

Studi Perbandingan SNI Baja terhadap Metode Perhitungan Kekuatan Aksial Tekan pada Elemen Komposit Tabung Baja Berpengisi Beton

Aniendhita Rizki Amalia^{1,*}, Djoko Irawan¹, Data Iranata¹

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya¹

Koresponden*, Email: aniendhita.ra@its.ac.id

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	15 Mei 2024	<i>This article provides information regarding the comparison of methods and results for calculating compressive strength in compression member composite elements of concrete filled steel tubes (CFST) based on three standards (SNI) related to the design and specifications of structural steel in buildings. The three standards being compared are SNI 03-1729-2002, SNI 1729-2015 and SNI 1729:2020. Hollow structural sections (HSS) are widely used as structural elements, then increase their strength and reliability, concrete is added as a filler, known as Concrete Filled Steel Tubes (CFST) Sections. In all three standards, there are the same concept and discussion. Meanwhile, different methods, formulas, and coefficients appear in the calculation of compressive axial strength for CFST, so there are different results. The design axial strength values based on SNI 1729-2015 and SNI 1729:2020 are coincide, even though there are different coefficients. Further, the calculation results of the two SNIs are smaller than SNI 03-1729-2002 due to significant change in the suggested reduction factor. Overall, based on this study, the existing CFST member designed using SNI 03-1729-2002 needs to be re-evaluated, especially in their axial force restraining contribution.</i>
Diperbaiki	28 Mei 2024	
Disetujui	29 Mei 2024	

Keywords: comparison, SNI, composite, concrete filled tubes, compression member

Abstrak

Artikel ini menyediakan informasi terkait perbandingan metode dan hasil perhitungan kekuatan tekan pada elemen tekan komposit kolom Tabung Baja Berpengisi Beton berdasarkan tiga standar (SNI) terkait desain dan spesifikasi baja struktural pada bangunan gedung. Ketiga SNI yang dibandingkan tersebut yaitu SNI 03-1729-2002, SNI 1729-2015, dan SNI 1729:2020. Penampang struktural berongga (PSR) yang banyak digunakan sebagai elemen struktur, untuk meningkatkan kekuatan dan keandalannya ditambahkan beton sebagai pengisi yang dikenal sebagai Tabung Baja Berpengisi Beton. Dalam ketiga SNI, terdapat persamaan konsep ruang lingkup dan pembahasan. Namun, metode, rumus, dan koefisien yang berbeda muncul pada perhitungan kekuatan aksial tekan untuk Tabung Baja Berpengisi Beton, sehingga terdapat hasil yang berbeda. Nilai kekuatan aksial desain berdasarkan SNI 1729-2015 dan SNI 1729:2020 berhimpit, walaupun terdapat koefisien dan rumus yang berbeda. Selanjutnya diketahui bahwa hasil perhitungan kekuatan tekan rencana dengan menggunakan SNI 1729-2015 dan SNI 1729:2020 lebih kecil dari SNI 03-1729-2002, karena perubahan nilai yang signifikan pada faktor reduksinya. Sehingga, untuk Tabung Baja Berpengisi Beton eksisting yang didesain dengan SNI 03-1729-2002 direkomendasikan perlu dievaluasi kembali kekuatannya, terutama pada kontribusi menahan beban aksial tekannya.

Kata kunci: perbandingan, SNI, komposit, tabung baja berpengisi beton, elemen tekan

1. Pendahuluan

Penampang struktural berongga (PSR) atau yang lebih dikenal dengan istilah *Hollow Structural Section* (HSS) merupakan salah satu jenis profil yang banyak digunakan pada konstruksi bangunan baja. PSR atau HSS menjadi umum digunakan oleh para insinyur dan arsitek karena berbagai kelebihanannya: kekakuan torsi yang tinggi, koefisien drag yang rendah, persyaratan perlindungan (*coating*) yang berkurang, rongga profil yang dapat digunakan serta keunggulan dari segi arsitektural [1]. Kekakuan torsi yang tinggi pada sumbu menjadikan komponen tubular baja sangat

cocok untuk digunakan sebagai komponen struktur penahan beban torsi yang efisien [2].

Penampang Tabung atau Circular Hollow Section (CHS) adalah salah satu bentuk penampang PSR. Secara umum, selain digunakan sebagai bresing atau pengaku [3], penampang ini juga banyak digunakan sebagai kolom. Untuk meningkatkan kemampuannya, Tabung Baja Berpengisi Beton atau *Concrete Filled Steel Tubes* (CFST) banyak dikembangkan, elemen struktur ini adalah komposit antara CHS dan beton meningkatkan kekuatannya menjadi lebih tinggi. Struktur dengan elemen CFST digunakan di gedung bertingkat yang dapat mengakomodir bentang yang lebih

panjang, pada bangunan perkantoran, komersial, dan logistik. Keberadaan elemen CFST ini memberikan dampak kekakuan yang tinggi dan keuntungan ekonomi [4]. Meningkatnya penggunaan elemen CFST di dunia konstruksi tentunya membutuhkan studi dan petunjuk perencanaan, sebagai contoh di Indonesia digunakan SNI (Standar Nasional Indonesia) terkait perencanaan struktur baja untuk menganalisis dan mendesain elemen struktur CFST.

Perkembangan tata cara desain struktur bangunan baja di Indonesia ditandai dengan bergantinya peraturan yang digunakan. Peraturan awal yang digunakan di Indonesia pada tahun 1984, yaitu Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PBBI) [5], di dalam peraturan ini perencanaan struktur CFST belum dibahas. Dalam perkembangannya, peraturan yang ada dikembangkan menjadi Standar Nasional Indonesia (SNI), dimulai dari tahun 2002, Badan Standarisasi Nasional menerbitkan SNI 03-1729-2002 "Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung"[6]. Pada SNI 03-1729-2002 walaupun tidak tertulis di daftar pustaka dan acuan [7], peraturan ini mengadopsi sebagian dari AISC-LRFD [8]. SNI 03-1729-2002 ini mulai membahas terkait perencanaan elemen struktur CFST. Pembaruan SNI perencanaan baja yang cukup tertinggal pada saat itu [9] terdapat pada SNI 1729:2015 "Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural" [10] yang sebagian besar dirujuk dari AISC 360-10 "*Specifications for structural steel building*" [11]. Rentang waktu yang cukup lama dari 2002 ke 2015 menjadikan masyarakat umum telah menggunakan secara luas SNI 03-1729-2002 pada setiap perencanaan struktur bangunan baja yang ada. Pada saat ini, telah diterbitkan SNI 1729:2020 "Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural" [12] yang merupakan adopsi dari AISC 360-16 [13].

Dari peraturan yang ada dan digunakan secara luas dalam perencanaan dan analisis elemen struktur CFST, terdapat beberapa perubahan yang mendasar. Perubahan yang terjadi pada perencanaan elemen CFST tentunya perlu untuk diketahui perencana struktur, tenaga ahli pengamatan atau pemeriksaan bangunan, utamanya untuk mengetahui tata cara perencanaan dan menentukan apakah berdasarkan peraturan terbaru kekuatan elemen eksisting yang direncanakan dengan peraturan lampau tetap memiliki perkiraan kekuatan nominal dan kekuatan desain yang sama. Selain itu studi ini diperlukan untuk menentukan apakah suatu elemen CFST yang ada dan direncanakan dengan peraturan lampau, memerlukan perkuatan struktur atau tidak.

2. Metode

Dalam studi ini metode yang digunakan diawali dengan studi literatur utamanya berdasarkan SNI terkait perencanaan struktur bangunan baja [6], [10], [12]. Beberapa literatur lain juga digunakan sebagai pembanding metode perhitungan yang digunakan [14], [15], [16], [17], sehingga didapatkan cara perhitungan berdasarkan SNI namun dengan urutan pengerjaan yang disesuaikan dengan beberapa literatur yang ada. Dalam studi ini, selain dibandingkan terkait konsep, tatacara perhitungan, rumusan maupun variabel yang digunakan, dibandingkan pula terkait besarnya kekuatan nominal dan kekuatan desainnya berdasarkan rasio kelangsingan penampang. Dari hasil perbandingan yang ada, maka dapat dibandingkan nilai yang didapatkan dengan perlu atau tidaknya perkuatan terhadap elemen struktur eksisting.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian hasil dan pembahasan, akan dibagi menjadi beberapa pembahasan, sehingga artikel ini dapat memberikan informasi yang sesuai dan mudah dipahami. Pembahasan pertama terkait dengan kesamaan dari dasar perhitungan pada ketiga SNI yang dibandingkan. Kemudian dilanjutkan dengan pembahasan kedua yang terkait dengan perbedaan dasar perhitungan. Pembahasan selanjutnya, adalah pembahasan ketiga yaitu perbedaan metode perhitungan, dilanjutkan dengan cara perhitungannya dengan contoh studi kasus profil yang sama untuk gaya aksial tekan. Pembahasan terakhir adalah hasil analisis kuat tekan nominal dan kuat tekan desain dengan grafik berdasarkan rasio kelangsingan (λ).

Persamaan ruang lingkup

Kesamaan ruang lingkup dan pembahasan tercantum pada SNI 03-1729-2002 [7], SNI 1729:2015 [10] dan SNI 1729:2020 [12]. Pada bab 12.1 dalam SNI 03-1729-2002, disebutkan bahwa perhitungan yang akan dibahas pada bab tersebut melingkupi kolom komposit yang terbuat dari profil baja gilas atau baja tersusun atau baja pipa atau baja berongga dan beton, yang bekerja bersama-sama dalam memikul beban. Walaupun dituliskan dengan istilah berbeda, yaitu PSB (Profil Struktur Berongga) pada SNI 1729:2015, dan PSR (Profil Struktur Berongga) pada SNI 1729:2020, namun dapat dipahami bahwa penampang tersebut adalah penampang berongga (*hollow section*).

Lebih lanjut lagi, selain kesamaan ruang lingkup, terdapat kesamaan konsep dasar yang digunakan dalam metode perhitungan, yaitu elastis dan atau elastis-plastis. Pada SNI 03-1729-2002 [7], satu-satunya konsep yang digunakan

Tabel 1. Perbedaan antar SNI pada analisis dan perencanaan CFST

Parameter	SNI 03-1729-2002	SNI 1729:2015	SNI 1729:2020
Penamaan	Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung	Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural	Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural
Peraturan yang diadopsi	LRFD 1999	AISC 360-10	AISC 360-16
Konsep dasar perhitungan	LRFD	LRFD = DFBK (Desain Faktor Beban dan Ketahanan) ASD = DKI (Desain Kekuatan Izin)	LRFD = DFBT (Desain Faktor Beban dan Ketahanan) ASD = DKI (Desain Kekuatan Izin)
Perbedaan Penyebutan Nama elemen CFST	Penampang Baja Berongga	Profil Struktur Berongga (PSB)	Profil Struktur Berongga (PSR)
Pembatasan Material - Beton Normal	21 - 55 MPa	21 - 70 MPa (3-10 ksi)	21 - 69 MPa (3-10 ksi)
Pembatasan Material - Beton Ringan	28 - 55 MPa	28 - 42 MPa (3-6 ksi)	28 - 41 MPa (3-6 ksi)
Pembatasan Material - Tegangan leleh profil baja struktural	maksimum 380 MPa	maksimum 525 MPa	maksimum 525 MPa
Pembatasan Material - Tegangan leleh baja tulangan	maksimum 380 MPa	maksimum 525 MPa	maksimum 550 MPa
Ketebalan penampang		$D/t < 0.15E/f_y$ (kompak)	$D/t < 0.15E/f_y$ (kompak)
	$t > \sqrt{f_y/8E}$ (hanya boleh menggunakan profil dengan ketebalan lebih dari minimum)	$0.15E/f_y < D/t < 0.19E/f_y$ (non kompak)	$0.15E/f_y < D/t < 0.19E/f_y$ (non kompak)
		$0.19E/f_y < D/t < 0.31E/f_y$ (lansing / maksimum yang diijinkan)	$0.19E/f_y < D/t < 0.31E/f_y$ (lansing / maksimum yang diijinkan)
Batasan komponen struktur tekan	Luas penampang profil baja minimal sebesar 4% dari luas penampang komposit total	Luas penampang melintang inti baja harus terdiri dari sedikitnya 1% dari penampang melintang komposit total	Luas penampang profil baja harus terdiri atas sedikitnya 1% dari total penampang komposit

dalam analisis adalah *Load Resistance Factor Design* (LRFD). Di sisi lain pada, SNI 1729:2015 [10] dan SNI 1729:2020 [12], selain konsep LRFD digunakan pula konsep Allowable Stress Design (ASD), terdapat penyebutan nama yang berbeda pada kedua SNI, perbedaan penyebutan nama tersebut akan diuraikan dalam sub-bab perbedaan.

Perbedaan Dasar Peraturan

Dalam sub-bab sebelumnya, telah diuraikan persamaan yang ada terkait perencanaan dan analisis elemen struktur komposit yang menahan beban aksial utamanya Tabung Baja Berpengisi/*Concrete Filled Steel Tubes* (CFST), dalam sub-bab ini perbedaan dari setiap SNI akan ditampilkan dalam **Tabel 1** dan **Tabel 2** (lanjutan). Pembahasan pada **Tabel 1**

meliputi penamaan, peraturan yang diadopsi hingga rumusan dan pembagian metode yang digunakan. Selain nama yang berbeda, peraturan yang diadopsi pada ketiga SNI berbeda, adopsi pada peraturan Amerika ini sering digunakan di Indonesia, seperti contohnya pada perencanaan struktur beton juga terjadi adopsi peraturan ACI 318M-14 [18] untuk peraturan SNI 2847:2019 "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan" [19]. Dasar adopsi untuk setiap SNI tercantum pada **Tabel 1**. SNI 03-1729-2002 berisikan panduan berdasarkan LRFD saja, sedangkan untuk kedua SNI setelahnya (SNI 1729:2015 dan SNI 1729:2020) sudah berdasarkan AISC terbaru yang merujuk pada konsep perencanaan LRFD dan ASD. Pada penyebutannya, terjadi perubahan penyebutan yaitu DFBK pada SNI 1729:2015 dan

Tabel 2. Perbedaan rumus utama dan metode antar SNI pada analisis dan perencanaan CFST (lanjutan)

Parameter	SNI 03-1729-2002	SNI 1729:2015	SNI 1729:2020
Faktor Reduksi	$\phi = 0.85$ (LRFD)	$\phi = 0.75$ (LRFD)	$\phi = 0.75$ (LRFD)
Rasio Kelangsingan	$\lambda = \frac{k_c L}{r}$ $\lambda_c = \frac{k_c L}{r_m \pi} \sqrt{\frac{f_{my}}{E_m}}$	$\Omega = 2$ (ASD) $\lambda = \frac{L_c - KL}{r}$ $P_{no} = P_p = f_y A_s + C_2 f'_c \left(A_c + A_{sr} \frac{E_s}{E_c} \right)$	$\Omega = 2$ (ASD) $\lambda = \frac{L_c - KL}{r}$ $P_{no} = P_p = f_y A_s + C_2 f'_c \left(A_c + A_{sr} \frac{E_s}{E_c} \right)$
Rumus utama yang digunakan (untuk penampang kompak)	$f_{my} = f_y + c_1 f_{yr} \left(\frac{A_r}{A_s} \right) + c_2 f'_c \left(\frac{A_c}{A_s} \right)$ $f_{cr} = \frac{f_{my}}{\omega}$ $E_m = E + c_3 E_c \frac{A_c}{A_s}$	$P_e = \frac{\pi^2 E I_{eff}}{(KL)^2}$ $E I_{eff} = E_s I_s + 0.5 E_s I_{sr} + C_3 E_c I_c$ $C_2 = 0.95$ (untuk CFST) $C_3 = 0.6 + 2 \left[\frac{A_s}{A_c + A_s} \right] \leq 0.9$	$P_e = \frac{\pi^2 E I_{eff}}{(L_c)^2}$ $E I_{eff} = E_s I_s + E_s I_{sr} + C_3 E_c I_c$ $C_2 = 0.95$ (untuk CFST) $C_3 = 0.45 + 3 \left[\frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right] \leq 0.9$
Pembagian Metode Perhitungan Kekuatan Aksial Tekan Berdasarkan Panjang Bentang (untuk penampang kompak)	Kolom pendek (plastis) $\lambda_c \leq 0.25$ $\omega = 1$ Kolom menengah (inelastis) $0.25 < \lambda_c < 1.2$ $\omega = \frac{1.43}{1.6 - 0.67 \lambda_c}$ Kolom panjang (elastis) $\lambda_c \geq 1.2$ $\omega = 1.25 \lambda_c^2$	Kolom pendek dan menengah (inelastis) $(P_{no} / P_e) \leq 2.25$ $P_n = P_{no} \left[0.658 \frac{P_{no}}{P_e} \right]$ Kolom panjang (elastis) $(P_{no} / P_e) > 2.25$ $P_n = 0.877 P_e$	Kolom pendek dan menengah (inelastis) $(P_{no} / P_e) \leq 2.25$ $P_n = P_{no} \left[0.658 \frac{P_{no}}{P_e} \right]$ Kolom panjang (elastis) $(P_{no} / P_e) > 2.25$ $P_n = 0.877 P_e$

DFBT pada SNI 1729:2020, walaupun DFBK dan DFBT memiliki kepanjangan yang sama yaitu Desain Faktor Beban dan Ketahanan. Untuk komponen CFST yang menjadi fokus pada studi ini, dalam SNI 03-1729-2002 diberi nama Penampang Baja Berongga, namun berubah penyebutan menjadi Profil Struktur Berongga (PSB) pada SNI 1729:2015 dan Profil Struktur Berongga (PSR) pada SNI 1729:2020.

Perbedaan Mutu Material

Untuk elemen CFST, terdapat beberapa perbedaan prasyarat mutu pada beton, baja struktural, dan baja tulangannya. Jika digunakan beton normal pada elemen komposit yang didesain, pada SNI 03-1729-2002 mutunya dibatasi antara 21-55 MPa. Sedangkan pada SNI 1729:2015 batas bawahnya tetap, namun batas atas mutu beton mengalami kenaikan, yaitu antara 21-70 MPa (3-10 ksi). Pada SNI 1729:2020, tertulis rentang batas mutu beton adalah 21 - 69 MPa (3-10 ksi), sama dalam ksi, namun dikonversikan sedikit berbeda dalam MPa. Jika terdapat perencanaan berbeda dimana beton ringan digunakan, maka rentang terluas dijabarkan pada SNI

03-1729-2002 yaitu 28-55 MPa, pada kedua SNI setelahnya rentangnya menyempit yaitu 28 - 42 MPa pada SNI 1729:2015 dan 28 - 41 MPa pada SNI 1729:2020.

Material baja profil yang menjadi komponen penting dalam elemen CFST juga mengalami pembatasan nilai maksimum tegangan leleh, yaitu 380 MPa pada SNI 03-1729-2002. Namun pada kedua SNI setelahnya (SNI 1729:2015 dan SNI 1729:2020) batas tegangan leleh tersebut naik menjadi maksimum 525 MPa. Hal ini tentu saja dapat mendorong penggunaan *High Strength Steel* yang memiliki banyak kelebihan dari segi kekuatan di Indonesia [20]. Jika diperlukan material baja tulangan dalam perencanaan elemen CFST, maka juga terdapat pembatasan mutu yang digunakan pada tegangan lelehnya yaitu maksimum 380 MPa pada SNI 03-1729-2002, 525 MPa pada SNI 1729:2015, dan 550 MPa pada SNI 1729:2020.

Perbedaan Syarat Ketebalan Penampang dan Luas Komponen

Terdapat perbedaan yang signifikan pada syarat ketebalan penampang dalam perencanaan elemen CFST, seperti yang dapat dilihat dalam **Tabel 1**, maka SNI 03-1729-2002 mensyaratkan nilai tunggal dimana jika tidak terpenuhi nilai minimum ketebalan tersebut, maka profil yang ada tidak boleh digunakan. Sehingga dikarenakan syarat ketebalan tersebut, baja struktural ASTM A53 [21] dapat dipakai secara keseluruhan karena ketebalan minimumnya adalah 5,16 mm; sedangkan ASTM A500 [22] terdapat beberapa profil yang tidak dapat digunakan. Di sisi lain, menurut SNI 1729:2015 dan SNI 1729:2020, seperti yang terlihat pada **Tabel 1**, maka dapat dilihat bahwa pada kedua SNI tersebut terdapat tiga pengelompokan penampang berdasarkan rasio dimensi dan ketebalan penampangnya yaitu kompak, non-kompak, dan langsing. Terdapat pula perbedaan pada syarat luasannya, jika pada SNI 03-1729-2002 mensyaratkan minimum 4% luasan baja terhadap luas elemen keseluruhan, namun pada suatu elemen komposit struktur tekan pada SNI 1729:2015 dan SNI 1729:2020, syarat luasan tersebut berubah menjadi 1%.

Perbedaan Faktor Reduksi

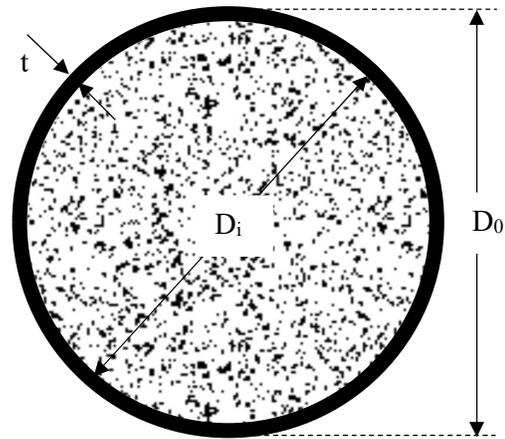
Faktor reduksi berubah cukup drastis, semula hanya syarat LRFD yaitu $\phi = 0.85$ pada SNI 03-1729-2002. Pada SNI 1729:2015 dan SNI 1729:2020 menjadi dua nilai yaitu $\phi = 0.75$ untuk DFBK/DFBT dan $\phi = 2$ untuk DKI. Perubahan nilai 0.85 menjadi 0.75 tentu akan menjadi pengurangan kekuatan desain rencana yang cukup signifikan karena menjadi pengali pada kekuatan nominal penampang, namun tentunya nilai-nilai ini sudah melewati serangkaian penelitian dari komite penyusun peraturan terkait.

Perbedaan Rasio Kelangsingan

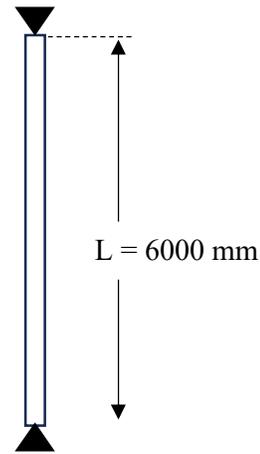
Terdapat perbedaan penulisan pada ketiga SNI terkait rasio kelangsingan penampang. Rasio kelangsingan (λ) merupakan perbandingan antara panjang kritis (L_c) dengan radius girasi. L_c pada rasio kelangsingan sama dengan hasil perkalian $k_c L$ pada SNI 03-1729-2002 atau KL pada SNI 1729:2015 dan SNI 1729:2020, sedangkan r adalah radius girasi.

Perbedaan Rumus Utama dan Metode Perhitungan

Rumus utama yang digunakan untuk menghitung kekuatan nominal penampang tercantum dalam **Tabel 2**. Seperti yang terlihat pada tabel rumus utama yang digunakan, berikut pembagian metode perhitungan berdasarkan panjang bentang untuk penampang kompak jauh berbeda antara SNI 03-1729-



Gambar 1. Potongan melintang penampang A



Gambar 2. Asumsi perletakan (sendi-sendi) dan panjang elemen penampang A

2002 dengan SNI setelahnya (SNI 1729:2015 dan SNI 1729:2020). Sedangkan antara SNI 1729:2015 dan SNI 1729:2020 terdapat perbedaan pada saat menentukan perumusan nilai C_3 . Pada pembagian metode perhitungan kekuatan aksial tekan berdasarkan panjang bentang, SNI 03-1729-2002 membagi pada tiga area berbeda yaitu kolom pendek (plastis), kolom menengah (inelastis), dan panjang (elastis). Untuk memperjelas tentang perbedaan metode dan hasil perhitungan, digunakan contoh elemen yang CFST yang serupa namun dihitung dengan tiga peraturan berbeda. Penampang yang dihitung adalah penampang A seperti yang ditampilkan pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**. Pada **Gambar 1** ditampilkan potongan melintang penampang A yang memiliki kuat leleh (f_y) sebesar 240 MPa, modulus elastisitas baja standar (E) = 200.000 MPa, yang merupakan profil CFST dengan dimensi diameter luar (D_0) = 406.4 mm dan

ketebalan (t) = 12.7 mm, dari data tersebut maka dapat diketahui diameter dalam penampang (D_i) = 381 mm dan radius girasi (r) = 13.9 cm pada kedua sumbu. Bagian dalam penampang tersebut diketahui merupakan beton dengan kuat tekan (f'_c) = 30 MPa, dengan modulus elastisitas beton (E_c) = 26403,5 MPa tanpa ada baja tulangan tambahan. Sedangkan pada **Gambar 2**, diketahui bahwa elemen CFST yang diasumsikan memiliki perletakan sendi-sendi pada kedua ujungnya ($k_c = 1$), serta memiliki panjang 6000 m. Hasilnya perhitungan lainnya akan ditampilkan dalam bentuk grafik.

- Analisis Kekuatan Tekan Penampang A dengan SNI 03-1729-2002

Dalam menghitung analisis kekuatan penampang tahapan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Mengecek syarat luasan penampang

Dalam SNI 03-1729-2002 disebutkan bahwa rasio luasan penampang baja terhadap luasan total harus lebih dari 4%, jika diketahui:

$$A_s = \text{luas penampang baja} = 15.708 \text{ mm}^2$$

$$A_c = \text{luas penampang beton} = 114.009 \text{ mm}^2$$

$$A_r = \text{luas penampang tulangan longitudinal} = 0 \text{ mm}^2$$

$$A_{total} = \text{luas penampang total} = 114.009 \text{ mm}^2$$

Maka, rasio luasan adalah 12%, sehingga berdasarkan syarat luasan penampang, penampang A memenuhi syarat.

2. Mengecek syarat ketebalan penampang

Untuk mengecek syarat ketebalan penampang, maka digunakan persamaan (1).

$$(t = 12.7 \text{ mm}) > (\sqrt{f_y/8E} = 4.98 \text{ mm}) \quad (1)$$

Maka, penampang A memenuhi syarat ketebalan penampang.

3. Tegangan leleh kolom komposit (f_{my})

Tegangan leleh kolom komposit (f_{my}) dipengaruhi oleh nilai koefisien, mutu bahan dan luasan setiap material komposit, dihitung berdasarkan persamaan (2). Jika diketahui nilai properti sebagai berikut:

Untuk pipa baja yang diisi beton $c_1 = 1$; $c_2 = 0.85$

$$f_{my} = f_y + c_1 f_{yr} \left(\frac{A_r}{A_s} \right) + c_2 f'_c \left(\frac{A_c}{A_s} \right) \quad (2)$$

Sehingga, nilai $f_{my} = 425 \text{ MPa}$

4. Modulus elastisitas kolom komposit (E_m)

Modulus elastisitas kolom komposit (E_{my}) dipengaruhi oleh nilai koefisien, mutu bahan dan luasan setiap material komposit, dihitung berdasarkan persamaan (3). Jika selain diketahui nilai properti yang ada, adalah sebagai berikut:

$$A_r = \text{luas penampang tulangan longitudinal} = 0 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \text{luas penampang baja} = 15.708 \text{ mm}^2$$

$$A_c = \text{luas penampang beton} = 114.009 \text{ mm}^2$$

Untuk pipa baja yang diisi beton $c_3 = 0.4$

$$E_m = E + c_3 E_c \frac{A_c}{A_s} \quad (3)$$

Sehingga, nilai $E_m = 276.655 \text{ MPa}$

5. Parameter kelangsingan (λ_c)

Parameter kelangsingan (λ_c) menentukan apakah elemen yang ada pada kategori pendek (plastis), menengah (inelastis) dan panjang (elastis), dihitung berdasarkan persamaan (4). Jika selain diketahui nilai properti yang ada, adalah sebagai berikut:

$$\lambda_c = \frac{k_c L}{r_m \pi} \sqrt{\frac{f_{my}}{E_m}} \quad (4)$$

Sehingga, nilai $\lambda_c = 0.736$; nilai tersebut masuk pada kategori menengah (inelastis)

6. Faktor tekuk (ω)

Faktor tekuk ditentukan dari parameter kelangsingan yang sudah dihitung, karena pada penampang A masuk dalam kategori menengah (inelastis), maka untuk faktor tekuk dapat dihitung dengan persamaan (5).

$$\omega = \frac{1.43}{1.6 - 0.67 \lambda_c} \quad (5)$$

Sehingga, nilai $\omega = 1.293$

7. Tegangan tekan kritis (f_{cr})

Tegangan tekan kritis (f_{cr}) dihitung berdasarkan persamaan (6).

$$f_{cr} = \frac{f_{my}}{\omega} \quad (6)$$

Sehingga, nilai $f_{cr} = 328.9 \text{ MPa}$

8. Kuat aksial nomina (N_n)

Kuat aksial nominal (N_n) dihitung berdasarkan persamaan (7).

$$N_n = A_s f_{cr} \quad (7)$$

Sehingga, nilai $N_n = 5.165.753 \text{ N} = 5.166 \text{ kN}$

9. Kuat aksial rencana (ϕN_n)

Kuat aksial rencana (ϕN_n) dengan mengalikan faktor reduksi (ϕ) sebesar 0.85 terhadap kuat aksial nominal. Sehingga, nilai $\phi N_n = 4.391 \text{ kN}$

- Analisis Kekuatan Tekan Penampang A dengan SNI 1729:2015

Dalam menghitung analisis kekuatan penampang tahapan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Mengecek syarat luasan penampang

Dalam SNI 1729:2015 disebutkan bahwa rasio luasan penampang baja terhadap luasan total harus lebih dari 1%. Maka, rasio luasan adalah 12%, sehingga berdasarkan syarat luasan penampang, penampang A memenuhi syarat.

2. Mengecek kriteria kekompakan penampang

Rasio diameter elemen terhadap ketebalan dibandingkan terhadap kriteria kekompakan. Karena memenuhi

persamaan 8, maka penampang adalah penampang kompak.

$$(D/t = 32) < (0.15E/f_y = 125) \quad (8)$$

3. Kekakuan efektif penampang komposit (EI_{eff})

Kekakuan efektif penampang komposit (EI_{eff}) dipengaruhi oleh nilai modulus, inersia penampang dan variabel, dihitung berdasarkan persamaan (9), dan nilai C_3 yang dihitung berdasarkan persamaan (10). Jika selain diketahui nilai properti yang ada, adalah sebagai berikut:

$$I_s = \text{Inersia penampang baja} = 3,04 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_{sr} = \text{Inersia penampang tulangan longitudinal} = 15.708 \text{ mm}^4$$

$$I_e = \text{Inersia penampang beton} = 10,34 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$EI_{eff} = E_s I_s + 0.5 E_s I_{sr} + C_3 E_c I_c \quad (9)$$

$$C_3 = 0.6 + 2 \left[\frac{A_s}{A_c + A_s} \right] \leq 0.9 \quad (10)$$

Sehingga, untuk nilai $C_3 = 0.842$ MPa, nilai EI_{eff} adalah $8,393 \times 10^3 \text{ Nmm}^2$

4. Batas Tekuk Lentur Elemen Kompak (P_{no})

Batas Tekuk Lentur Elemen Kompak (P_{no}) dihitung berdasarkan persamaan (11), dari persamaan tersebut diketahui jika penampangnya kompak, maka nilainya sama dengan batas tekuk lentur primer (P_p) yang dihitung dengan persamaan (12). Jika nilai properti yang ada, adalah sebagai berikut:

$$A_{sr} = A_r \text{ mm}^2$$

Untuk pipa baja bundar diisi beton $C_2 = 0.95$

$$P_{no} = P_p \quad (11)$$

$$P_p = f_y A_s + C_2 f'_c \left(A_c + A_{sr} \frac{E_s}{E_c} \right) \quad (12)$$

Sehingga, nilai $P_{no} = 7.019.165 \text{ N} = 7.019 \text{ kN}$

5. Batas Tekuk Kritis Elastis (P_e)

Beban Tekuk Kritis Elastis (P_e) dihitung berdasarkan persamaan (13). Jika diketahui nilai K adalah sama dengan k_c .

$$P_e = \frac{\pi^2 EI_{eff}}{(KL)^2} \quad (13)$$

Sehingga, nilai $P_e = 7.324.457 \text{ N} = 7.324 \text{ kN}$

6. Kategori keadaan batas tekuk lentur dan kuat nominal (P_n)

Kekuatan nominal ditentukan berdasarkan rasio P_{no}/P_e kategori keadaan batas tekuk lentur, yaitu kategori pendek dan menengah (inelastis) untuk kurang dari 2,25 dan kategori panjang (elastis) jika lebih dari 2,25. Karena rasio P_{no}/P_e adalah sebesar 0.928, maka untuk kuat nominal dihitung dengan persamaan (14).

$$P_n = P_{no} \left[0.658 \frac{P_{no}}{P_e} \right] \quad (14)$$

Sehingga, nilai $P_n = 4.699.892 \text{ N} = 4.700 \text{ kN}$

7. Kuat aksial rencana (ϕP_n)

Kuat aksial rencana (ϕP_n) dengan mengalikan faktor reduksi (ϕ) sebesar 0.75 terhadap kuat aksial nominal. Sehingga, nilai $\phi N_n = 3.524 \text{ kN}$

• Analisis Kekuatan Tekan Penampang A dengan SNI 1729:2020

Dalam menghitung analisis kekuatan penampang tahapan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Mengecek syarat luasan penampang

Syarat luasan pada SNI 1729:2020 sama dengan SNI 1729:2015 Maka, rasio luasan penampang A yang sama sebesar 12% memenuhi syarat.

2. Mengecek kriteria kekompakan penampang

Kriteria kekompakan yang sama juga digunakan yaitu persamaan (8), maka penampang adalah penampang kompak.

3. Kekakuan efektif penampang komposit (EI_{eff})

Kekakuan efektif penampang komposit (EI_{eff}) dihitung berdasarkan persamaan yang sama yaitu persamaan (9), namun dengan nilai C_3 yang berbeda dihitung berdasarkan persamaan (15).

$$C_3 = 0.45 + 3 \left[\frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right] \leq 0.9 \quad (15)$$

Sehingga, untuk nilai $C_3 = 0.813$ MPa, nilai EI_{eff} adalah $8,314 \times 10^3 \text{ Nmm}^2$

4. Batas Tekuk Lentur Elemen Kompak (P_{no})

Batas Tekuk Lentur Elemen Kompak (P_{no}) dihitung berdasarkan dengan persamaan yang sama, yaitu persamaan (11), begitu pula dengan persamaan (12).

Sehingga, dikarenakan digunakan nilai variabel serta persamaan yang sama, maka didapatkan nilai yang sama, yaitu $P_{no} = 7.019.165 \text{ N} = 7.019 \text{ kN}$

5. Batas Tekuk Kritis Elastis (P_e)

Beban Tekuk Kritis Elastis (P_e) juga dihitung berdasarkan persamaan (13). Namun tidak sama dengan saat menghitung P_{no} , nilai EI_{eff} yang digunakan pada SNI 1729:2020 berbeda.

Sehingga, didapatkan nilai $P_e = 7.255.564 \text{ N} = 7.255 \text{ kN}$

6. Kategori keadaan batas tekuk lentur dan kuat nominal (P_n)

Digunakan kategori yang sama untuk keadaan batas tekuk lentur. Rasio P_{no}/P_e didapatkan sebesar 0.967, masuk kategori inelastis, maka untuk kuat nominal dihitung dengan persamaan yang sama yaitu persamaan (14).

Sehingga, nilai $P_n = 4.682.027 \text{ N} = 4.682 \text{ kN}$

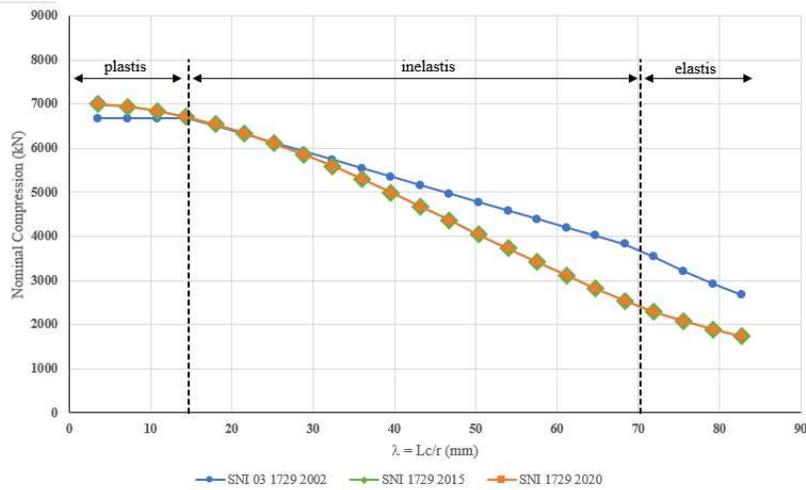
7. Kuat aksial rencana (ϕP_n)

Kuat aksial rencana (ϕP_n) dengan mengalikan faktor reduksi (ϕ) sebesar 0.75 terhadap kuat aksial nominal. Sehingga, nilai $\phi N_n = 3.511$ kN

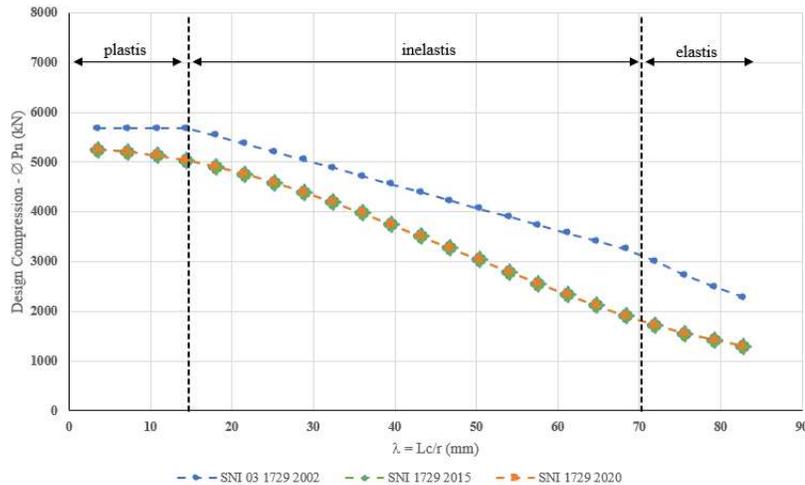
Dari ketiga analisis perhitungan penampang yang telah disampaikan berdasarkan tiga SNI yang berbeda, dapat dilihat bahwa terdapat perubahan yang cukup drastis pada metode perhitungan dari SNI 03-1729-2002 ke SNI 1729:2015. Begitu pula dengan hasil kekuatan nominalnya, untuk penampang yang sama, yaitu penampang A, kekuatan nominal antara kedua peraturan tersebut memiliki selisih sekitar 9%. Namun dikarenakan digunakan faktor reduksi

(ϕ) yang berbeda, yang semula senilai 0.85 pada SNI 03-1729-2002 dan senilai 0.75 pada SNI 1729:2015 dan SNI 1729:2020, maka selisih kekuatan rencana tekannya memiliki selisih hingga 20%.

Perkembangan dari SNI 1729:2015 dan SNI 1729:2020 tidak menuliskan perubahan yang drastis pada perhitungan kekuatan aksial elemen CFST. Persamaan yang berbeda muncul saat menentukan nilai koefisien untuk perhitungan kekakuan efektif komponen struktur tekan komposit terisi beton (C_3) yang muncul pada persamaan (10) dan (15). Namun dari hasil perhitungan untuk penampang yang sama seperti yang dicontohkan, diketahui bahwa kedua SNI tersebut menghasilkan kuat tekan nominal dan kuat tekan rencana yang hampir sama, hanya berselisih 0.38%.



Gambar 3. Hubungan antara rasio kelangsingan penampang (λ) dengan kuat tekan nominal (P_n) untuk penampang A



Gambar 4. Hubungan antara rasio kelangsingan penampang (λ) dengan kuat tekan rencana (ϕP_n) untuk penampang A

Perbandingan kekuatan aksial pada ketiga SNI untuk rasio kelangsingan yang berbeda

Dengan mengulangi tahapan perhitungan untuk penampang yang sama, yaitu penampang A namun dengan panjang kritis yang berbeda maka didapatkan hasil berupa grafik yang ditampilkan pada **Gambar 3 dan Gambar 4. Gambar 3** menunjukkan bahwa hasil analisis penampang yang sama menunjukkan bahwa metode perhitungan menggunakan SNI 1729:2015 dan SNI 1729:2020 menghasilkan nilai kekuatan tekan nominal yang berhimpit pada semua rasio kelangsingan penampangnya ($\lambda=L_c/r$). Namun, di sisi lain pada hasil analisis kuat tekan nominal dengan SNI 03-1729-2002 memiliki hasil berbeda dengan dua SNI setelahnya pada semua panjang kritis kecuali pada titik yang berpotongan, walaupun hasilnya cenderung mendekati pada area yang dekat dengan kategori kolom pendek (plastis). Pada area kategori kolom menengah (inelastis) mendekati kategori kolom panjang (elastis), hasil analisis kuat tekan nominal berdasarkan SNI 03-1729-2002 menghasilkan kecenderungan nilai yang lebih besar daripada analisis menggunakan SNI 1729:2015 dan SNI 1729:2020.

Gambar 4 menunjukkan bahwa hasil analisis penampang yang sama dengan sebelumnya, yaitu metode perhitungan menggunakan SNI 1729:2015 dan SNI 1729:2020 menghasilkan nilai kekuatan tekan rencana yang berhimpit pada semua panjang kritis. Sementara itu, dikarenakan faktor reduksi yang berubah drastis (0.85 pada SNI 03-1729-2002 menjadi 0.75 pada SNI 1729:2015 dan SNI 1729:2020) metode perhitungan menggunakan SNI 1729:2015 dan SNI 1729:2020 menghasilkan nilai yang rata-rata 20% lebih rendah daripada perhitungan dengan SNI 03-1729-2002. Oleh karena itu, jika diharapkan suatu elemen CFST memiliki kemampuan yang sama dengan kapasitas desain peraturan terkini, maka elemen tersebut perlu dilakukan validasi perhitungan kekuatan rencana dan penambahan kekuatan jika dibutuhkan (*retrofitting*).

4. Simpulan

Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Terdapat persamaan lingkup dan pembahasan pada ketiga SNI untuk elemen komposit tekan CFST.
2. Perbedaan antar ketiga SNI meliputi: penamaan, peraturan yang diadopsi, konsep dasar perhitungan, perbedaan penyebutan nama elemen, pembatasan mutu material, kategori dan pembatasan pada ketebalan penampang, batasan rasio luas material komposit, faktor reduksi, metode dan rumus utama.

3. Terdapat perbedaan signifikan dari SNI 03-1729-2002 ke SNI 1729:2015 dalam banyak aspek, namun dari SNI 1729:2015 ke SNI 1729:2020 perbedaan yang ada tidak terlalu banyak. Walaupun terdapat persamaan yang berbeda pada SNI 1729:2015 dan SNI 1729:2020 namun kekuatan aksial tekan dan kekuatan aksial rencana untuk penampang yang sama, nilainya hampir sama.
4. Kekuatan tekan rencana pada SNI 1729:2015 dan SNI 1729:2020 dihitung lebih rendah daripada yang dihitung berdasarkan SNI 03-1729-2002. Sehingga, jika kekuatan rencana yang ada dianggap harus dipenuhi oleh suatu penampang yang sama, maka elemen CFST eksisting yang telah didesain sebelumnya SNI 03-1729-2002 direkomendasikan untuk dilakukan validasi perhitungan kekuatan rencana atau jika diperlukan diberi penambahan kekuatan (*retrofitting*).

Daftar Pustaka

- [1] G. van der V. Wardenier, J; JA Packer; XL Zhao, *HOLLOW SECTIONS Hollow Sections in Structural Applications*, no. December. 2010.
- [2] S. V. Devi, T. G. Singh, and K. D. Singh, "Cold-formed steel square hollow members with circular perforations subjected to torsion," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 162, p. 105730, 2019.
- [3] M. Elchalakani, X. Zhao, and R. Grzebieta, "Axial Loading," *J. Structural Eng.*, vol. 129, no. April, pp. 507–514, 2003.
- [4] J. Sakai, "Current State of Studies of Steel-Concrete Composite Structure," *Steel Construction Today and Tomorrow*, p. 1, 2018.
- [5] Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, *Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia*. Indonesia, 1984.
- [6] Departemen Pekerjaan Umum, *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*. Jakarta, Indonesia: Badan Standarisasi Nasional, 2002.
- [7] W. Dewobroto, "Peraturan Baja Terkini SNI 1729 : 2015 dan Direct Analysis Method (Metode Peraturan Baja Terkini SNI 1729 : 2015 dan Direct Analysis Method (Metode Baru Perencanaan Baja Berbasis Komputer)," in *Seminar Nasional Peran dan Perkembangan SNI Menuju Pembangunan Infrastruktur Berkelanjutan*, 2015.
- [8] American Institute of Steel Construction, *Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings*. Uniter States of America, 1999.
- [9] F. Phiegiarto, J. E. Tjanniadi, H. Santoso, and I.

- Muljati, "Perencanaan Elemen Struktur Baja Berdasarkan SNI 1729 : 2015," *J. Dimens. Pratama Tek. Sipil*, vol. 4, no. 2, pp. 1–8, 2015.
- [10] Komite Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil, *Spesifikasi untuk Gedung Baja Struktural*. Indonesia, 2015.
- [11] American Institute of Steel Construction, *Spesifications for Structural Steel Buildings*. 2010.
- [12] Komite Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil melalui, *Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural*. Indonesia, 2020.
- [13] American Institute of Steel Construction, *Specification for Structural Steel Buildings*. United States of America, 2016.
- [14] A. Rizki Amalia and B. Suswanto, "Studi Perbandingan Kekuatan Aksial Rencana Profil WF Berdasarkan SNI 03-1729-2002 dan SNI 1729:2015," *Rekayasa J. Tek. Sipil*, vol. 3, no. 1, 2018.
- [15] The British Constructional Steelwork Association Limited, *Handbook of Structural Steel Woek*, vol. 20, no. December. London, 2010.
- [16] Departemen Teknik Sipil ITS, *Modul Konstruksi Baja*. Surabaya, 2002.
- [17] J. C. McCormac and S. F. Csernak, *Structural Steel Design*. Pearson, 2012.
- [18] ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete*. 2014.
- [19] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 03-2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*, no. 8. 2019, p. 695.
- [20] K. Nakagawa, T. Ueki, and T. Nanba, "HBL 385 Series, 550 N/mm² Class steel for building structures with good balance of excellent earthquake resistance and economic efficiency," *JFE Tech. Rep.*, vol. 19, no. 19, pp. 1–8, 2014.
- [21] ASTM International, "ASTM A53/A53M-22 Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless." p. 23, 2024.
- [22] ASTM International, "ASTM A500-03 a Standard Specification for Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes." 2017.