

Analisis Ekuivalensi Penampang Kolom Beton Bertulang Menjadi *Concrete Filled Steel Tube* (CFST) Terhadap Perpindahan Lateral dan *Story Drift*

*Lince Simanjuntak, Okta Meilawaty & Maryanto

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya

*)lincsimanjuntak08@gmail.com

Received: 09 Juni 2026, Revised: 06 Agustus 2026, Accepted: 07 Agustus 2026

Abstract

The growth of high-rise buildings increases the demand for structural systems with high strength and stiffness. Concrete-Filled Steel Tube (CFST) columns, consisting of steel tubes filled with concrete, are a promising alternative. This study analyzes the equivalence of the reinforcement area in reinforced concrete columns to CFST wall thickness, evaluates the B/t ratio based on SNI 1729:2020, determines the required compact wall thickness, and compares structural responses in terms of lateral displacement and inter-story drift. A quantitative descriptive comparative method was applied using ETABS to model the Integrated Lecture Building of the University of Palangka Raya. Three models were analyzed: the existing reinforced concrete column (Model 1), the reinforcement-equivalent CFST (Model 2), and the SNI 1729:2020-based CFST (Model 3). Model 2 produced wall thicknesses of 1.874–3.532 mm with B/t ratios exceeding the λ_{max} limit, indicating slender sections. Model 3 required wall thicknesses of 13, 9, and 6 mm to satisfy compact criteria. CFST columns reduced lateral displacement by 7.34–22.70% and inter-story drift by 6.63–23.07%.

Keywords: Concrete-Filled Steel Tube (CFST), Cross-sectional Equivalence, B/t Ratio, Lateral Displacement, Story Drift.

Abstrak

Pertumbuhan pembangunan gedung bertingkat mendorong kebutuhan sistem struktur dengan kapasitas dan kekakuan tinggi. Salah satu alternatif yang berkembang adalah kolom komposit Concrete Filled Steel Tube (CFST), yaitu pipa baja yang diisi beton. Penelitian ini bertujuan menganalisis ekuivalensi luas baja tulangan kolom beton bertulang menjadi tebal pipa CFST serta mengevaluasi rasio B/t berdasarkan SNI 1729:2020, menentukan tebal pipa sesuai kriteria penampang kompak, serta membandingkan respons struktur berupa perpindahan lateral dan simpangan antar lantai. Metode penelitian yang digunakan adalah kuantitatif deskriptif komparatif melalui analisis numerik menggunakan ETABS pada Gedung Kuliah Terpadu Universitas Palangka Raya. Analisis dilakukan pada tiga model, yaitu kolom beton bertulang eksisting (Model 1), CFST hasil ekuivalensi tulangan (Model 2), dan CFST berdasarkan SNI 1729:2020 (Model 3). Hasil penelitian menunjukkan Model 2 menghasilkan tebal pipa 1,874–3,532 mm dengan rasio B/t melebihi batas λ_{max} sehingga termasuk penampang langsing. Tebal pipa Model 3 yang memenuhi kriteria kompak adalah 13 mm, 9 mm, dan 6 mm. Penggunaan CFST menurunkan perpindahan lateral 7,34% hingga 22,70% serta mengurangi simpangan antar lantai 6,63% hingga 23,07%.

Kata kunci: Concrete Filled Steel Tube (CFST), Ekuivalensi Penampang, Rasio B/t, Perpindahan Lateral, Story Drift.

Pendahuluan

Pertumbuhan penduduk yang signifikan di Indonesia menjadi salah satu faktor utama yang

mendorong peningkatan kebutuhan terhadap ruang hunian, perkantoran, fasilitas pendidikan, dan berbagai fasilitas pendukung lainnya. Berdasarkan proyeksi Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah

penduduk Indonesia pada pertengahan tahun 2024 diperkirakan mencapai sekitar 281,6 juta jiwa. Peningkatan jumlah penduduk tersebut sejalan dengan perkembangan kawasan perkotaan yang menyebabkan kebutuhan terhadap ruang semakin meningkat, sementara ketersediaan lahan, khususnya di wilayah perkotaan, semakin terbatas sehingga diperlukan strategi pemanfaatan ruang yang lebih efektif. Salah satu pendekatan yang diterapkan adalah pembangunan secara vertikal melalui gedung bertingkat untuk mengoptimalkan penggunaan lahan. Perkembangan pembangunan gedung bertingkat dapat terlihat di berbagai kota besar di Indonesia. Kartowidjojo dan Dharmatanna (2025) menjelaskan bahwa perkembangan gedung bertingkat di Kota Surabaya terus mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya aktivitas ekonomi, bisnis, pendidikan, hiburan, dan kebutuhan hunian. Oleh karena itu, pembangunan vertikal menjadi salah satu solusi dalam memenuhi kebutuhan ruang di kawasan perkotaan yang terus berkembang.

Dalam sistem struktur gedung, kolom memegang peranan kritis sebagai elemen tekan utama yang berfungsi menyalurkan beban dari bagian atas bangunan menuju fondasi kemudian ke tanah. Kegagalan pada kolom berpotensi mengakibatkan runtuh total seluruh bangunan (Batubara dan Manik, 2018 mengutip Sudarmoko, 1996). Oleh karena itu, diperlukan pemilihan material dan sistem kolom yang memiliki kapasitas beban, kekakuan, serta stabilitas yang memadai untuk menjamin keamanan dan kinerja struktur bangunan.

Material konvensional yang umum digunakan dalam konstruksi gedung adalah beton bertulang dan baja. Beton bertulang memiliki keunggulan dalam hal ketahanan lingkungan, kuat tekan, dan ketahanan terhadap korosi namun lemah terhadap tarik. Sedangkan, baja memiliki kekuatan, kekakuan, dan daktilitas yang tinggi, tetapi rentan terhadap tekuk lokal (*local buckling*) pada elemen berpenampang tipis, khususnya pada kolom. Untuk memanfaatkan keunggulan dari kedua material tersebut, dikembangkan struktur komposit. Struktur komposit merupakan sistem struktur yang menggabungkan dua atau lebih jenis material dengan sifat mekanik yang berbeda, sehingga material-material tersebut dapat berinteraksi dan bekerja secara sinergis dalam menerima beban yang bekerja pada struktur (Adityawarman et al., 2023). Penggunaan struktur komposit didasarkan pada prinsip bahwa beton memiliki kemampuan baik dalam menahan beban tekan dan baja memiliki kemampuan menahan beban tarik maupun tekan tetapi, baja perlu diperhatikan

terhadap potensi terjadinya tekuk saat menerima beban tekan (Propika et al., 2020).

Salah satu jenis kolom komposit yang sedang berkembang adalah *Concrete Filled Steel Tube* (CFST), yaitu kolom yang terdiri dari pipa baja berbentuk lingkaran atau persegi yang diisi dengan beton. Pada sistem ini, pipa baja berfungsi sebagai bekisting permanen sekaligus memberikan efek pengekan terhadap inti beton sehingga mampu meningkatkan kapasitas tekan dan daktilitas kolom. Kinerja kolom CFST sangat dipengaruhi oleh rasio lebar terhadap tebal pipa baja (B/t), di mana tingkat kelangsingan dinding baja berpengaruh terhadap kemungkinan terjadinya tekuk lokal. Penelitian (Ahmed et al., 2024) menunjukkan bahwa peningkatan rasio B/t pada kolom CFST berpenampang persegi menyebabkan dinding tabung baja lebih rentan mengalami *local buckling*, sehingga kapasitas tekan kolom menurun.

Penelitian Khalfani dan Wahiddin (2025) menunjukkan bahwa variasi konfigurasi kolom CFST, termasuk perubahan ketebalan pipa baja yang memengaruhi rasio B/t , memberikan pengaruh terhadap respons struktur bangunan tahan gempa, seperti *story drift*, *story stiffness*, dan *design ratio*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rasio B/t merupakan salah satu parameter penting yang memengaruhi kinerja struktur dengan kolom CFST. Selain itu, beberapa penelitian terdahulu telah membuktikan pengaruh rasio B/t terhadap kinerja kolom CFST. Penelitian (Sudarsana et al., 2023) menunjukkan bahwa pengurangan rasio B/t melalui penebalan dinding baja sebesar 50% meningkatkan kapasitas beban hingga 33%, daktilitas sebesar 41,89%, dan kapasitas *drift* sebesar 48%. Dinding baja yang lebih tebal juga memberikan efek pengekan yang lebih kuat terhadap beton, sehingga mampu menunda terjadinya leleh dan memperpendek panjang zona sendi plastis pada struktur.

Penelitian lainnya, (Wahiddin et al., 2025) membuktikan bahwa semakin kecil rasio B/t , struktur bangunan menjadi semakin kaku dan kuat, mampu mereduksi defleksi lateral maksimum hingga 14,75% dan menurunkan *story drift* sebesar 14,60% pada kolom CFST dengan tulangan, serta meningkatkan kapasitas kolom hingga 42,68%. Sejalan dengan hasil penelitian ini, penelitian oleh (Azkiyak dan Wahiddin, 2025) menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan tabung baja pada kolom CFST menyebabkan nilai simpangan antar lantai semakin kecil, kekakuan struktur meningkat, serta kapasitas desain kolom menjadi lebih besar.

Selain itu, penelitian (Putri, 2025) menunjukkan bahwa penurunan rasio B/t pada kolom CFST atau peningkatan ketebalan tabung baja mampu meningkatkan kekakuan lateral struktur serta menurunkan simpangan lateral dan *story drift*. Selanjutnya penelitian lain oleh (Aisyah dan Wahiddin, 2026), semakin kecil rasio B/t kolom CFST maka semakin baik kinerja struktur yang ditunjukkan oleh penurunan *story drift* sebesar 4,64–5,49%, peningkatan *story stiffness* sebesar 8,70–10,57%, dan peningkatan kapasitas desain sebesar 23,56–23,68%.

Meskipun berbagai studi telah membahas pengaruh ketebalan pipa baja pada kolom *Concrete Filled Steel Tube* (CFST), penelitian yang secara spesifik mengkaji pendekatan ekuivalensi penampang, yaitu konversi luas baja tulangan pada kolom beton bertulang eksisting menjadi tebal pipa baja kolom CFST masih relatif terbatas dalam literatur. Sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada variasi tebal pipa baja dan perilaku struktural kolom CFST tanpa mengembangkan metode ekuivalensi penampang yang menghubungkan kolom beton bertulang dengan kolom CFST.

Kebaruan dalam penelitian ini terletak pada penerapan metode ekuivalensi luas baja tulangan kolom beton bertulang menjadi tebal pipa baja kolom CFST. Pendekatan ini memungkinkan analisis pengaruh perubahan distribusi material baja dari tulangan menjadi pipa baja dengan luas penampang yang setara, terhadap kinerja struktur.

Penelitian ini mengambil studi kasus pada Gedung Kuliah Terpadu Universitas Palangka Raya, Provinsi Kalimantan Tengah. Gedung setinggi 27,00 m ini merupakan bangunan fasilitas pendidikan. Tujuan penelitian ini adalah: (1) menganalisis ekuivalensi luas baja tulangan kolom beton bertulang eksisting menjadi tebal pipa CFST serta mengevaluasi pemenuhan rasio B/t sesuai SNI 1729:2020; (2) menentukan tebal pipa baja kolom CFST Model 3 berdasarkan ketentuan penampang kompak menurut SNI 1729:2020; (3) membandingkan perpindahan lateral struktur; dan (4) membandingkan simpangan antar lantai pada ketiga model struktur.

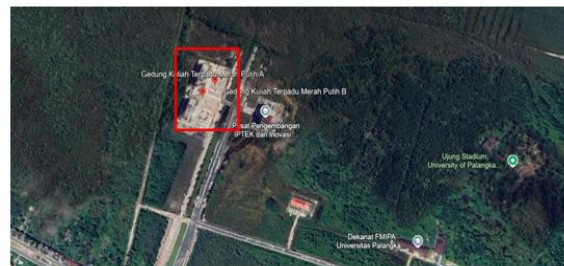
Metode

Metode kuantitatif deskriptif komparatif dipilih karena penelitian ini bertujuan mengukur dan membandingkan kinerja struktur pada beberapa model kolom secara numerik berdasarkan parameter yang terukur, yaitu perpindahan lateral dan simpangan antar lantai, sehingga perbedaan antar model dapat dianalisis secara objektif berdasarkan data hasil simulasi dan bukan

berdasarkan interpretasi kualitatif. Penelitian ini menggunakan metode tersebut dengan analisis numerik menggunakan perangkat lunak ETABS guna membandingkan kinerja dinamik tiga model struktur gedung khususnya terhadap parameter perpindahan lateral (*displacement*) dan simpangan antar lantai (*story drift*) akibat pembebanan. Tiga model struktur yang akan dibandingkan, yaitu Model 1 menggunakan kolom beton bertulang eksisting, Model 2 menggunakan kolom *Concrete Filled Steel Tube* (CFST) hasil ekuivalensi luas baja tulangan, dan Model 3 menggunakan kolom CFST dengan ketebalan pipa baja berdasarkan persyaratan SNI 1729:2020. Pada ketiga model tersebut, elemen balok dan pelat lantai tetap menggunakan beton bertulang eksisting. Penetapan balok dan pelat lantai sebagai elemen kontrol bertujuan untuk menjaga keseragaman kondisi pemodelan sehingga perbedaan respons struktur yang dihasilkan hanya dipengaruhi oleh perubahan sistem kolom. Dengan demikian, pengaruh penggunaan kolom CFST terhadap perilaku struktur dapat dianalisis lebih spesifik.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan pada Gedung Kuliah Terpadu Universitas Palangka Raya Jalan Hendrik Timang, Kota Palangka Raya, Kalimantan Tengah. Visualisasi lokasi, gedung, serta denah gedung disajikan pada Gambar 1, Gambar 2, Gambar 3.



Gambar 1. Lokasi penelitian, Gedung Kuliah Terpadu Universitas Palangka Raya



Gambar 2. Gedung Kuliah Terpadu Universitas Palangka Raya



Gambar 3. Denah Gedung Kuliah Terpadu Universitas Palangka Raya

Data Penelitian

Data dalam penelitian ini adalah data sekunder berupa gambar *Detailed Engineering Design* (DED) Gedung Kuliah Terpadu Universitas Palangka Raya. Gambar DED tersebut digunakan sebagai acuan utama dalam melakukan pemodelan struktur. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

- Gambar denah arsitektur dan denah struktur
- Gambar detail kolom beton bertulang
- Gambar detail balok dan pelat lantai
- Data spesifikasi material meliputi:
 - Mutu tulangan longitudinal $f_y = 420$ MPa (D19)
 - Mutu tulangan geser $f_y = 235$ MPa ($\phi 10$)
 - Mutu beton $f_c' = 21,7$ MPa

Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah (1) variabel bebas yaitu jenis kolom, (2) variabel terikat yaitu perpindahan lateral (*displacement*) dan simpangan antar lantai (*story drift*) serta (3) variabel kontrol mencakup dimensi luar kolom, mutu beton (f_c'), mutu baja (f_y), geometri bangunan.

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara bertahap yaitu:

1) Pentuan tebal pipa baja

Tebal dinding pipa baja untuk Model 2 ditentukan menggunakan pendekatan ekuivalensi penampang, yaitu dengan menyamakan luas penampang baja tulangan pada kolom beton bertulang (Model 1) dengan luas penampang pipa baja CFST (Model 2). Berdasarkan pendekatan tersebut, tebal pipa baja (t) dihitung menggunakan persamaan:

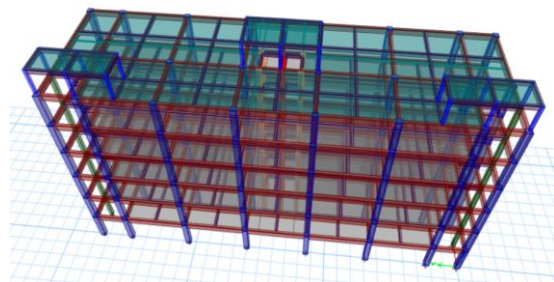
$$\frac{A_{\text{Pipa Baja}}}{4 \times B} = t_{\text{Pipa Baja}} \quad (1)$$

Selanjutnya, nilai rasio B/t yang diperoleh dievaluasi terhadap batas klasifikasi penampang berdasarkan Pasal I2.2a SNI 1729:2020, yang meliputi batas penampang kompak ($\lambda_p = 2,26\sqrt{E/F_y}$), batas penampang nonkompak ($\lambda_r = 3,00\sqrt{E/F_y}$), dan batas maksimum kelangsingan elemen tekan ($\lambda_{max} = 5,00\sqrt{E/F_y}$).

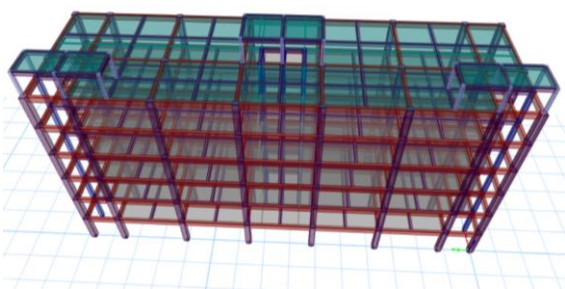
Pada Model 3, tebal pipa baja tidak ditentukan melalui pendekatan ekuivalensi penampang, melainkan secara langsung berdasarkan SNI 1729:2020 sesuai persyaratan penampang kompak $B/t \leq \lambda_p = 2,26\sqrt{E/F_y}$.

2) Pemodelan dan analisis

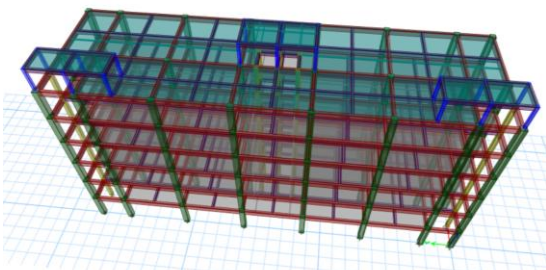
Pemodelan dan analisis struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS. Pembebanan yang diperhitungkan meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Analisis beban gempa dilakukan dengan metode respons spektrum sesuai ketentuan SNI 1726:2019. Metode respons spektrum dipilih karena mampu memperhitungkan karakteristik dinamik struktur melalui respons pada berbagai mode getar, sehingga dapat digunakan untuk menganalisis pengaruh perubahan sistem kolom terhadap perilaku struktur akibat beban gempa. Pada penelitian ini, penggunaan kolom CFST menyebabkan adanya perubahan karakteristik penampang dibandingkan kolom beton bertulang eksisting, sehingga diperlukan analisis dinamik untuk mengetahui pengaruhnya terhadap respons lateral struktur. Oleh karena itu, dibuat tiga variasi model struktur dalam perangkat lunak ETABS, yaitu Model 1, Model 2, dan Model 3 yang disajikan pada Gambar 4 Gambar 5 dan Gambar 6. Parameter percepatan spektral ditentukan berdasarkan lokasi bangunan di Kota Palangka Raya. Kombinasi pembebanan diterapkan sesuai persyaratan SNI 1726:2019. Untuk memastikan keandalan hasil analisis, dilakukan kontrol terhadap periode fundamental struktur, rasio partisipasi massa kumulatif minimum 90%, dan gaya geser dasar.



Gambar 4. Pemodelan Struktur Model 1 (Beton Bertulang Eksisting)



Gambar 5. Pemodelan Struktur Model 2 (CFST Hasil Ekuivalensi)



Gambar 6. Pemodelan Struktur Model 3 (CFST Sesuai SNI 1729:2020)

3) Evaluasi kinerja struktur

Evaluasi kinerja difokuskan pada dua parameter utama, yaitu perpindahan lateral (*displacement*) dan simpangan antar lantai (*story drift*). Simpangan antar lantai yang diperoleh dibandingkan terhadap batas izin sesuai SNI 1726:2019 untuk memastikan stabilitas global gedung.

Hasil dan Pembahasan

1. Ekuivalensi dan Evaluasi Rasio B/t

Sebelum ekuivalensi ketebalan pipa baja CFST dihitung, terlebih dahulu dihitung luas baja

tulangan pada kolom beton bertulang eksisting, yang mencakup tulangan longitudinal dan tulangan sengkang. Total luas baja tulangan tersebut dapat di lihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Rekapitulasi Total Luas Baja Tulangan Pada Kolom Beton Bertulang Eksisting

Tipe Kolom	Luas Tulangan Longitudinal (mm ²)	Luas Tulangan Sengkang (mm ²)	Luas Total Tulangan (mm ²)
K1	5670,575	2199,115	7869,690
K2	3402,345	2199,115	5601,460
K3	452,389	1407,434	1859,823

Berdasarkan hasil ekuivalensi luas penampang tulangan baja eksisting menjadi tebal pipa baja, diperoleh tebal yang tipis pada seluruh tipe kolom. Kondisi ini disebabkan karena ekuivalensi hanya mempertahankan kesetaraan luas penampang baja antara tulangan eksisting dan dinding pipa baja, sedangkan luas tulangan longitudinal eksisting jauh lebih kecil dibandingkan luas permukaan keliling pipa yang digunakan sebagai pengganti tulangan. Akibatnya, luas baja yang sama harus didistribusikan pada keliling penampang pipa yang lebih besar sehingga menghasilkan ketebalan dinding pipa yang kecil. Kolom K1 (600 × 600 mm) menghasilkan tebal pipa 3,297 mm, K2 (400 × 400 mm) sebesar 3,532 mm, dan K3 (250 × 250 mm) sebesar 1,874 mm. Tebal tersebut dievaluasi terhadap rasio B/t berdasarkan SNI 1729:2020, seluruh tipe kolom CFST pada Model 2 melampaui batas kompak ($\lambda_p = 49,317$) dan batas non-kompak ($\lambda_r = 65,465$) bahkan batas maksimum ($\lambda_r = 109,109$) yang termasuk dalam kategori penampang langsing (*slender*), sebagaimana ditampilkan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Rekapitulasi Evaluasi Rasio Lebar Terhadap Tebal B/t

Tipe Kolom	Dimensi (B x H) mm	Tebal Pipa Baja (mm)	B/t	Batas Rasio			Klasifikasi penampang
				(λ_p)	(λ_r)	(λ_{max})	
K1	600 × 600	3,297	181,975	49,317	65,465	109,109	Langsing
K2	400 × 400	3,532	113,247	49,317	65,465	109,109	Langsing
K3	250 × 250	1,874	133,414	49,317	65,465	109,109	Langsing

Kondisi ini menunjukkan bahwa pendekatan ekuivalensi luas baja tulangan belum cukup untuk menghasilkan tebal pipa baja kolom CFST yang memadai berdasarkan persyaratan SNI 1729:2020. Hal tersebut disebabkan karena pipa baja hasil ekuivalensi memiliki ketebalan yang tipis/rendah sehingga menghasilkan rasio B/t yang besar dan menyebabkan penampang masuk dalam kategori langsing (*slender*). Penampang dengan kategori

langsing memiliki kecenderungan mengalami tekuk lokal sebelum baja mencapai kapasitas maksimumnya, sehingga dapat mengurangi efektivitas kontribusi pipa baja dalam menahan beban aksial maupun momen lentur. Oleh karena itu, dalam desain kolom CFST, penentuan tebal pipa tidak cukup hanya didasarkan pada kesetaraan luas baja tulangan, tetapi juga perlu mempertimbangkan rasio lebar terhadap tebal (B/t)

penampang untuk memastikan dinding pipa mampu memenuhi persyaratan batas kelangsingan dan tidak mengalami tekuk lokal saat menerima beban. Secara praktis, temuan ini menunjukkan bahwa apabila pendekatan ekuivalensi luas tulangan tetap digunakan sebagai dasar desain, diperlukan tindakan tambahan seperti pemasangan pengaku pada dinding pipa atau penyesuaian dimensi penampang agar rasio B/t memenuhi batas kompak sesuai SNI 1729:2020. Dengan demikian, metode ekuivalensi luas lebih tepat diposisikan sebagai tahap awal estimasi kebutuhan material baja, sedangkan penetapan tebal akhir pipa tetap harus diverifikasi terhadap persyaratan klasifikasi penampang sebelum diterapkan pada desain struktur yang sesungguhnya.

2. Penentuan tebal pipa baja sesuai SNI 1729:2020 (Model 3)

Untuk Model 3, tebal pipa baja ditentukan berdasarkan kriteria penampang kompak menurut SNI 1729:2020 dengan batas rasio ($B/t \leq \lambda_p = 2,26\sqrt{E/F_y}$) yaitu 49,317. Tebal minimum pipa baja yang diperlukan serta tebal pipa baja rencana yang digunakan disajikan pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Rekapitulasi Tebal Rencana Pipa Baja Sesuai SNI 1729-2020

Tipe Kolom	Dimensi (B x H) mm	Tebal Pipa Baja Sesuai SNI (mm)	Tebal Pipa Baja Rencana (mm)
K1	600 × 600	12,166	13
K2	400 × 400	8,111	9
K3	250 × 250	5,069	6

3. Perbandingan kekakuan lentur efektif (EI_{eff})

Kekakuan struktur dipengaruhi oleh properti penampang dan modulus elastisitas material yang digunakan. Perbandingan nilai kekakuan lentur efektif (EI_{eff}) antara ketiga model disajikan pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Rekapitulasi Perbandingan Kekakuan Kolom pada Setiap Model

Tipe Kolom	Kekakuan EI_{eff} (kNm ²)		
	Model 1 Beton Bertulang	Model 2 CFST Ekuivalensi	Model 3 CFST Sesuai SNI
K1	165519,64	239034,00	503181,04
K2	32695,24	58493,52	101916,05
K3	4988,90	8241,76	16237,86

Berdasarkan Tabel 4 nilai EI_{eff} kolom CFST Model 3 lebih besar dibandingkan Model 1 dan Model 2, karena pipa baja yang lebih tebal berkontribusi

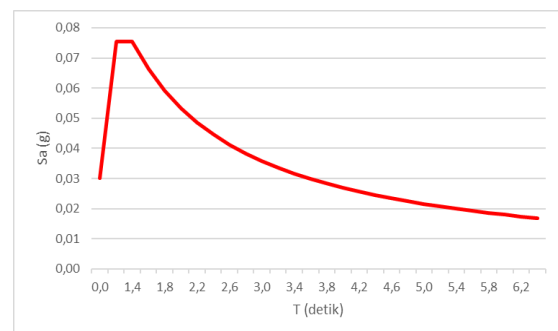
signifikan terhadap momen inersia penampang komposit.

4. Analisis pembebanan

Analisis struktur mempertimbangkan beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Beban mati mengacu pada PPURG tahun 1983 dan beban hidup mengacu pada SNI 1727:2020, sedangkan beban gempa dianalisis menggunakan metode respons spektrum berdasarkan SNI 1726:2019. Untuk beban gempa digunakan wilayah gempa Kota Palangka Raya, parameter percepatan spektral (S_s dan S_1) diperoleh melalui website desain spektra Indonesia (RSA Cipta Karya) (sumber: <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>)

- Beban mati tambahan
 - Berat Plafond = 11 kg/m²
 - Berat rangka plafond = 7 kg/m²
 - Spesi = 21 kg/m²
 - Keramik = 24 kg/m²
 - Berat instalasi (ME) = 10 kg/m²
 - Dinding pasangan bata = 250 kg/m²
- Beban hidup
 - Beban guna = 1,92 kN/m²
 - Beban hidup atap = 0,96 kN/m²
- Beban gempa
Parameter gempa pada struktur yang digunakan sebagai berikut:
 - $S_s MCE_R$ = 0,047 g
 - $S_1 MCE_R$ = 0,039 g
 - T_L = 12 s
 - T_0 = 0,31 s
 - T_s = 1,57 s
 - SD_s = 0,076 g
 - SD_1 = 0,109 g

Kurva spektrum respons desain sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva Respons Spektrum

5. Kontrol Rasio Partisipasi Massa

Sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.1 di mana, analisis harus menyertakan jumlah ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa struktur. Berikut merupakan Tabel nilai partisipasi massa dari ketiga model struktur:

Tabel 5. Partisipasi Massa Model 1 (Beton Bertulang Eksisting)

Case	Mode	Period (sec)	UX	UY	SumUX	SumUY
Modal	1	1,79	79,180%	0,000%	79,180%	0,000%
Modal	2	1,583	0,004%	67,070%	79,180%	67,070%
Modal	3	1,515	0,010%	12,980%	79,190%	80,040%
Modal	4	0,542	11,190%	0,000%	90,380%	80,040%
Modal	5	0,489	0,000%	9,440%	90,380%	89,490%
Modal	6	0,469	0,000%	1,460%	90,380%	90,950%
Modal	7	0,289	3,660%	0,000%	94,040%	90,950%
Modal	8	0,275	0,000%	2,510%	94,040%	93,460%
Modal	9	0,263	0,000%	0,160%	94,040%	93,620%
Modal	10	0,242	1,530%	0,000%	95,570%	93,620%
Modal	11	0,235	0,000%	2,030%	95,570%	95,650%
Modal	12	0,217	0,000%	0,240%	95,570%	95,890%

Tabel 6. Partisipasi Massa Model 2 (CFST Hasil Ekuivalensi)

Case	Mode	Period (sec)	UX	UY	SumUX	SumUY
Modal	1	1,618	77,360%	0,000%	77,360%	0,000%
Modal	2	1,451	0,002%	74,590%	77,360%	74,590%
Modal	3	1,354	0,010%	3,680%	77,370%	78,270%
Modal	4	0,468	12,100%	0,000%	89,470%	78,270%
Modal	5	0,431	0,000%	11,210%	89,470%	89,480%
Modal	6	0,402	0,000%	0,470%	89,470%	89,960%
Modal	7	0,233	4,480%	0,000%	93,960%	89,960%
Modal	8	0,223	0,000%	3,810%	93,960%	93,770%
Modal	9	0,209	0,000%	0,120%	93,960%	93,890%
Modal	10	0,190	1,200%	0,000%	95,160%	93,890%
Modal	11	0,186	0,000%	1,380%	95,160%	95,270%
Modal	12	0,169	0,000%	0,130%	95,160%	95,400%

Tabel 7. Partisipasi Massa Model 3 (CFST Sesuai SNI 1729:2020)

Case	Mode	Period (sec)	UX	UY	SumUX	SumUY
Modal	1	1,445	76,080%	0,000%	76,080%	0,000%
Modal	2	1,311	0,001%	74,150%	76,080%	74,150%
Modal	3	1,22	0,010%	2,820%	76,090%	76,970%
Modal	4	0,402	12,860%	0,000%	88,950%	76,970%
Modal	5	0,375	0,000%	11,980%	88,950%	88,940%
Modal	6	0,349	0,000%	0,390%	88,950%	89,330%
Modal	7	0,191	4,810%	0,000%	93,760%	89,330%
Modal	8	0,185	0,000%	4,310%	93,760%	93,650%
Modal	9	0,173	0,001%	0,090%	93,760%	93,730%
Modal	10	0,154	1,200%	0,000%	94,950%	93,730%
Modal	11	0,152	0,000%	1,280%	94,950%	95,010%
Modal	12	0,139	0,000%	0,110%	94,950%	95,130%

6. Kontrol Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Pemeriksaan gaya geser dasar (*base shear*) dilakukan sebagai salah satu parameter evaluasi struktur.

Nilai gaya geser yang diperoleh dari hasil analisis untuk masing-masing model disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Gaya Geser Dasar (Base Shear)

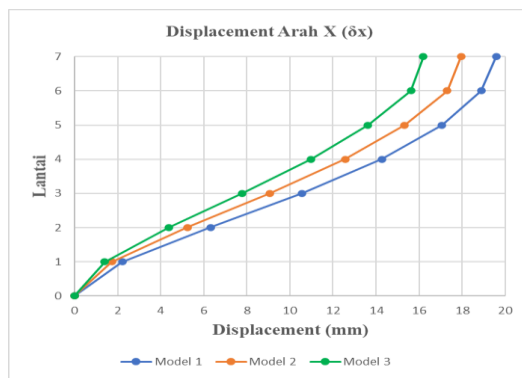
Model	Gaya Geser Dasar (<i>Base Shear</i>) (kN)				Kontrol	
	Statik (V_s)		Dinamik (V_d)		($V_d \geq V_s$)	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Model 1	724,275	724,275	724,275	724,275	OK	OK
Model 2	770,608	770,608	770,608	770,608	OK	OK
Model 3	787,160	787,160	787,160	787,160	OK	OK

7. Perpindahan Lateral (*Displacement*)

Perpindahan lateral merupakan besarnya pergeseran struktur pada tiap lantai akibat beban lateral. Berdasarkan analisis ETABS, nilai perpindahan lateral pada arah X dan Y untuk ketiga model disajikan pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9. Nilai *Displacement* Arah X

Lantai	<i>Displacement</i> δ_x (mm)		
	Model 1 (mm)	Model 2 (mm)	Model 3 (mm)
7	19,588	17,943	16,187
6	18,881	17,313	15,613
5	17,055	15,328	13,629
4	14,262	12,558	10,993
3	10,573	9,074	7,796
2	6,318	5,229	4,385
1	2,212	1,733	1,406
Base	0	0	0



Gambar 8. Nilai *Displacement* Arah X

Perpindahan lateral arah X pada ketiga model meningkat secara bertahap dari lantai dasar hingga maksimum di lantai 7. Perpindahan lateral maksimum Model 1, 2, dan 3 berturut-turut adalah 19,588 mm, 17,943 mm, dan 16,187 mm.

$$\text{Penurunan \%} = \frac{\delta_{\text{Model 1}} - \delta_{\text{Model 2}}}{\delta_{\text{Model 1}}} \times 100\%$$

$$\text{Penurunan \%} = \frac{19,588 - 17,943}{19,588} \times 100\%$$

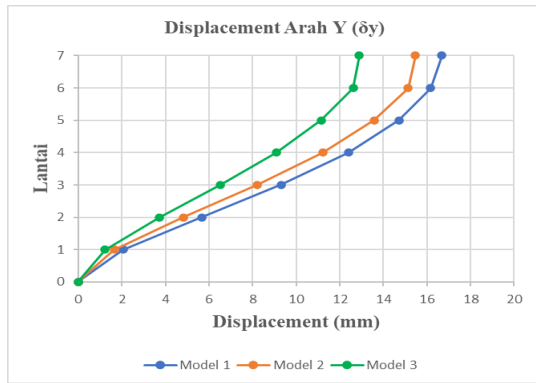
Penurunan = 8,40%

Penggunaan kolom CFST pada Model 2 dan Model 3 menurunkan perpindahan lateral sebesar 8,40% dan 17,36% terhadap Model 1. Penurunan perpindahan lateral tersebut terjadi akibat meningkatnya kekakuan lentur efektif (EI) elemen kolom CFST pada Tabel 4. Peningkatan kekakuan menyebabkan elemen struktur memiliki kemampuan lebih besar dalam memberikan tahanan terhadap gaya lateral akibat gempa. Berdasarkan hubungan antara gaya, kekakuan, dan deformasi, peningkatan kekakuan lateral akan menghasilkan deformasi yang lebih kecil untuk gaya lateral yang sama. Oleh karena itu, peningkatan kekakuan kolom CFST menyebabkan rotasi dan lendutan elemen kolom berkurang, sehingga perpindahan lateral struktur menjadi lebih rendah dibandingkan kolom beton bertulang eksisting. Walaupun perpindahan berkurang, pola kurva *displacement* ketiga model tetap serupa, yang menunjukkan bahwa karakteristik respons global struktur tidak mengalami perubahan.

Nilai perpindahan terkecil pada Model 3 menunjukkan bahwa rasio B/t yang lebih kecil akibat peningkatan ketebalan pipa baja menghasilkan kekakuan penampang yang lebih tinggi, sehingga struktur mampu membatasi deformasi lateral dengan lebih baik. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian (Wahiddin et al., 2025) yang menunjukkan bahwa penurunan rasio B/t mereduksi perpindahan lateral struktur dan penelitian (Azkiyak dan Wahiddin, 2025) yang menyimpulkan bahwa rasio B/t yang lebih kecil mampu meningkatkan kekakuan struktur.

Tabel 10. Nilai *Displacement* Arah Y

Lantai	<i>Displacement</i> δ_y (mm)		
	Model 1	Model 2	Model 3
7	16,686	15,462	12,898
6	16,159	15,138	12,619
5	14,72	13,563	11,15
4	12,4	11,221	9,091
3	9,294	8,209	6,53
2	5,661	4,817	3,735
1	2,054	1,643	1,227
Base	0	0	0



Gambar 9. Nilai *Displacement* Arah Y

Perpindahan lateral arah Y pada ketiga model menunjukkan pola yang sama dengan arah X, yaitu bernilai nol pada lantai dasar dan meningkat secara bertahap hingga mencapai nilai maksimum pada lantai 7. Model 1 (kolom beton bertulang) menghasilkan perpindahan lateral terbesar, yaitu sebesar 16,686 mm. Sementara itu, Model 2 (CFST Ekuivalensi) dan Model 3 (CFST Sesuai SNI) masing-masing menghasilkan perpindahan lateral sebesar 15,462 mm dan 12,898 mm. Dibandingkan dengan Model 1, penggunaan kolom CFST pada Model 2 mampu menurunkan perpindahan lateral sebesar 7,34%, sedangkan Model 3 menunjukkan penurunan yang lebih signifikan, yaitu sebesar 22,70%.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan kolom *Concrete Filled Steel Tube* (CFST) berpengaruh terhadap perilaku struktur dalam menahan beban lateral arah Y. Penurunan perpindahan lateral pada model CFST disebabkan oleh meningkatnya kekakuan lentur efektif kolom pada Tabel 4 akibat kerja komposit antara pipa baja dan beton pengisi. Pipa baja pada bagian terluar penampang meningkatkan kemampuan penampang dalam menahan momen lentur akibat gaya lateral, sehingga nilai kekakuan EI menjadi lebih besar. Semakin besar kekakuan kolom, semakin kecil deformasi lentur yang terjadi, sehingga perpindahan lateral struktur dapat berkurang.

Meskipun terjadi penurunan nilai perpindahan lateral, ketiga model tetap menunjukkan bentuk kurva yang relatif serupa. Kondisi ini menunjukkan bahwa penggunaan kolom CFST tidak mengubah pola respons global struktur, melainkan meningkatkan kemampuan struktur dalam mengendalikan deformasi lateral.

Model 3 menghasilkan perpindahan lateral terkecil dibandingkan model lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan pipa baja dengan ketebalan yang memenuhi persyaratan rasio B/t berdasarkan SNI 1729:2020 memberikan kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan Model 2 maupun Model 1.

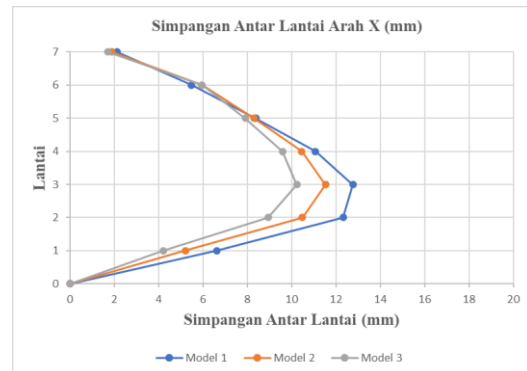
Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian (Wahiddin et al., 2025) dan penelitian (Azkiyik dan Wahiddin, 2025).

8. Simpangan antar lantai (*story drift*)

Simpangan antar lantai merupakan selisih perpindahan lateral antar dua lantai yang berdekatan. Berdasarkan SNI 1726:2019, simpangan antar lantai tidak boleh melebihi simpangan izin yang berlaku. Rekapitulasi simpangan antar lantai ketiga model disajikan pada Tabel 11 dan Tabel 12.

Tabel 11. Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah X

Lantai	<i>Story Drift</i> Arah X (mm)		
	Model 1	Model 2	Model 3
7	2,121	1,890	1,722
6	5,478	5,955	5,952
5	8,379	8,310	7,908
4	11,067	10,452	9,591
3	12,765	11,535	10,233
2	12,318	10,488	8,937
1	6,636	5,199	4,218
0	0	0	0



Gambar 10. *Story Drift* Akibat Gempa Arah X pada Ketiga Model Struktur

Berdasarkan Tabel 11 dan Gambar 9, grafik nilai simpangan antar lantai arah X pada ketiga model menunjukkan bahwa nilai maksimum terjadi pada lantai 3, yaitu Model 1 sebesar 12,765 mm, Model 2 sebesar 11,535 mm dan Model 3 sebesar 10,233 mm. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan kolom CFST terhadap simpangan antar lantai, dilakukan perhitungan persentase penurunan dengan menggunakan Model 1 sebagai model acuan sebagai berikut:

$$\text{Penurunan \%} = \frac{\Delta_{\text{Model 1}} - \Delta_{\text{Model 2}}}{\Delta_{\text{Model 1}}} \times 100\%$$

$$\text{Penurunan \%} = \frac{12,765 - 11,535}{12,765} \times 100\%$$

$$\text{Penurunan \%} = 9,64\%$$

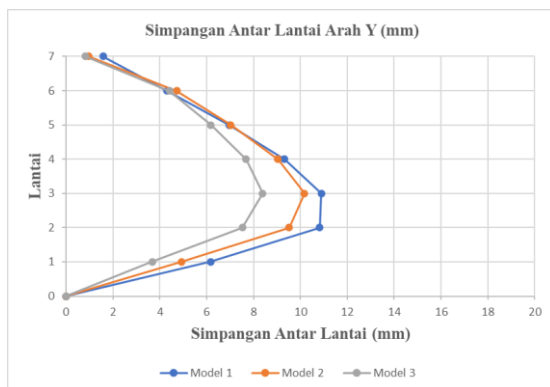
Berdasarkan hasil perhitungan nilai simpangan antar lantai maksimum pada Model 2 mengalami penurunan sebesar 9,64%, sedangkan pada Model 3 mengalami penurunan sebesar 19,84%.

Meskipun model CFST mengalami penurunan simpangan antar lantai, pola dan bentuk kurva yang dihasilkan sama dengan model beton bertulang eksisting yang berarti tidak mengubah karakteristik distribusi deformasi struktur sepanjang tinggi bangunan melainkan mereduksi deformasi yang terjadi.

Reduksi simpangan yang signifikan pada Model 3 dibandingkan Model 2 menunjukkan bahwa semakin tebal pipa baja yang digunakan atau semakin kecil rasio B/t , maka kemampuan struktur dalam mengendalikan respons akibat pembebanan lateral menjadi semakin baik. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian (Wahiddin et al., 2025) serta Nurrahma dan Wahiddin (2026) yang menyatakan bahwa penurunan rasio B/t dapat mereduksi simpangan antar lantai.

Tabel 12. Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah Y

Lantai	Story Drift Arah Y (mm)		
	Model 1	Model 2	Model 3
7	1,581	0,972	0,837
6	4,317	4,725	4,407
5	6,96	7,026	6,177
4	9,318	9,036	7,683
3	10,899	10,176	8,385
2	10,821	9,522	7,524
1	6,162	4,929	3,681
0	0	0	0



Gambar 11. Story Drift Akibat Gempa Arah Y pada Ketiga Model Struktur

Berdasarkan Tabel 12 dan Gambar 10, nilai simpangan antar lantai arah Y menunjukkan bahwa Model 1 (beton bertulang) menghasilkan simpangan terbesar, diikuti oleh Model 2 (CFST ekuivalensi), sedangkan simpangan terkecil terjadi pada Model 3 (CFST sesuai SNI 1729:2020). Nilai

Simpangan antar lantai maksimum pada ketiga model terjadi pada lantai 3, yaitu sebesar 10,899 mm untuk Model 1, dan 10,176 mm untuk Model 2, serta 8,386 mm untuk Model 3. Dibandingkan dengan Model 1, nilai simpangan antar lantai maksimum pada Model 2 mengalami penurunan sebesar 6,63%, sedangkan pada Model 3 mengalami penurunan yang lebih signifikan, yaitu sebesar 23,07%.

Bentuk kurva yang relatif sama pada ketiga model menunjukkan bahwa penggunaan kolom CFST tidak mengubah pola distribusi simpangan antar lantai sepanjang tinggi struktur. Namun demikian, penggunaan kolom CFST mampu menurunkan besarnya simpangan antar lantai pada setiap tingkat bangunan. Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur dengan kolom CFST memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan struktur dengan kolom beton bertulang eksisting sehingga deformasi relatif antar lantai akibat pembebanan gempa lebih kecil.

Model 3 (CFST sesuai SNI) menghasilkan penurunan simpangan antar lantai yang lebih besar dibandingkan Model 2 (CFST ekuivalensi). Hasil tersebut sejalan dengan beberapa penelitian terdahulu seperti penelitian (Wahiddin et al., 2025), penelitian (Putri, 2025) serta Nurrahma dan Wahiddin (2026) yang menyatakan bahwa penurunan rasio B/t dapat mereduksi simpangan antar lantai.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Ekuivalensi luas baja tulangan menjadi tebal pipa CFST dan evaluasi rasio B/t . Konversi luas total baja tulangan eksisting menjadi tebal pipa baja CFST (Model 2) menghasilkan tebal pipa yang relatif tipis (berkisar 1,874–3,532 mm) untuk ketiga tipe kolom. Tebal tersebut menghasilkan rasio B/t yang jauh melampaui batas maksimum kelangsingan λ_{max} menurut SNI 1729:2020, sehingga seluruh penampang kolom CFST hasil ekuivalensi dikategorikan sebagai penampang langsing (*slender*). Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan ekuivalensi luas penampang saja belum memadai untuk menghasilkan tebal pipa baja yang memenuhi persyaratan klasifikasi penampang SNI 1729:2020, karena tidak mempertimbangkan rasio B/t sebagai kriteria desain.
2. Penentuan tebal pipa baja Model 3 berdasarkan penampang kompak SNI 1729:2020. Untuk memenuhi kriteria penampang kompak ($B/t \leq \lambda_p$), diperlukan tebal pipa sebesar 13 mm, 9

mm, dan 6 mm berturut-turut untuk kolom K1, K2, dan K3.

3. Perbandingan perpindahan lateral struktur. Penggunaan kolom CFST pada Model 2 dan Model 3 menurunkan perpindahan lateral struktur dibandingkan Model 1 (kolom beton bertulang eksisting), baik pada arah X maupun arah Y, dengan penurunan berkisar 7,34–22,70% tergantung model dan arah pembebanan. Penurunan ini terjadi akibat meningkatnya kekakuan lentur efektif elemen kolom seiring bertambahnya ketebalan pipa baja, sementara pola distribusi perpindahan lateral sepanjang tinggi bangunan tidak berubah signifikan antar model.
4. Perbandingan simpangan antar lantai. Simpangan antar lantai maksimum pada ketiga model konsisten terjadi pada lantai yang sama (lantai 3) untuk kedua arah pembebanan, dengan Model 2 dan Model 3 menghasilkan simpangan yang lebih kecil dibandingkan Model 1. Penurunan *story drift* yang dihasilkan berkisar 6,63–23,07%, dengan Model 3 memberikan reduksi terbesar. Hasil ini menegaskan bahwa semakin kecil rasio B/t (semakin tebal pipa baja), semakin baik kemampuan struktur dalam mengendalikan deformasi antar lantai akibat beban gempa, tanpa mengubah karakteristik pola distribusi deformasi struktur secara keseluruhan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Kepala Program Studi Teknik Sipil, Universitas Palangka Raya atas dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Adityawarman, R. S., Warsito, & Bakhtiar, A. (2024). Studi alternatif perencanaan struktur komposit pada RSUD Bangil Kabupaten Pasuruan. *Jurnal Rekayasa Sipil (e-Journal)*, 14(1).
- Ahmed, M., Shahin, R. I., Yehia, S. A., Emara, M., Patel, V. I., & Liang, Q. Q. (2024). *Nonlinear analysis of square steel-reinforced concrete-filled steel tubular short columns considering local buckling*. *Structural Concrete*, 25(1), 69–84.
- Aisya, A.N. (2026) '*Analisis Kinerja Struktur Gedung Teknik Listrik Polinema Menggunakan Kolom Concrete Filled Steel Tubular (CFST)*', 7, pp. 362–367.
- Azkiyik, S.A. dan Wahiddin (2025) '*Pengaruh Ketinggian Kolom Concrete Filled Steel Tubular*', 6, pp. 91–99.
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Jumlah penduduk pertengahan tahun (ribu jiwa), 2024*. Badan Pusat Statistik.
- Badan Standardisasi Nasional (2019) '*Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*', SNI 2847-2019, (8), p. 720.
- Badan Standardisasi Nasional (2019) *SNI 1726:2019: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2020. *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. SNI 1729:2020
- Baig, M.N., Jiansheng, F.A.N. and Jianguo, N.I.E. (2006) '*Strength of Concrete Filled Steel Tubular Columns*', 11(6).
- Batubara, S. dan Manik, D. (2018) '*Pengaruh Lubang Pada Kolom Akibat Gaya Aksial Tekan*', 1(1), pp. 1–8.
- Khalfani, M. Z., & Wahiddin. (2025). Pengaruh rasio tulangan kolom *Concrete Filled Steel Tubular* (CFST) pada bangunan tahan gempa. *JOS-MRK (Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi)*, 6(2).
- Kartowidjojo, R.I. & Dharmatanna, S.W. (2025) '*Overview of High Rise Development in Surabaya City in Several Periods of Years*', 8(1), pp. 62–72.
- PPIUG (1983) '*Ppiug*', Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Baangunan, pp. 1–32.
- Propika, J., Fitriyah, D.K. dan Septiarsilia, Y. (2020) '*Analisa Perbandingan Kolom Komposit Inside Steel dan Outside Steel terhadap Kapasitas Tahanan Aksial dan Momen*', Reka Buana: *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 5(2), hlm. 159–170.
- Putri, V.M. (2025) '*Pengaruh Rasio B/t Kolom Concrete Filled Steel Tubular Pada Bangunan Gedung Tahan Gempa*', 6(September), pp. 183–188.
- SNI 1727:2020 (2020) '*Penetapan Standar Nasional Indonesia 1727: 2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur*', *Badan Standarisasi Nasional 1727:2020*, (8), pp. 1–336.
- Sudarsana, I.K., Budiwati, I.A.M. dan Priyatna, P.R. (2023) '*Karakteristik Perilaku Kolom Concrete-Filled Tubes (CFT) dengan Beban Lateral Siklik Eksentrik Menggunakan Metode Elemen Hingga*', *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 25(2), hlm. 203–214.
- Wahiddin, Ratnaningsih, D. dan Zettyara, D. (2025) '*Evaluasi Penggunaan Concrete Filled Steel Tubular pada Bangunan Gedung Tahan Gempa*', *PROKONS: Jurnal Teknik Sipil*, 14(2), hlm. 56–63.