu,

rasio kapasitas desain atau *Demand-to-Capacity (D/C) ratio* dihitung untuk mengukur efisiensi struktur terhadap beban lateral gempa [4]. Rasio D/C menggambarkan seberapa besar gaya dalam yang terjadi dibandingkan kapasitas maksimum elemen struktur.

Analisis juga mencakup estimasi biaya pembangunan kolom berdasarkan volume material dan harga satuan pekerjaan, untuk mengevaluasi hubungan antara kinerja struktural dan aspek ekonomis dalam pemilihan desain kolom yang efisien dan berkelanjutan.

Tabel 1. Variasi elemen kolom CFST yang akan dianalisis

No	Gambar Penampang Kolom	Dimensi Kolom b x h (mm)	Tebal Baja Hollow (mm)	B/t	Rasio profil
A1-1		700 x 700	12	58,333	6,74%
A1-2			16	43,750	8,93%
A1-3			19	36,842	10,56%
A1-4			22	31,818	12,18%
A2-1		700 x 700	12	58,333	6,74%
A2-2			16	43,750	8,93%
A2-3			19	36,842	10,56%
A2-4			22	31,818	12,18%

Sumber: Hasil Analisis

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

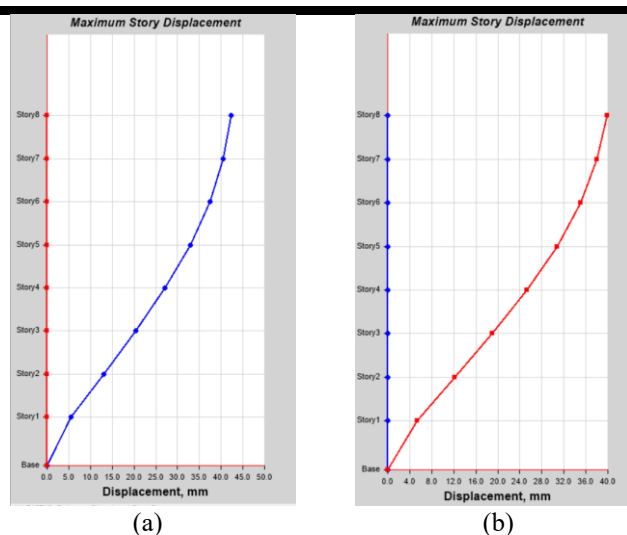
Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh rasio *breadth-to-thickness (B/t)* pada kolom *Concrete-Filled Steel Tubular (CFST)* terhadap respons seismik struktur gedung bertingkat. Terdapat empat tujuan utama dalam penelitian ini, yaitu menganalisis simpangan lateral dan *story drift*, mengevaluasi kekakuan antar tingkat (*story stiffness*), menilai nilai rasio desain (R_{max}), serta menyusun estimasi biaya pekerjaan struktur kolom CFST berdasarkan hasil analisis.

Model struktur berupa gedung 8 lantai dengan konfigurasi balok dan kolom 3D dianalisis menggunakan perangkat lunak pemodelan struktur berbasis elemen hingga. Kolom CFST dimodelkan dengan variasi rasio B/t, yaitu 58,33; 46,67; 38,89; dan 31,82, baik dalam kondisi tanpa tulangan maupun dengan tulangan longitudinal. Analisis dilakukan berdasarkan kombinasi beban gempa sesuai dengan SNI 1726:2019 dan parameter struktural utama yang dianalisis mencakup simpangan lateral maksimum, *story*

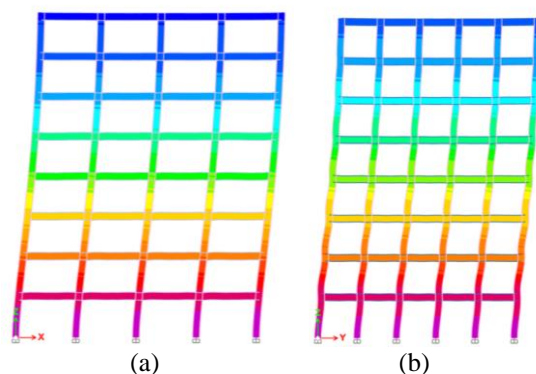
drift, *story stiffness*, serta Rasio desain maksimum. Data hasil analisis dikumpulkan dan diolah lebih lanjut untuk evaluasi dan perbandingan antar variasi.

Simpangan Lateral dan *Story Drift*

Hasil analisis menunjukkan bahwa penurunan rasio B/t secara konsisten menyebabkan berkurangnya simpangan lateral maksimum struktur. Pada kolom tanpa tulangan, simpangan lateral pada B/t = 31,82 adalah 24,05 mm, sedangkan pada B/t = 58,33 mencapai 26,67 mm. Ini berarti terdapat penurunan simpangan sebesar 9,8%. Efek serupa juga terjadi pada kolom bertulangan dengan pengurangan simpangan dari 26,12 mm menjadi 24,11 mm (7,7%). Perbedaan nilai simpangan antara kolom bertulangan dan tidak bertulangan rata-rata hanya sekitar 2%, yang menunjukkan bahwa keberadaan tulangan longitudinal tidak berkontribusi signifikan dalam mengendalikan deformasi lateral.



Gambar 2. Displacement Gedung Tipe A1-1: (a) arah X, (b) arah Y
 Sumber: Program Analisis Struktur

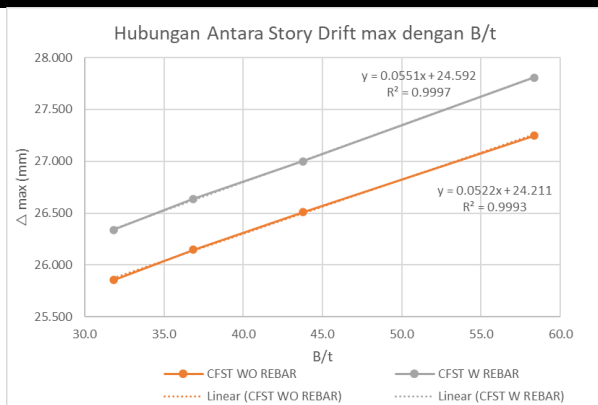


Gambar 3. Kontur Displacement Gedung Tipe A1-1: (a) arah X, (b) arah Y
 Sumber: Program Analisis Struktur

Tabel 2. Story Drift Maksimum pada Setiap Tipe Gedung

Type	Story Drift, Δ max (mm)							
	A1-1	A1-2	A1-3	A1-4	A2-1	A2-2	A2-3	A2-4
Tebal Baja Hollow, mm	12	16	19	22	12	16	19	22
B/t	58,33	43,75	36,84	31,82	58,33	43,75	36,84	31,82
Roof	6,717	6,604	6,585	6,582	6,860	6,721	6,688	6,684
7	11,521	11,308	11,198	11,121	11,730	11,510	11,400	11,315
6	16,555	16,225	16,056	15,928	16,848	16,518	16,342	16,207
5	21,025	20,614	20,390	20,225	21,395	20,973	20,757	20,581
4	24,684	24,178	23,903	23,690	25,113	24,603	24,328	24,105
3	27,148	26,510	26,147	25,854	27,643	26,998	26,638	26,338
2	27,247	26,345	25,810	25,370	27,808	26,910	26,382	25,927
1	20,460	19,235	18,517	17,912	21,061	19,822	19,092	18,476
Max	27,247	26,510	26,147	25,854	27,808	26,998	26,638	26,338

Sumber: Hasil Analisis

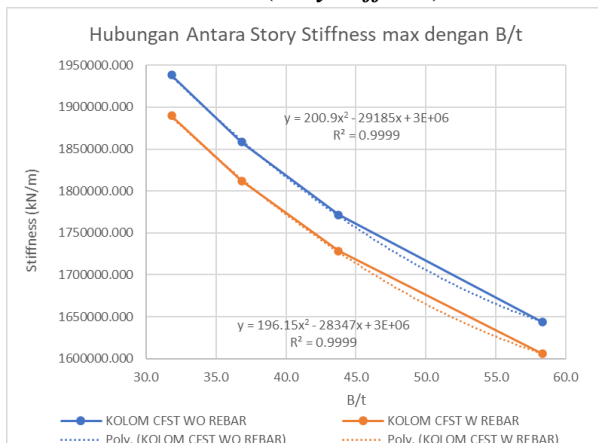


Gambar 4. Hubungan Antara *Story Drift* Maksimum dengan B/t

Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan hasil analisis, rasio B/t terbukti berpengaruh signifikan terhadap nilai *story drift* maksimum pada kolom CFST. Semakin kecil B/t (baja hollow lebih tebal), maka *story drift* maksimum cenderung menurun. Pada model tanpa tulangan (A1), nilai *story drift* turun dari 27,25 mm (B/t 58,33) menjadi 25,85 mm (B/t 31,82), sedangkan pada model bertulangan (A2), dari 27,81 mm menjadi 26,34 mm. Perbandingan A1 dan A2 menunjukkan bahwa penambahan tulangan tidak mengurangi *story drift*; justru terjadi peningkatan sekitar 1,7%–2,1%. Hal ini mengindikasikan bahwa ketebalan baja hollow lebih berperan dalam mengendalikan deformasi antar lantai dibandingkan keberadaan tulangan longitudinal.

Kekakuan Antar Lantai (*Story Stiffness*)



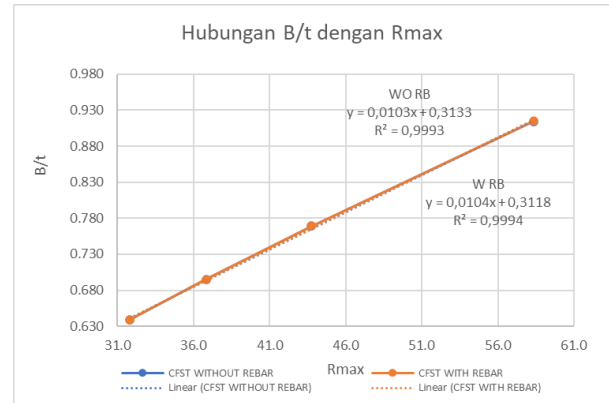
Gambar 5. Hubungan Antara *Story Stiffness* dengan B/t

Sumber: Dokumen Pribadi

Penurunan rasio B/t terbukti meningkatkan kekakuan lateral (*story stiffness*) pada kolom CFST. Nilai kekakuan meningkat dari 1.643.761 kN/m (B/t = 58,33) menjadi 1.938.447 kN/m (B/t = 31,82) pada model tanpa tulangan (A1), dan dari 1.605.857 kN/m menjadi 1.889.667 kN/m pada model dengan tulangan (A2), menunjukkan

peningkatan sekitar 17–18%. Secara konsisten, model A1 memiliki kekakuan 2,04%–2,49% lebih tinggi dibandingkan A2 pada setiap rasio B/t. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan baja hollow lebih berpengaruh terhadap kekakuan lateral dibandingkan penambahan tulangan longitudinal. Temuan ini menegaskan pentingnya pemilihan ketebalan baja dalam desain kolom CFST untuk struktur tahan gempa.

Rasio Desain



Gambar 6. Hubungan B/t terhadap Rmax

Sumber: Dokumen Pribadi

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai rasio desain (Rmax) menurun seiring penurunan rasio B/t. Rmax turun dari 0,914 (B/t = 58,33) menjadi 0,639 (B/t = 31,82), mencerminkan peningkatan kapasitas struktur terhadap beban lateral. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tebal baja hollow (semakin kecil B/t), semakin aman elemen kolom CFST dalam batas desainnya. Perbandingan antara model bertulangan dan tidak bertulangan menunjukkan perbedaan Rmax yang sangat kecil (<1%), dengan grafik yang hampir identik. Artinya, penambahan tulangan tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap efisiensi desain kolom CFST dalam konteks ini.

Estimasi Biaya Kolom CFST

Analisis harga satuan pekerjaan (AHSP) dilakukan berdasarkan volume material aktual pada masing-masing lantai. Hasilnya, biaya satuan per m³ pekerjaan kolom CFST meningkat seiring dengan elevasi, yakni:

Lantai rendah: Rp 20.450.569,16/m³

Lantai sedang: Rp 20.653.728,91/m³

Lantai tinggi: Rp 21.120.996,33/m³

Total estimasi biaya kolom CFST untuk seluruh bangunan 8 lantai mencapai Rp 9.884.939.030,04, dengan variasi biaya mencerminkan kompleksitas logistik dan pengerjaan pada elevasi lebih tinggi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan beberapa poin utama sebagai berikut:

1. Penurunan rasio B/t pada kolom CFST terbukti efektif dalam mengurangi simpangan lateral dan *story drift* maksimum. Kolom dengan B/t terkecil (31,82) menghasilkan simpangan lateral 9,8% lebih rendah dibandingkan kolom dengan B/t terbesar (58,33), baik pada kondisi bertulangan maupun tidak. Penambahan tulangan hanya memberikan pengurangan simpangan sekitar 2%, menunjukkan kontribusi yang tidak signifikan terhadap kontrol deformasi.
2. Kekakuan struktur (*story stiffness*) meningkat seiring dengan menurunnya rasio B/t. Kolom CFST dengan baja lebih tebal memberikan peningkatan kekakuan hingga

33,6%, memperkuat kemampuan struktur dalam menahan deformasi lateral akibat gempa.

3. Rasio desain (*demand/capacity ratio* atau R_{max}) menunjukkan tren menurun dengan berkurangnya B/t. Kolom dengan B/t 31,82 memiliki R_{max} 21,3% lebih rendah dibandingkan B/t 58,33, yang menandakan peningkatan kapasitas struktur dan margin keamanan desain.
4. Hasil estimasi biaya menunjukkan bahwa satuan harga pekerjaan kolom CFST bervariasi tergantung elevasi lantai, dengan rata-rata biaya sekitar Rp20,7 juta/m³. Total estimasi biaya pembangunan seluruh kolom struktur mencapai Rp9,88 miliar, dengan efisiensi biaya yang tetap kompetitif mengingat performa struktural dan keberlanjutan material CFST.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Q. Q. Liang, "Performance-based analysis of concrete-filled steel tubular beam-columns, Part II: Verification and applications," *J Constr Steel Res*, vol. 65, no. 2, pp. 351–362, Feb. 2009, doi: 10.1016/j.jcsr.2008.03.003.
- [2] SNI 1726:2019, *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2019.
- [3] A. Sabtaji, "Statistik Kejadian Gempa Bumi Tektonik Tiap Provinsi Di Wilayah Indonesia Selama 11 Tahun Pengamatan (2009-2019)," vol. 1, no. 7, pp. 31–46, 2020.
- [4] SNI 1729:2020, *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2020.