

EVALUASI PENGGUNAAN CONCRETE FILLED STEEL TUBULAR PADA BANGUNAN GEDUNG TAHAN GEMPA

Wahiddin^{1*}, Dwi Ratnaningsih², Devi Zettyara³

^{1,2,3}Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang
wahiddin@polinema.ac.id, dwi.ratnaningsih@polinema.ac.id

Abstrak

Kolom *Concrete Filled Steel Tubular* adalah elemen komposit yang terdiri dari beton dengan atau tanpa tulangan kemudian dibungkus dengan baja hollow kotak atau bundar. Elemen baja hollow pada kolom *Concrete Filled Steel Tubular (CFST)* berfungsi pula sebagai bekisting permanen. Dengan demikian elemen kolom *Concrete Filled Steel Tubular (CFST)* dapat mereduksi penggunaan bekisting pada Pembangunan Gedung tinggi tahan gempa.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan kolom *CFST* pada struktur Gedung 6 lantai. Elemen balok dan pelat struktur tersebut adalah elemen beton bertulang dengan kuat tekan beton 30 Mpa. Variabel penelitian adalah tebal baja hollow yang membungkus kolom beton dengan atau tanpa rebar. Struktur bangunan terletak di daerah dengan intensitas gempa yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa defleksi lateral maksimum struktur semakin mengecil seiring dengan bertambah tebalnya elemen baja dengan penurunan sebesar 14,67% pada *CFST* tanpa rebar dan 14,75% pada *CFST* dengan rebar. Semakin tebal elemen baja pembungkus kolom maka semakin kecil story drift yang terjadi dengan persentase penurunan sebesar 14,51% pada *CFST* tanpa rebar dan 14,60% pada *CFST* dengan rebar. Begitupula dengan rasio desain struktur Kolom *CFST*, meningkat pada *CFST* tanpa rebar sebesar 42,67% sedangkan *CFST* dengan rebar sebesar 42,68%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tebal elemen baja semakin kaku dan kuat struktur Gedung.

Kata kunci: *Concrete Filled Steel Tubular, Rasio desain.*

Abstract

Concrete Filled Steel Tubular column is a composite element consisting of concrete with or without reinforcement then wrapped with square or round hollow steel. The hollow steel elements in Concrete Filled Steel Tubular (CFST) columns also function as permanent formwork. Thus the Concrete Filled Steel Tubular (CFST) column element can reduce the use of formwork in the construction of earthquake-resistant high-rise buildings.

This study aims to determine the effect of using CFST columns on the structure of a 6-story building. The beam and slab elements of the structure are reinforced concrete elements with a concrete compressive strength of 30 Mpa. The research variable is the thickness of hollow steel wrapped concrete columns with or without rebar. The building structure is located in an area with high earthquake intensity. The results showed that the maximum lateral deflection of the structure decreased as the thickness of the steel element increased with a decrease of 14.67% in CFST without rebar and 14.75% in CFST with rebar. The thicker the column wrapping steel element, the smaller the story drift that occurs with a percentage decrease of 14.51% in CFST without rebar and 14.60% in CFST with rebar. Similarly, the design ratio of the CFST Column structure increased in CFST without rebar by 42.67% while CFST with rebar amounted to 42.68%. This shows that the thicker the steel element, the stiffer and stronger the building structure.

Keywords: *Concrete Filled Steel Tubular, Design ratios.*

Pendahuluan

Selain persoalan material, gempa bumi merupakan ancaman yang sangat serius bagi struktur bangunan, terutama di wilayah yang

rentan terhadap aktivitas seismik. Bangunan tinggi memerlukan desain khusus untuk dapat menahan gaya gempa yang kuat. Penggunaan *Concrete Filled Steel Tubular (CFST)* dapat

menjadi solusi efektif untuk meningkatkan ketahanan gempa suatu bangunan karena kombinasi sifat mekanis yang unik dari baja dan beton dalam satu sistem structural komposit. Baja memiliki kekuatan tarik yang tinggi, yang membuatnya efektif dalam menanggung beban lateral akibat gempa. Ketahanan tarik ini sangat penting untuk mencegah retak dan deformasi yang dapat merusak integritas struktural bangunan. Di sisi lain, beton memberikan kekuatan tekan yang baik dan memberikan dukungan tambahan terhadap gaya lateral. Dengan mengombinasikan keunggulan kedua material ini, CFST menciptakan struktur yang tahan gempa dengan kekuatan dan kestabilan yang optimal. Kombinasi yang unik antara kedua material baja dan beton ini mampu menutupi kekurangan setiap material.

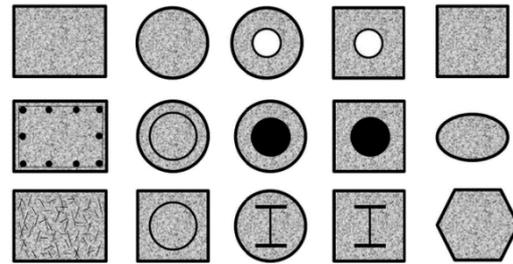
Penggunaan CFST telah berhasil diterapkan dalam beberapa proyek konstruksi tinggi, dan hasilnya menunjukkan peningkatan performa struktural dan ketahanan terhadap gempa. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam dan membantu memvalidasi keunggulan teknologi ini. Seiring dengan kemajuan teknologi dan metode konstruksi, penting untuk terus menggali potensi teknologi baru seperti CFST untuk memastikan bahwa bangunan-bangunan masa depan memenuhi standar keamanan dan ketahanan yang lebih tinggi.

Tujuan penelitian untuk mengetahui bagaimana pengaruh ratio B/t elemen CFST terhadap simpangan lateral, story drift struktur dan rasio desain elemen kolom CFST pada struktur Gedung tahan gempa.

Concrete Filled Steel Tubular

Concrete Filled Steel Tubular (CFST) adalah elemen struktur komposit yang tersusun dari material profil hollow baja (tabung ataupun persegi) yang diisi dengan beton untuk menggabungkan kekuatan dan kekakuan baja dengan ketahanan dan kekuatan tekan beton. Kelebihan utama CFST adalah kemampuannya untuk menerima beban lateral dan aksial secara efisien, membuatnya menjadi pilihan yang populer dalam berbagai aplikasi konstruksi.

Struktur CFST memiliki sifat unik sehingga sangat cocok untuk kondisi lingkungan keras. Baja bagian luar memberikan kekuatan terhadap beban lateral dan perlindungan terhadap korosi, sementara beton pada inti memberikan kekuatan tekan dan ketahanan terhadap api. Kombinasi ini memberikan kinerja yang unggul dalam situasi darurat, seperti kebakaran atau gempa bumi.



Gambar 1. bentuk penampang CFST Column
Sumber: Liew dkk (2016)

Berdasarkan SNI 1729:2020, material beton, baja dan tulangan baja dalam system komposit harus memenuhi pembatasan berikut:

- a. Untuk menentukan kekuatan tersedia, beton harus memiliki:
 - kekuatan tekan f'_c , minimal 3 ksi (21 MPa), untuk beton normal/ringan;
 - kekuatan tekan f'_c maksimal 10 ksi (69 MPa) untuk beton normal;
 - kekuatan tekan f'_c , maksimal 6 ksi (41 MPa) untuk beton ringan.
- b. Tegangan leleh minimum terspesifikasi baja struktural yang digunakan dalam penghitungan kekuatan komponen struktur komposit tidak boleh melebihi 75 ksi (525 MPa).
- c. Tegangan leleh minimum terspesifikasi pada batang tulangan yang digunakan dalam penghitungan kekuatan komponen struktur komposit tidak boleh melebihi 80 ksi (550 MPa)

Kapasitas Desain CFST sesuai SNI 1729-2020

Penampang yang mengalami aksial tekan, elemen komposit CFST dapat diklasifikasikan menjadi tiga bagian yaitu:

1. Penampang kompak,
2. Penampang nonkompak,
3. Penampang langsing.

Agar penampang memenuhi syarat sebagai kompak, rasio lebar terhadap tebal maksimum elemen baja tekan tidak boleh melebihi batas rasio lebar terhadap tebal, λ_p , pada Tabel II.1a SNI 1729-2020. Jika rasio lebar terhadap tebal maksimum dari satu atau lebih elemen tekan baja melebihi λ_p , tetapi tidak melebihi λ_r , penampang komposit terisi beton disebut nonkompak. Jika rasio lebar terhadap tebal maksimum elemen baja tekan ada yang melebihi λ_r , penampang disebut langsing. Rasio lebar terhadap tebal maksimum yang diizinkan harus seperti yang disyaratkan dalam tabel tersebut.

Sedangkan penampang komposit CFST yang mengalami lentur, elemen CFST diklasifikasikan sebagai kompak, nonkompak atau langsing. Kekuatan tekan tersedia komponen struktur komposit terisi beton simetris ganda yang dibebani secara aksial harus ditentukan untuk keadaan batas tekuk lentur sesuai dengan Pasal I2.1b SNI 1729:2020 dengan modifikasi sebagai berikut:

- a) Penampang kompak;
 $P_{no} = F_y \cdot A_s + C_2 \cdot f'c \cdot (A_c + A_{sr} \cdot E_s/E_c)$
 Dimana $C_2 = 0,85$ untuk penampang persegi Panjang dan $0,95$ untuk penampang bundar;

- b) Penampang non kompak
 $P_{no} = P_p - \frac{P_p - P_y}{(\lambda_r - \lambda_p)^2} (\lambda - \lambda_p)^2$
 $P_p = F_y \cdot A_s + C_2 \cdot f'c \cdot (A_c + A_{sr} \cdot E_s/E_c)$
 $P_y = F_y \cdot A_s + 0,7 \cdot f'c \cdot (A_c + A_{sr} \cdot E_s/E_c)$

- c) Penampang langsing
 $P_{no} = F_{cr} \cdot A_s + 0,7 \cdot f'c \cdot (A_c + A_{sr} \cdot E_s/E_c)$
 Dimana:

$$F_{cr} = \frac{9E_s}{\left(\frac{b}{t}\right)^2} ; \text{ penampang persegi CFST}$$

$$F_{cr} = \frac{0,72 F_y}{\left[\left(\frac{D}{t}\right) \frac{F_y}{E_s}\right]^2} ; \text{ penampang bundar CFST}$$

Data Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis struktur Bangunan Gedung bertingkat 3D seperti pada gambar 2 dan data struktur sebagai berikut:

- Panjang bentang X : 7000 mm
- Jumlah bentang X : 4
- Panjang Balok Y : 5000 mm
- Jumlah bentang Y : 6
- Tinggi Story 1 : 5000 mm
- Tinggi Story 2 hingga Roof : 4500 mm

Dimensi penampang struktur

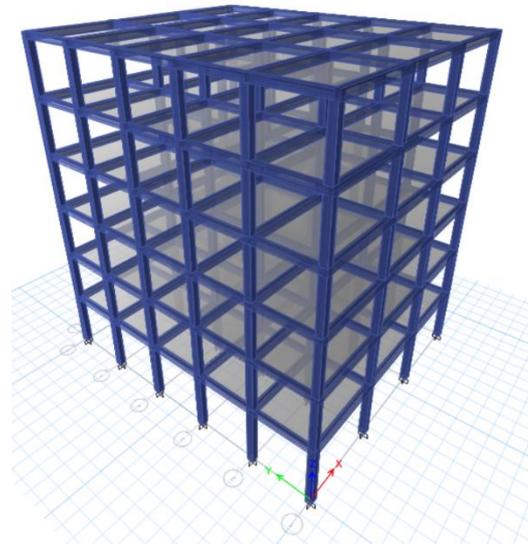
- Balok Arah X : B1 40/60
- Balok Arah Y : B2 35/50
- Dimensi kolom : 50/50 (outer)
- Tebal Pelat : 15 cm

Spesifikasi material:

- Mutu Beton, f_c' : 30 MPa
- Mutu Profil Baja A36 : 250 MPa
- Mutu Tulangan, BJTS 280 : 280 MPa dan BJTS 420B, : 420 MPa

Variabel dalam penelitian ini adalah rasio lebar kolom (B) terhadap tebal baja hollow persegi (t) atau B/t.

Dimensi seluruh penampang kolom sama besar yaitu 50/50 dengan atau tanpa tulangan yang dibungkus oleh baja hollow yang bervariasi tebalnya seperti tampak pada tabel 1.



Gambar 2. Gambar 3D struktur yang dianalisis

Tabel 1. Variasi penelitian elemen CFST

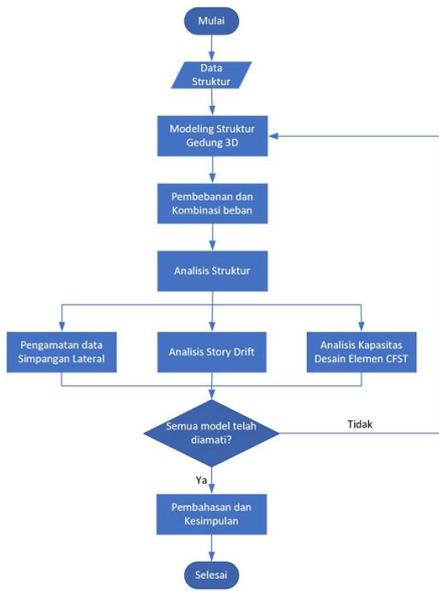
NO	Gambar Penampang Kolom	Tulangan baja	Dimensi Kolom (mm)	Tebal Baja Hollow (mm)	Rasio Profil	B/t
A1-1		0 D16	500 x 500	8	4,7 %	62,5
A1-2			500 x 500	12,5	7,4 %	40
A1-3			500 x 500	16	9,4 %	31,25
A1-4			500 x 500	20	11,7 %	25
A2-1		12-D16	500 x 500	8	4,7 %	62,5
A2-2			500 x 500	12,5	7,4 %	40
A2-3			500 x 500	16	9,4 %	31,25
A2-4			500 x 500	20	11,7 %	25

Struktur Gedung 3D akan dikenai beban gempa kemudian dianalisis dengan variasi kolom seperti pada tabel variasi penampang kolom diatas. Pengamatan yang dapat dilakukan sebagai hasil analisis struktur berupa besarnya simpangan lateral maksimum (δ_{max}) di puncak gedung akibat kombinasi beban sesuai dengan ketentuan pembebanan.

Berdasarkan simpangan yang diperoleh kemudian diolah sedemikian hingga diperoleh besarnya story drift (simpangan antar tingkat) termasuk kapasitas desain kolom CFST pada setiap variasi penampang kolomnya.

Bagan Alir

Bagan alir Pembahasan pelaksanaan penelitian meliputi uraian tahapan pelaksanaan penelitian dan uraian analisa yang digunakan. Adapun tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini akan dipaparkan pada gambar 3.

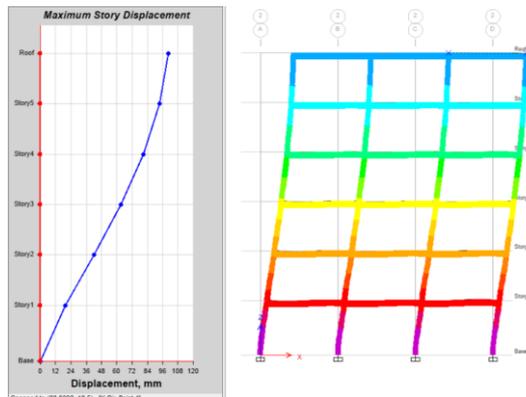


Gambar 3. Diagram alir penelitian

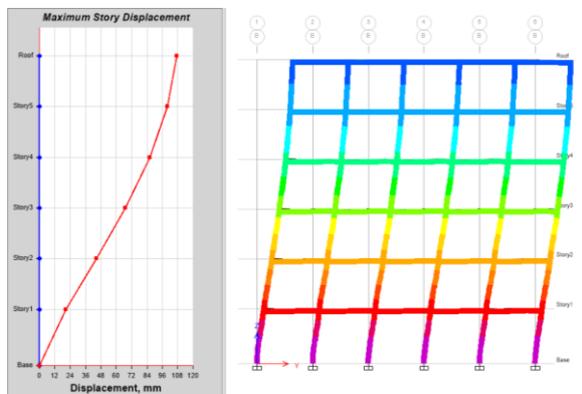
Analisis Data

Beban yang bekerja pada struktur gedung terdiri dari beban mati, beban hidup dan beban gempa.

1. Beban Mati
 - a. Berat sendiri struktur
 Berat jenis elemen struktur :
 - Pelat dan balok : 2400 kg/m³
 - Steel : 7850 kg/m³
 - b. Beban mati tambahan
 - Keramik : 1,10 kg/m²
 - M/E : 0,19 kg/m²
 - Concrete fill finish : 0,04 kg/m²
 - Plafond+Suspen : 0,17 kg/m²
 Total Beban mati tambahan : 1,5 kg/m²
2. Beban Hidup
 - Beban Guna : 1,92 kN/m²
 - Beban hidup atap : 0,95 kN/m²
3. Beban Gempa
 Parameter gempa dimana struktur Gedung berada sebagai berikut:
 - S_s : 1,3887
 - S₁ : 0,511
 - Situs Tanah : D (Tanah sedang)
 - Koefisien Fa : 1,0
 - Koefisien, F_v : 1,789
 - SDS : 0,9258
 - SD1 : 0,6095
 - KDS : D
 - Koefisien, R : 8
 - Faktor Ω : 3
 - Faktor Cd : 5,5



Gambar 4. Displacement horizontal struktur dengan kolom A2-1 akibat beban seismic arah X



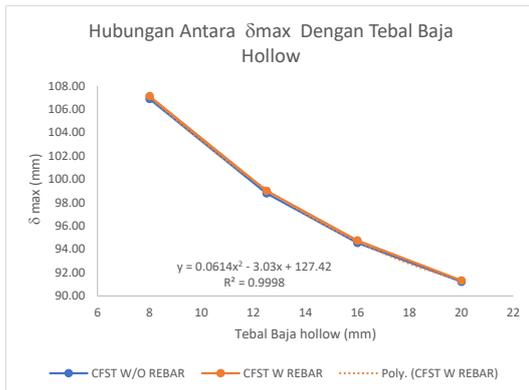
Gambar 5. Displacement horizontal struktur dengan kolom A2-1 akibat beban seismic arah Y

Tabel 2. Hasil pengamatan Simpangan Lateral

NO	Gambar Penampang kolom	PENGAMATAN						
		Simpangan Lateral, Δ _{max} (mm)						
		Story 1	Story 2	Story 3	Story 4	Story 5	Story 6	Max
A1-1		20.513	44.595	67.141	86.095	99.705	106.901	106.901
A1-2		18.147	40.454	61.521	79.244	91.977	98.812	98.812
A1-3		16.881	38.231	58.522	75.606	87.890	94.554	94.554
A1-4		15.846	36.434	56.127	72.724	84.670	91.223	91.223
A2-1		20.560	44.697	67.293	86.289	99.929	107.138	107.138
A2-2		18.188	40.545	61.659	79.421	92.182	99.030	99.030
A2-3		16.919	38.317	58.653	75.774	88.084	94.761	94.761
A2-4		15.864	36.477	56.193	72.811	84.771	91.332	91.332

Tabel 3. Hasil analisis Story drift struktur

NO	Gambar Penampang kolom	PENGAMATAN						
		Story Drift, Δ _{max}						
		Story 1	Story 2	Story 3	Story 4	Story 5	Story 6	Max
A1-1		75.214	88.301	82.669	69.498	49.903	26.385	88.301
A1-2		66.539	81.792	77.246	64.984	46.688	25.062	81.792
A1-3		61.897	78.283	74.400	62.641	45.041	24.435	78.283
A1-4		58.102	75.489	72.208	60.856	43.802	24.028	75.489
A2-1		75.387	88.502	82.852	69.652	50.013	26.433	88.502
A2-2		66.689	81.976	77.418	65.127	46.790	25.109	81.976
A2-3		62.036	78.459	74.565	62.777	45.137	24.482	78.459
A2-4		58.168	75.581	72.292	60.933	43.853	24.057	75.581

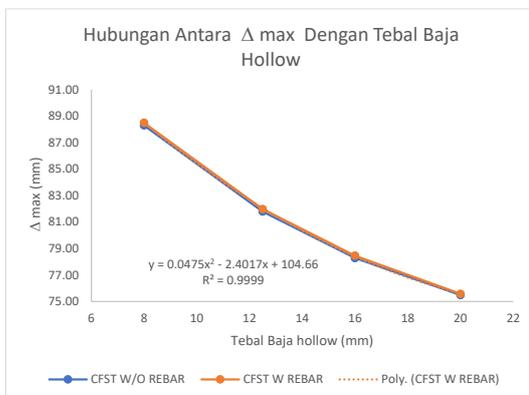


Gambar 6. Grafik pengaruh B/t kolom CFST terhadap displacement struktur

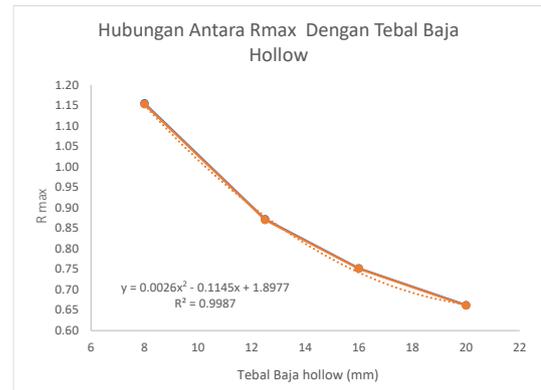
Semakin tebal elemen steel pada kolom CFST maka, kemampuan struktur menerima beban lateral semakin meningkat. Hal itu terlihat pada hasil analisis struktur dimana displacement lateral semakin kecil dengan meningkatnya tebal elemen steel kolom CFST. Kemampuan kolom CFST memperkecil displacement lateral tidak dipengaruhi dengan adanya rebar pada kolom tersebut. Hal ini terjadi karena model yang dibuat tidak menghitung secara detail pengaruh rebar pada kolom CFST terhadap elastisitas elemen sehingga hasil yang diperoleh relatif sama antara CFST dengan rebar dan tanpa rebar. Besarnya kenaikan kemampuan menahan displacement lateral kolom CFST tanpa rebar:

$$\begin{aligned} \text{Kenaikan simpangan} &= \frac{(106,901 - 91,223)}{106,901} \\ &= 14,67\% \end{aligned}$$

Displacement lateral berbanding lurus dengan story drift struktur, maka semakin tebal elemen steel pada kolom CFST akan mengurangi *story drift* yang terjadi. Sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 7. Besarnya penurunan story drift struktur dengan kolom CFST tanpa rebar.



Gambar 7. Grafik pengaruh B/t kolom CFST terhadap *story drift* struktur



Gambar 8. Grafik pengaruh B/t kolom CFST terhadap rasio desain kapasitas kolom

Berdasarkan gambar 8, Rasio desain elemen kolom CFST adalah perbandingan nilai beban ultimate yang bekerja pada elemen struktur dibagi dengan kapasitas desain elemen steel komposit yang menahan beban. Kecenderungan rasio desain elemen CFST hampir sama dengan displacement lateral dan story drift struktur. Semakin tebal elemen steel maka rasio desain elemen semakin kecil atau elemen semakin kuat. Hal ini sejalan dengan formula kapasitas tekan elemen komposit CFST dimana luas permukaan elemen steel berkontribusi positif dan besar terhadap kapasitas desain elemen CFST. Besarnya kenaikan rasio desain elemen CFST dengan pertambahan tebal elemen steel sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Rasio desain tanpa rebar} &= \frac{(1,153 - 0,661)}{1,153} \\ &= 42,67\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio desain dengan rebar} &= \frac{(1,155 - 0,662)}{1,155} \\ &= 42,68\% \end{aligned}$$

Kenaikan yang mencapai 42,6% menunjukkan signifikasinya elemen CFST terhadap kemampuan struktur menerima beban. Dengan demikian penebalan elemen steel pada kolom CFST berkontribusi sangat positif terhadap kemampuan menerima beban elemen kolom.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya, beberapa simpulan sebagai berikut:

1. Bangunan tinggi dengan kolom CFST tanpa rebar menggunakan steel dengan tebal 8 mm mengalami simpangan maksimum sebesar 106,901 mm sedangkan CFST dengan rebar mengalami simpangan lateral maksimum

sebesar 107,138 mm. Simpangan yang paling kecil terjadi pada struktur gedung dengan CFST tanpa rebar yang memiliki tebal steel 20 mm sebesar 91,223 mm sedangkan CFST dengan rebar mengalami simpangan lateral sebesar 91,332 mm. Sehingga ada penurunan displacemen lateral sebesar 14,67% pada CFST tanpa rebar dan 14,75% pada CFST dengan rebar. Dengan demikian semakin tebal elemen steel CFST maka simpangan lateral yang terjadi semakin kecil atau semakin kecil nilai perbandingan lebar kolom dan tebal steel (B/t) elemen CFST maka simpangan lateral bangunan tinggi semakin kecil pula.

2. Story drift yang terjadi pada bangunan tinggi yang memakai CFST tanpa rebar dan tebal steel 8 mm sebesar 88,301 sedangkan pada story drift bangunan tinggi memakai CFST dengan rebar sebesar 88,502. Nilai Story drift bangunan tinggi yang memakai CFST tanpa rebar semakin kecil yang menggunakan tebal steel 20 mm sebesar 75,489 sedangkan story drift CFST dengan rebar sebesar 75,581. Ada penurunan story drift sebesar 14,51% pada CFST tanpa rebar dan penurunan story drift sebesar 14,60% pada CFST dengan rebar. Sehingga semakin tebal elemen steel pada kolom CFST, story drift yang terjadi pada bangunan tinggi semakin kecil.
3. Rasio desain kolom CFST tanpa rebar mengalami peningkatan kapasitas desain seiring dengan bertambah tebal elemen steel. Nilai Rasio desain kolom CFST semakin kecil atau kapasitas desain kolom CFST semakin besar seiring dengan peningkatan tebal steel sebesar 42,67% pada CFST tanpa rebar sedangkan pada kolom CFST dengan rebar, kapasitas desain meningkat seiring dengan tebal elemen steel sebesar 42,68%

Saran

Beberapa saran yang diberikan untuk melanjutkan penelitian mengenai elemen *Concrete Filled Steel Tubular* (CFST) sebagai berikut:

1. Penelitian ini tidak membedakan nilai kekakuan kolom CFST dengan rebar dan tanpa rebar. Sehingga sangat perlu melanjutkan penelitian dengan mempertimbangkan parameter tersebut.
2. Variasi luas tulangan seharusnya berkontribusi terhadap kapasitas aksial kolom CFST, sehingga masih perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan mempertimbangkan variasi rasio rebar.

3. Kontribusi tebal steel terhadap kapasitas aksial kolom CFST sangat tinggi sedangkan elemen steel tentunya memiliki permasalahan dengan tekuk pada kolom-kolom langsing. Oleh karena itu diperlukan penelitian lanjutan yang mempertimbangkan variasi tinggi kolom atau kelangsingan kolom CFST untuk melihat perilaku kolom CFST dengan tebal tertentu.

Daftar Rujukan

- Baig, M. N., Fan, J., & Nie, J. (2006). *Strength of concrete filled steel tubular columns*. *Tsinghua Science and Technology*, 11(6), 657-666.
- Du, Y., Chen, Z., Liew, J. R., & Xiong, M. X. (2017). *Rectangular concrete-filled steel tubular beam-columns using high-strength steel: Experiments and design*. *Journal of constructional steel research*, 131, 1-18. DOI. doi.org/10.1016/j.jcsr.2016.12.016
- Krishan, A. L., Astafyeva, M. A., & Chernyshova, E. P. (2018). *Strength of preliminary compressed concrete-filled steel tubular columns with square cross-section*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 451, No. 1, p. 012059). IOP Publishing. DOI. [10.1088/1757-899x/451/1/012059](https://doi.org/10.1088/1757-899x/451/1/012059)
- Liang, Q. Q. (2009). *Performance-based analysis of concrete-filled steel tubular beam-columns, Part II: Verification and applications*. *Journal of Constructional Steel Research*, 65(2), 351-362. Doi: 10.1016/j.jcsr.2008.03.003.
- Liew, J. R., Xiong, M., & Xiong, D. (2016). *Design of concrete filled tubular beam-columns with high strength steel and concrete*. In *Structures* (Vol. 8, pp. 213-226). Elsevier. DOI: 10.1016/j.istruc.2016.05.005.
- Segui, William T. 2018. *Steel Design*, 6th Edition. Cengage Learning: Boston USA.
- SNI 1729:2020. 2020. *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1727:2020. 2020. *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1726:2019. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta