

PENGARUH RASIO TULANGAN KOLOM *CONCRETE FILLED STEEL TUBULAR* (CFST) PADA BANGUNAN TAHAN GEMPA

M Zacky Khalfani¹, Wahiddin²

Mahasiswa Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang²

Email: ¹zackykhalfani@gmail.com, ²wahiddin@polinema.ac.id

ABSTRAK

Struktur kolom komposit kombinasi baja dan beton menjadi suatu alternatif inovasi struktur yang unggul dalam menahan gempa. Pada komponen struktur komposit terisi beton pasal (c) SNI 1729:2020 tulangan longitudinal minimum tidak diperlukan dan jika tulangan longitudinal diberikan, tulangan transversal internal tidak diperlukan untuk kekuatan. Pengaruh rasio tulangan pada kolom komposit *Concrete Filled Steel Tubular* (CFST) pada Bangunan Tahan Gempa ini diamati terhadap perilaku struktural dan kinerja keseluruhan bangunan. Lokasi gedung yang menjadi objek analisis berada pada lokasi rawan gempa di Indonesia yang ditentukan berdasarkan Perhitungan dan Pemilahan frekuensi gempa tiap provinsi tahun 2009-2019 berdasarkan magnitudo dan kedalaman gempa, yang memengaruhi penentuan lokasi bangunan rencana ini berada di Palu, Sulawesi Tengah. Dalam penelitian ini, kolom komposit terisi beton yang dianalisis diberikan variasi tebal baja dan rasio tulangan. Melalui *software* analisis struktur, pengamatan perbandingan rasio tulangan memberikan perilaku berbeda terhadap struktur meliputi *Story Drift*, *Story Stiffness*, dan *Design Ratio*. Dari serangkaian penelitian ini menunjukkan pengaruh rasio tulangan pada kolom komposit *Concrete Filled Steel Tubular* (CFST) tidak memberikan efek yang positif pada perilaku struktur khususnya pada *output Story Drift*, *Story Stiffness*, dan *Design Ratio*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio tulangan pada Kolom *Concrete Filled steel tubular* (CFST) berpengaruh negatif terhadap struktur, karena kekurangan pada sisi lentur kolom sudah cukup di atasi oleh struktur baja pembungkus, Sehingga penambahan rasio tulangan pada kolom CFST tidak diperlukan untuk menambah kekuatan.

Kata kunci : seismik; kolom CFST; rasio tulangan

ABSTRACT

Analysis of the Influence of Reinforcement Ratio on the Behavior of Concrete Filled Steel Tubular (CFST) Composite Columns in Earthquake-Resistant Buildings in Palu, Central Sulawesi. Composite column structures, which combine steel and concrete, are an innovative structural alternative known for their superior performance in resisting seismic loads. According to clause (c) of SNI 1729:2020, for concrete-filled composite structural components (CFST), minimum longitudinal reinforcement is not required. If longitudinal reinforcement is provided, internal transverse reinforcement is not necessary for strength purposes. This study aims to observe the effect of varying reinforcement ratios on the structural behavior and overall performance of buildings using CFST columns in seismic-prone areas. The building analyzed is located in Palu, Central Sulawesi, a region determined based on earthquake frequency data from 2009–2019, which includes magnitude and depth information. In this study, CFST columns were analyzed with variations in steel thickness and reinforcement ratio. Structural behavior was evaluated using structural analysis software, focusing on parameters such as story drift, story stiffness, and design ratio. The research findings indicate that increasing the reinforcement ratio in CFST columns does not provide a positive impact on structural behavior. On the contrary, the influence tends to be negative, especially in terms of story drift, story stiffness, and design ratio. This is because the flexural capacity of the column is sufficiently provided by the steel casing, making the addition of reinforcement in CFST columns unnecessary for enhancing strength.

Keywords : seismic, CFST column, reinforcement ratio

1. PENDAHULUAN

Perkembangan dalam dunia konstruksi sangatlah cepat, diindikasikan berbagai inovasi ditemukan sebagai solusi untuk masalah yang sebelumnya belum terpecahkan maupun memperbaharui versi sebelumnya dengan keuntungan yang diunggulkan. Inovasi tersebut tidak lepas dari perkembangan material yang digunakan pada konstruksi. Material yang akan digunakan tentunya tidak terlepas dari efisiensi dalam pengaplikasian di lapangan, berkualitas tinggi, dan berkelanjutan, yang berpengaruh pada harga dan waktu.

Material yang kini sering digunakan sebagai elemen konstruksi adalah material yang berkekuatan tinggi dan memiliki keuntungan dari segi ekonomis maupun arsitektural. Semakin tinggi kekuatan material maka akan semakin kecil dimensi dari elemen struktur yang dibutuhkan sehingga dalam skala konstruksi yang besar akan mengurangi anggaran secara signifikan. Kemampuan industri saat ini untuk memproduksi material – material konstruksi yang berkekuatan tinggi juga menjadi pendukung pernyataan tersebut. Namun yang menjadi masalah adalah kekonsistenan dari beton mutu tinggi dan tekuk lokal pada baja dengan kuat tarik yang tinggi.

Selain permasalahan material, gempa bumi juga menjadi ancaman serius bagi struktur bangunan. Mengingat Indonesia merupakan negara yang berada pada wilayah pertemuan tiga lempeng tektonik besar yaitu lempeng Eurasia, IndoAustralia, dan pasifik, Hal ini menjadikan Indonesia sebagai kawasan seismik aktif yang sering mengalami peristiwa gempa bumi. Bangunan tingkat tinggi memerlukan desain yang khusus untuk menahan kekuatan dari beban seismik.

Solusi efektif yang bisa digunakan untuk meningkatkan ketahanan seismik suatu bangunan adalah Concrete Filled Steel Tubular (CFST) karena kombinasi antara dua material yakni baja dan beton dalam satu elemen komposit. Elemen CFST ini dapat menciptakan struktur yang memiliki kekuatan dan kestabilan yang optimal serta tahan terhadap gempa. Jika dilihat dari keunggulan – keunggulan setiap materialnya. Keunggulan baja yakni kekuatan terhadap tarik yang tinggi sehingga dapat menahan beban lateral akibat gempa. Ketahanan terhadap tarik ini penting untuk mencegah deformasi dan retak yang dapat merusak keutuhan struktural bangunan. Di sisi lain, beton memiliki keunggulan pada kekuatan terhadap tekan yang baik dan memberikan tambahan dukungan terhadap gaya – gaya lateral.

Kombinasi baja dan beton ini juga mampu mengisi kekurangan dan kelemahan masing – masing material. Ancaman tekuk lokal pada baja akan ditahan oleh beton dan baja akan mencegah spalling berlebihan pada beton dan kolom komposit serta menambah kekakuan signifikan pada

rangka dibandingkan dengan konstruksi rangka baja biasa (Baig, 2009).

Komponen struktur komposit terisi beton terdapat batasan yang mengatur tulangan longitudinal minimum tidak diperlukan. Jika tulangan longitudinal diberikan, tulangan transversal internal tidak diperlukan untuk kekuatan. Tulangan transversal digunakan untuk memberikan perkuatan dan perkakuan lebih pada beton seperti pada komponen struktur beton biasanya, yang membedakan pada komponen komposit ini tidak diperlukan tulangan transversal, yang mana dapat menghemat waktu dari segi proses fabrikasi tulangan pada komponen struktur beton konvensional (SNI 1729:2020).

Concrete Filled Steel Tubular

Struktur komposit terisi beton atau Concrete Filled Steel Tubular adalah kolom komposit yang posisinya berkebalikan dengan encase column yang dimana baja berprofil hollow atau pipa menjadi bagian luar elemen komposit yang kemudian didalamnya terdapat beton sebagai material pengisi. Concrete-encased beam / Balok terbungkus beton. Balok yang secara keseluruhan terbungkus beton yang dicor menyatu dengan pelat (SNI-1729-2020). Beton sendiri dalam CFST tidak diatur untuk penambahan tulangan didalamnya, tetapi memungkinkan untuk penambahannya dikasus spesial yang memungkinkan struktur diperlukan penambahan kekakuan pada kolomnya.

Dalam CFST luas penampang profil baja harus terdiri sekurang – kurangnya 1% dari total penampang komposit. Komponen struktur CFST harus diklasifikasikan untuk tekuk lokal sesuai ketentuan.

Concrete Filled Steel Tubular (CFST) adalah suatu inovasi komponen komposit yang menggabungkan keunggulan dari beton dan baja untuk menciptakan struktur yang kuat dan efisien. Penggabungan kekuatan dan kekakuan baja dengan ketahanan dan kekuatan tekan beton menciptakan CFST dengan kelebihan utamanya yakni kemampuannya untuk menerima beban lateral dan aksial secara efisien, membuatnya menjadi pilihan populer dalam berbagai aplikasi konstruksi, seperti bangunan bertingkat tinggi, jembatan, dan struktur offshore.

Struktur CFST sangat cocok untuk kondisi lingkungan yang keras yang menjadikannya sifat unik tersendiri. Baja pada tubuh luar memberikan kekuatan terhadap beban lateral dan perlindungan korosi, sementara beton sebagai material pengisi memberikan kekuatan tekan dan ketahanan terhadap api. Kombinasi ini memberikan kinerja yang unggul terhadap kebakaran atau gempa bumi.



Gambar 1. 1 Elemen Struktur Kolom CFST

Sumber: <https://rooyeshgroup.com/en/what-are-cft-structures/>

Data Penelitian

Penjabaran data penelitian berikut meliputi informasi struktur bangunan yang dianalisis berupa panjang dan jumlah bentang, mutu serta dimensi elemen struktur dan data penunjang lainnya.

1. Data struktur yang akan dianalisis:

- Panjang bentang X : 6000 mm
- Jumlah bentang X : 6
- Panjang Balok Y : 4000 mm
- Jumlah bentang Y : 7
- Tinggi Story 1 : 4500 mm
- Tinggi Story 2-Roof : 4000 mm

2. Dimensi penampang struktur

- Balok Arah X : B1 55/70
- Balok Arah Y : B2 45/65
- Dimensi kolom : 70/70 (outer)

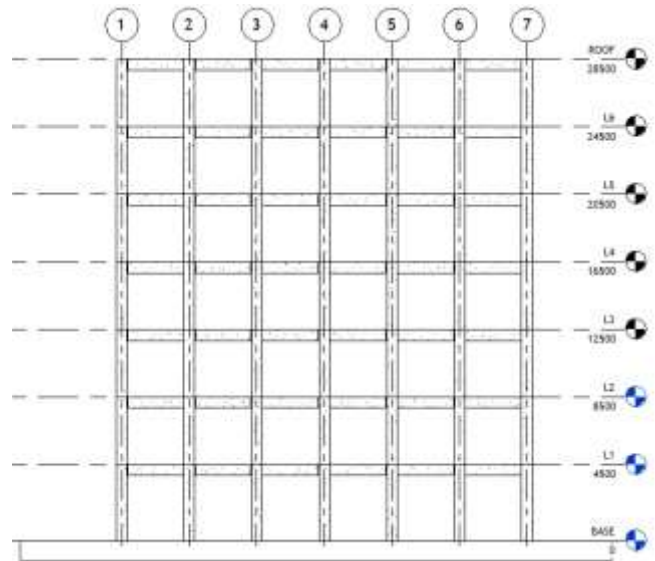
3. Spesifikasi material:

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

Variabel dalam penelitian ini adalah rasio tulangan pada kolom CFST. Dimensi seluruh penampang kolom yaitu 70/70 beserta baja hollow dengan 2 variasi tebal baja yang terisi beton.



Gambar 1. 2 3D Struktur yang dianalisis



Gambar 1. 3 Tampak Bangunan Rencana

Variabel dalam penelitian ini adalah rasio tulangan yang dipakai pada elemen kolom CFST. Dimensi penampang kolom sama yaitu 70/70 beserta baja hollow dengan tebal variasi yang terisi beton dan diberi tulangan dengan variasi rasio tulangan pada tabel berikut ini:

Tabel 1. 1 Variasi Rasio Tulangan A1

NO	Gambar Penampang kolom	Dimensi Kolom $b \times h$ (mm)	Tebal Baja Hollow, mm	Jumlah Tulangan	Diameter Tulangan	Rasio Tulangan
A2-1		700 x 700	12	0	0	0.000%
A2-2				12	16	0.528%
A2-3				12	22	0.998%
A2-4				12	25	1.289%

Sumber: Dokumen Pribadi

Tabel 1. 2 Variasi Rasio Tulangan A2

NO	Gambar Penampang kolom	Dimensi Kolom $b \times h$ (mm)	Tebal Baja Hollow, mm	Jumlah Tulangan	Diameter Tulangan	Rasio Tulangan
A2-1		700 x 700	25	0	0	0.000%
A2-2				12	16	0.571%
A2-3				12	22	1.080%
A2-4				12	25	1.394%

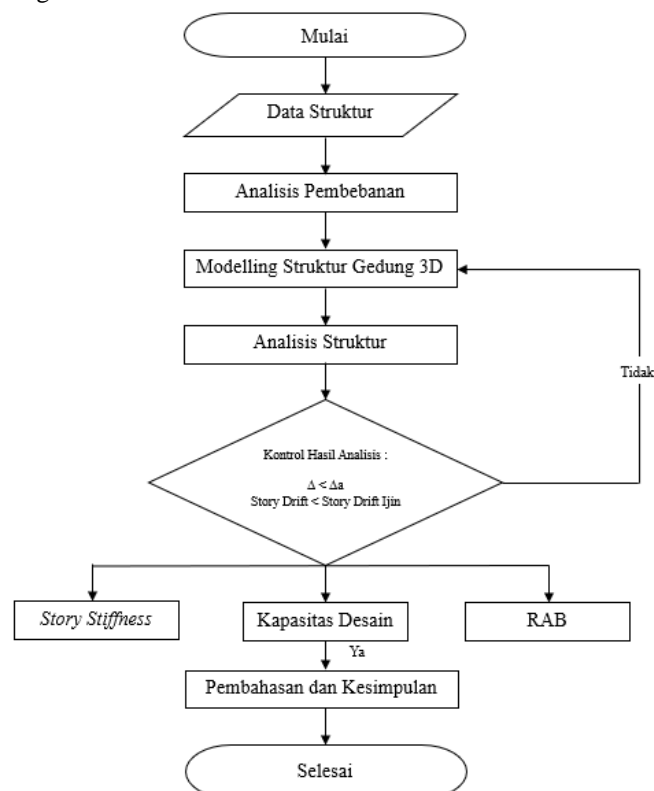
Sumber: Dokumen Pribadi

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode analisis untuk mengkaji pengaruh rasio tulangan kolom *Concrete Filled Steel Tubular* (CFST) pada bangunan tahan gempa menggunakan *software* analisis struktur. Hasil yang ditinjau dari pengaruh rasio tulangan ini terhadap perilaku struktur meliputi *Story Drift*, *Story Stiffness* & *Design Capacity Ratio*.

Sebagai output tambahan berapakah biaya yang dikeluarkan dalam pembangunan kolom struktur menggunakan CFST ini.

Berikut tahapan penelitian yang dilaksanakan sesuai dengan bagan alir di bawah ini:



Bangunan penelitian ini direncanakan dengan beban hidup beban mati tambahan, dan beban gempa sebagai berikut:

Beban Mati Tambahan

Tabel 1. 3 Beban mati tambahan lantai 1-6

Komponen	Beban kN/m ²
Ceramic tile (19 mm) on 25mm mortar bed	1.100
Instalasi MEP (Mechanical duct Allowance)	0.190
Gypsum Board (9mm)	0.072
Suspended steel channel system	0.100

Sumber: SNI 1727:2020

Tabel 1. 4 Beban Mati Tambahan Roof

Komponen	Beban kN/m ²
Beban Hujan	0.196
Instalasi MEP (Mechanical duct Allowance)	0.072
Gypsum Board (9mm)	0.072

Komponen	Beban kN/m ²
Suspended steel channel system	0.100

Sumber: SNI 1727:2020

Beban Hidup

Beban gedung direncanakan sebagaimana beban hidup dipaparkan dalam SNI 1727:2020 untuk penelitian ini dijabarkan pada Tabel 3.2 Beban Hidup yang bekerja pada bangunan ini meliputi :

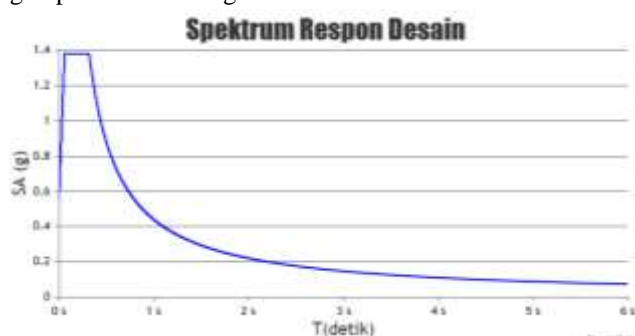
Tabel 1. 5 Beban Hidup

Komponen	Beban kN/m ²
Ruang 1	1.92
Ruang 2	2.87
Koridor	3.83
Atap bukan untuk Hunian (Lr)	0.96

Sumber: SNI 1727:2020

Beban Gempa

Setelah menetapkan Majoa pada Kabupaten Poso sebagai wilayah dari bangunan penelitian ini maka data gaya gempa diambil sebagai berikut :



Gambar 1. 4 Grafik Respon Spektrum Wilayah Majoa

Tabel 2. 1 Data Gempa

DATA GEMPA		SATUAN
PGA MCEG	0.8646	(g) bedrock
SS Mcer	2.3016	(g) bedrock
S1 Mcer	0.8212	(g) bedrock
TL	6	detik
Sds	1.38	(g) bedrock
Sd1	0.44	(g) bedrock

Sumber: Desain Spektra Indonesia

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

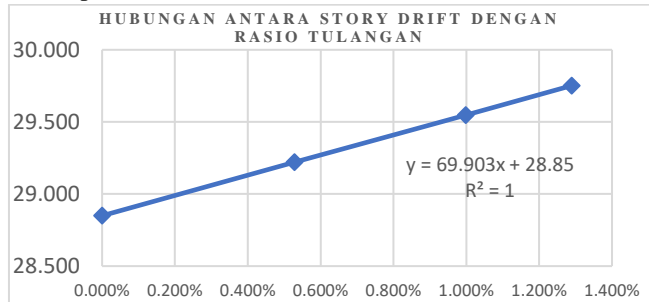
Berdasarkan hasil Analisis yang telah dilakukan, maka berikut merupakan himpunan dari data data analisis yang

disajikan dalam bentuk grafik dan hipotesis dalam menyimpulkan hasil akhir dari penelitian ini.

Pengaruh Rasio Tulangan Kolom CFST Terhadap *Story Drift*

Hasil analisis dari 8 benda uji dengan 2 variasi ketebalan dan 4 tulangan yang berbeda – beda, berikut adalah grafik yang menyajikan pengaruh rasio tulangan kolom CFST terhadap *Story Drift*:

• Tipe Kolom A1



Gambar 3. 1 Grafik Hubungan Rasio Tulangan dan *Story Drift* Tipe A1

• Tipe Kolom A-2



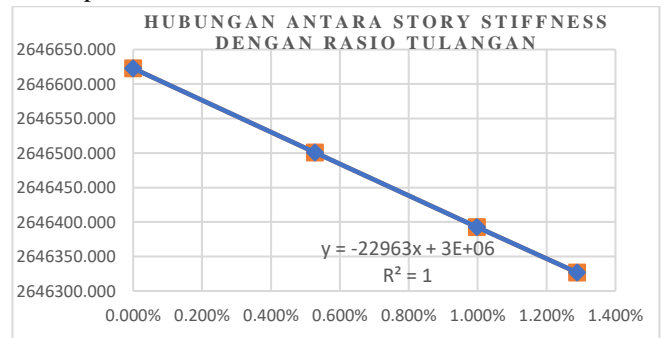
Gambar 3. 2 Grafik Hubungan Rasio Tulangan dan *Story Drift* Tipe A1

Dapat dilihat bahwa semakin besar nilai rasio tulangan pada kolom CFST, maka semakin tinggi pula untuk *Drift* dari bangunan tersebut. Maka penambahan tulangan pada kolom CFST ini memiliki efek negatif terhadap struktur yang menggunakan CFST pada kolom.

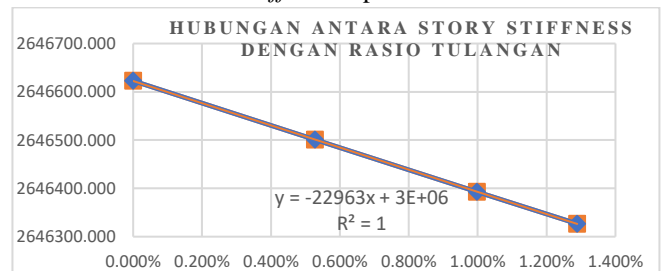
Pengaruh Rasio Tulangan Kolom CFST Terhadap *Story Stiffness*

Hasil analisis dari 8 benda uji dengan 2 variasi ketebalan dan 4 tulangan yang berbeda – beda, berikut adalah grafik yang menyajikan pengaruh rasio tulangan kolom CFST terhadap Kekakuan Lantai:

• Tipe Kolom A1



Gambar 3. 3 Grafik Hubungan Rasio Tulangan dan *Story Stiffness* Tipe A1

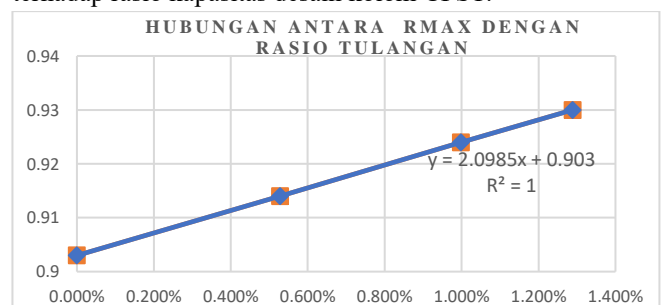


Gambar 3. 4 Grafik Hubungan Rasio Tulangan dan *Story Stiffness* Tipe A2

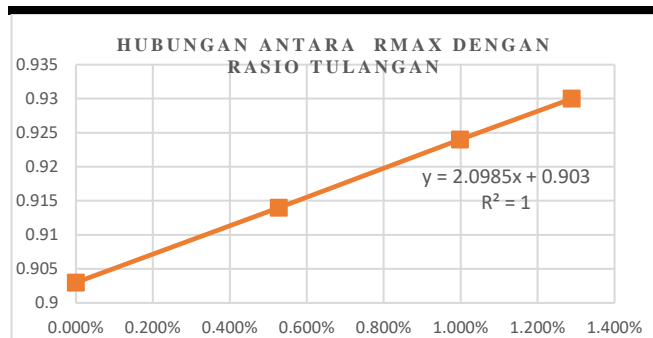
Dapat dilihat bahwa semakin besar nilai rasio tulangan pada kolom CFST, maka semakin kecil pula nilai untuk kekakuan lantai dari bangunan tersebut. Maka dari hasil grafik tersebut menunjukkan perilaku negatif dalam penambahan tulangan di elemen kolom CFST terhadap perilaku struktur.

Pengaruh Rasio Tulangan Kolom CFST Terhadap Rasio Desain

Hasil analisis dari 8 benda uji dengan 2 variasi ketebalan dan 4 tulangan yang berbeda – beda, berikut adalah grafik yang menyajikan pengaruh rasio tulangan kolom CFST terhadap rasio kapasitas desain kolom CFST:



Gambar 3. 5 Grafik Rasio Tulangan dan Rasio Kapasitas desain Tipe A1



Gambar 3. 6 Grafik Hubungan Rasio Tulangan dan Rasio Kapasitas Desain Tipe A2

Dapat dilihat bahwa semakin besar nilai rasio tulangan pada kolom CFST, maka semakin besar pula nilai untuk rasio kapasitas desain dari bangunan tersebut. Maka dari hasil grafik tersebut menunjukkan perilaku negatif dalam penambahan tulangan di elemen kolom CFST terhadap perilaku struktur.

Rancangan Anggaran Biaya (RAB)

Rancangan biaya dalam proses perencanaan suatu proyek konstruksi, khususnya dalam menentukan kebutuhan biaya yang dibutuhkan dalam realisasi desain untuk pembangunan struktur. RAB ini disusun berdasarkan gambar perencanaan, data struktur dan spesifikasi teknis, serta analisis harga satuan pekerjaan kota Palu 2023. Berikut merupakan RAB untuk lingkup pekerjaan struktur meliputi pekerjaan kolom, balok, dan pelat lantai.

Tabel 3. 1 Rekap Volume Struktur Kolom Revit

Tinggi Kolom	Tipe & Family	Jumlah	Volume	Total Volume
4 m	Filled Concrete 676 mm	252	1,83 m ³	461,16 m ³
	Structural Hollow Steel 12 mm	252	0,13 m ³	32,76 m ³
4,5 m	Filled Concrete 676 mm	42	2,06 m ³	86,52 m ³
	Structural Hollow Steel 12 mm	42	0,15 m ³	6,3 m ³

Sumber: Hasil Analisis Revit

Tabel 3. 2 Rekap Rencana Anggaran Biaya

Tinggi Kolom	Volume gabungan Kolom	Jumlah	Total Volume	Harga Satuan	Total (Rp)
4 m	1.96	252	493.92	20,559,710.75	10,154,852,331.72
4,5 m	2.21	42	92.82	20,559,710.75	1,908,352,351.46
TOTAL HARGA SATUAN					12,063,204,683.18
Overhead + Profit (10%)					13,269,525,151.50
Pajak (11%)					1,459,647,766.66
Harga Total Pekerjaan					14,729,172,919.00

Sumber: Hasil Analisis

Dengan hasil analisa volume dengan revit, dan dilakukan analisa dengan harga satuan pekerjaan HSPK Pemerintah Kota Palu 2023. Pembangunan bangunan tahan gempa menggunakan kolom CFST + Pajak, menghabiskan biaya Rp 14,729,172,918.16 atau empat belas milyar tujuh ratus dua puluh sembilan juta sembilan delapan ratus ribu rupiah.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa terkait pengaruh rasio tulangan terhadap perilaku struktur yang meliputi story drift, story stiffness, dan design column ratio, maka dari penelitian ini didapat hasil dalam beberapa poin berikut ini:

1. Nilai Story Drift maksimum A1-1(28,849), A1-2(29,220), A1-3(29,546), A1-4(29,751), A2-1(27,056), A2-2(27,412), A2-3(27,727), A2-4(27,925), dengan ini penambahan rasio tulangan pada kolom CFST memberi efek negatif pada struktur.
2. Nilai kekakuan lantai maksimum pada setiap tipe tidak berbeda jauh, dengan selisih 295 kN/m. Pada bangunan dengan rasio tulangan yang lebih besar diberikan, kekakuan lantai yang terjadi pada bangunan mengalami penurunan.
3. Rasio desain kolom dengan beberapa variasi tulangan tidak menghasilkan perubahan signifikan untuk setiap tipenya, dengan selisih rasio desain antar tingkatan variasi hanya 0,01 dan 0,027 untuk variasi rasio tulangan yang terbesar dan terkecil. Semakin besar rasio tulangan yang diberikan, semakin besar untuk kapasitas desainnya.

4. Rencana Anggaran Biaya Bangunan Rencana

Melalui hasil analisa volume dengan revit, dan analisa harga satuan pekerjaan HSPK Kota Palu 2023. Pembangunan bangunan tahan gempa menggunakan kolom CFST, menghabiskan biaya Rp 14,729,172,918.16.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ANSI/AISC 360-16. (2016). Specification for Structural Steel Buildings Supersedes the Specification for Structural Steel Buildings. www.aisc.org
- [2] Baig, M. N., Fan, J., & Nie, J. (2006). Strength of concrete filled steel tubular columns. *Tsinghua Science and Technology*, 11(6), 657-666.
- [3] 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
- [4] Hasan, A. and Astira, I.F. (2013) STUDI KASUS : PROYEK APARTEMEN THE ROYALE SPRINGHILL RESIDENCES, *Jurnal Teknik Sipil*

-
- dan Lingkungan.
- [5] 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 [6] Soewarno, *Hidrologi, Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data, Jilid 1*. Bandung: Nova, 1995.
- [7] 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.