

Analisis Tekuk Probabilistik Pada Batang Tekan dari Baja Ringan

Tuti Oktavia¹, Pariatmono²

¹Magister Teknik Sipil, Universitas Mercu Buana, Jakarta, INDONESIA
email: oktaviaunand@gmail.com

² Magister Teknik Sipil, Universitas Mercu Buana, Jakarta, INDONESIA
email: pariatmono@mercubuana.ac.id

Received: 27-08-2023 Revised: 27-05-2024 Accepted: 27-05-2024

Abstract

Lightweight steel profiles have relatively thin thickness dimensions with the ratio of the dimensions of the width of each profile element to the thickness is very large, making it prone to bending. In SNI 8399:2017, mentions tolerances for geometric imperfections Bow (bw) (in the perpendicular direction Z-Z), Twist (h) (X-X direction), Camber, profiles C, Z, U. SNI 8399: 2017 has not been explained what kind of decrease in column strength against (δ) these geometric imperfections. In this study, an analogy was made to the measurement of imperfections in the geometry of the decapitated cone plate conducted by Pariatmono, 1994. In Pariatmono's research, data from the circular axis was changed into a horizontal axis by taking several angles in a circle, in this study it was taken every 6° (60 data in one row) and used as data with probabilistic behavior. Then from the 60 rods obtained, Fourier analysis was carried out to obtain geometric imperfection equations. From these 60 bars obtained each Fourier coefficient. Then the average is taken, averaging +10%, +20%, +30%, +40%, +50% and -10%, -20%, -30%, -40% and -50% of the standard deviation values. Of the 11 rods, a non-linear buckling analysis was carried out using ANSYS Workbench 2022 R1. The probabilistic compressive analysis of geometric imperfections conducted in this study has not been able to definitively provide a general idea of the limits of geometric imperfections.

Keywords: Cold Formed Steel; Initial Deflection; Buckling, Deflection.

Abstrak

Profil baja ringan memiliki dimensi ketebalan relatif tipis dengan rasio dimensi lebar setiap elemen profil terhadap tebalnya sangat besar, sehingga rawan terhadap tekuk. Dalam SNI 8399:2017, menyebutkan toleransi untuk ketidaksempurnaan geometri Bow (bw) (dalam arah tegak lurus Z-Z), Twist (h) (Arah X-X), Camber (δ), profil C, Z, U. SNI 8399:2017 belum dijelaskan seperti apa penurunan kekuatan kolom terhadap ketidaksempurnaan geometri tersebut. Dalam penelitian ini dilakukan analogi terhadap pengukuran ketidaksempurnaan geometri pelat kerucut terpancung yang dilakukan Pariatmono, 1994. Pada penelitian Pariatmono, data dari sumbu melingkar dirobah menjadi sumbu horizontal dengan cara mengambil beberapa sudut dalam lingkaran, dalam penelitian ini diambil setiap 6° (60 data dalam satu baris) dan dijadikan data-data tersebut sebagai data dengan perilaku probablistik. Kemudian dari 60 batang yang didapat, dilakukan analisis Fourier untuk mendapatkan persamaan ketidaksempurnaan geometri. Dari 60 batang tersebut didapat masing-masing koefisien Fourier. Kemudian diambil rata-rata, rata-rata +10%, +20%, +30%, +40%, +50% serta -10%, -20%, -30%, -40% dan -50% nilai standar deviasinya. Dari 11 batang tersebut dilakukan analisis tekuk non linier menggunakan ANSYS Workbench 2022 R1. Analisis probabilistik batang tekan terhadap ketidaksempurnaan geometri yang dilakukan pada penelitian ini belum dapat secara pasti memberikan gambaran umum batasan ketidaksempurnaan geometri.

Kata kunci: Baja Ringan; Ketidaksempurnaan geometri; Tekuk; Lendutan.

PENDAHULUAN

Berdasarkan data statistik, penduduk Indonesia pada tahun 2020–2022 berjumlah sebanyak 275,8 juta jiwa (Badan Pusat Statistik [BPS], 2023). Hal ini berpotensi besar terhadap perkembangan kebutuhan perumahan.

Kemajuan teknologi dan ilmu pengetahuan juga memicu berbagai pembaruan terhadap material-material konstruksi, salah satunya material baja ringan. Saat ini, material baja ringan mulai menggantikan penggunaan kayu pada konstruksi rumah. Adapun kelebihan baja ringan di antaranya efisiensi terhadap waktu pengerjaan dan biaya konstruksi, ketahanan material terhadap korosi dan rayap, serta ketersediaan material di pasaran.

Hasil dari pengujian dan pemodelan numerik yang dilakukan oleh Fratamico (2017) menunjukkan bahwa kekuatan kolom sangat sensitif terhadap interaksi mode tekuk, tata letak pengikat, kekakuan ujung kolom, adanya selubung, dan ketidaksempurnaan geometri.

Dar et al. (2018) menyatakan bahwa kolom cold-formed steel (CFS) built-up yang terdiri dari empat sudut lebih sensitif terhadap ketidaksempurnaan geometri. Oleh karena itu, pertimbangan harus diberikan untuk menghindari ketidaksempurnaan geometri yang besar saat proses pembentukan dingin. Selain itu, Fratamico et al. (2018) menyatakan bahwa ketika tekuk lokal berinteraksi dengan tekuk global, kapasitas tekuk dan deformasi lentur sedikit berkurang, serta keandalan pemodelan ini juga mengalami penurunan.

Roy et al. (2018), dalam penelitiannya, menjelaskan hubungan antara pemendekan aksial beban dan mode kegagalan. Sifat material dan ketidaksempurnaan geometri telah diukur untuk semua benda uji. Model elemen hingga dikembangkan untuk mempertimbangkan nonlinearitas material, ketidaksempurnaan geometri, dan pemodelan pengencang perantara. Hasil penelitian eksperimen dan analisis elemen hingga dibandingkan dengan kekuatan desain yang dihitung berdasarkan American Iron and Steel Institute (AISI) dan Australian and New Zealand Standards (AS/NZS). Dari hasil perbandingan, diamati bahwa AISI dan AS/NZS memiliki pendekatan konservatif sebesar 17% dalam menentukan kapasitas aksial kolom kotak baja ringan.

Menurut Dar et al. (2019), kolom CFS built-up yang terdiri dari empat bagian sudut tanpa pengaku lebih sensitif terhadap ketidaksempurnaan geometri. Oleh karena itu, tindakan yang memadai harus dilakukan saat proses cold-forming serta selama fabrikasi untuk

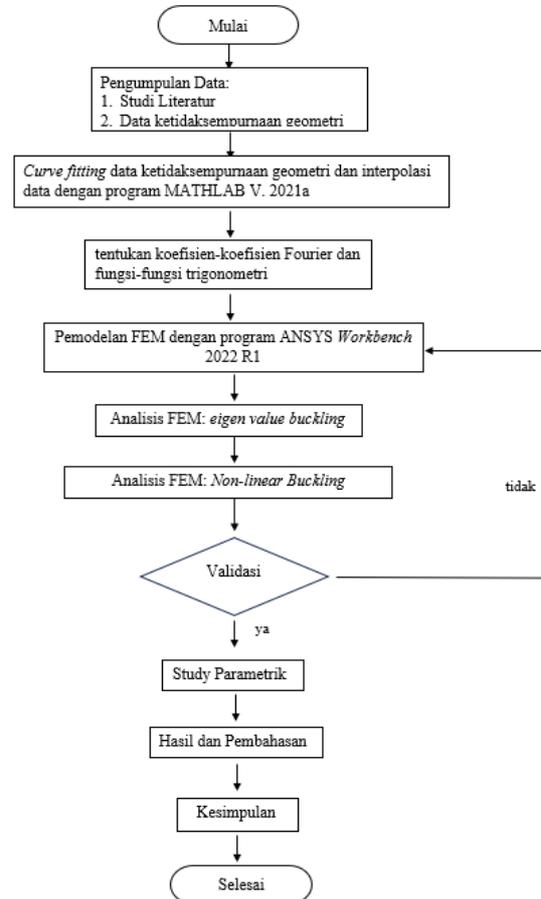
menghindari ketidaksempurnaan geometri yang besar.

Analisis tekuk yang dilakukan oleh Cahyadi dan Muin (2020) merupakan analisis linier berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7971:2013 dan SNI 1729:2015. Hasil penelitian menunjukkan bahwa elemen batang komposit memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan elemen batang non-komposit, dengan peningkatan sebesar 48,35% hingga 86,32%. Pola keruntuhan yang terjadi adalah tekuk lentur untuk semua elemen batang non-komposit dan tekuk lokal pada sebagian elemen batang komposit, kecuali pada elemen batang dengan panjang 1200 mm dan 1400 mm yang mengalami tekuk lentur.

Tujuan dari penelitian ini adalah pertama, untuk membakukan prosedur pemodelan dan analisis dampak dari ketidaksempurnaan geometri terhadap penurunan beban tekuk batang tekan. Kedua, menghitung besarnya penurunan kapasitas kolom akibat adanya ketidaksempurnaan geometri tersebut.

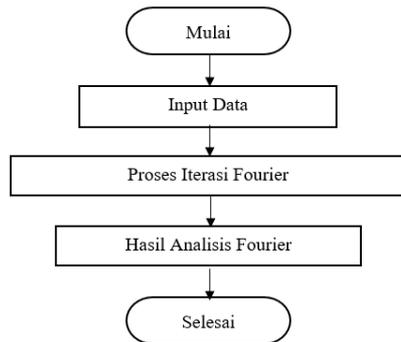
METODE PENELITIAN

Rancangan kegiatan yang akan dilakukan dapat dilihat pada bagan alir penelitian gambar 1.



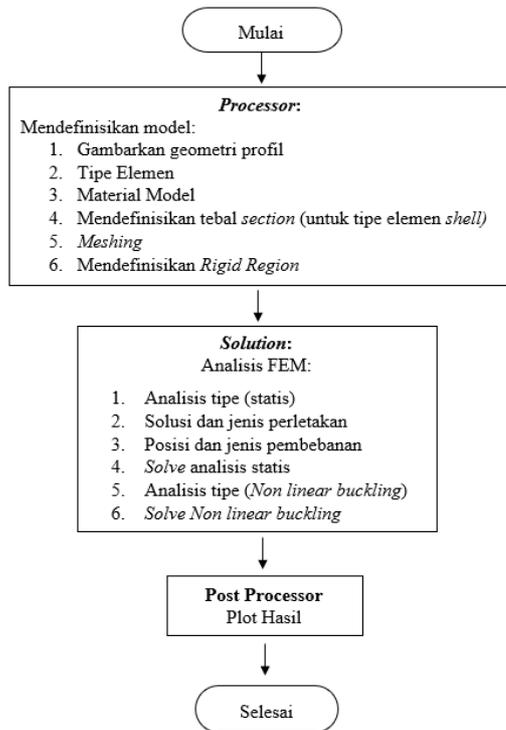
Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Dalam penelitian ini, analisis Fourier dilakukan dengan program Matlab V. 2021a. Bagan alirnya dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alir Program Matlab

Sedangkan untuk Analisis Elemen Hingga dilakukan dengan menggunakan program ANSYS Workbench 2022 R1. Bagan alirnya dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Bagan Alir Program Ansys Workbench 2022 R1

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah melakukan pengumpulan data sekunder ketidaksempurnaan geometri batang tekan. Melakukan analisis penentuan penampang termasuk profil langsing atau tidak. Menerapkan analisis Fourier untuk menentukan ragam dominan dari ketidaksempurnaan geometri. Menyusun model statistik ketidaksempurnaan geometri. Melakukan pemodelan komputer tentang keruntuhan kolom akibat tekan.

Melakukan studi parametrik untuk tekuk pada batang tekan. Dan Menyusun rekomendasi penurunan kapasitas tekuk batang tekan.

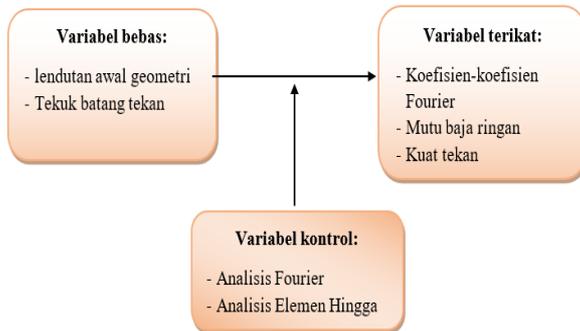
Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini adalah melakukan studi literatur. Melakukan pengumpulan data berdasarkan data sekunder yang dikumpulkan dan diolah sendiri. Data diperoleh dari data pengukuran ketidaksempurnaan geometri untuk cangkang yang diteliti oleh Pariatmono, 1994. Melakukan analogi terhadap data pengukuran dari kerucut terpancung yang merupakan sumbu melingkar menjadi sumbu horizontal dengan cara mengubah sumbu data ketidaksempurnaan geometri dari melingkar (*circular*, sumbu-x dalam satuan derajat $0^\circ - 360^\circ$) menjadi sumbu linier yang tegak lurus terhadap sumbu melingkar. Dengan cara mengambil beberapa sudut dalam lingkaran, dalam penelitian ini diambil setiap 6° (sehingga ada $360^\circ/6^\circ = 60$ data dalam satu baris) dan dijadikan data-data tersebut sebagai data dengan perilaku probablistik. Melakukan interpolasi data dengan MATHLAB V. R2021a. Melakukan analisis Fourier untuk menyatakan ketidaksempurnaan geometri dalam koefisien-koefisien Fourier dan fungsi-fungsi trigonometri. Memilih sebaran statistik yang paling sesuai untuk masing-masing koefisien Fourier. Hasil data analisis regresi digunakan untuk analisis faktor untuk menentukan faktor independen yang paling dominan penyebab timbulnya suatu ketidaksempurnaan geometri. Pemodelan komputer tentang keruntuhan kolom akibat tekan menggunakan program komputer Elemen Hingga ANSYS Workbench 2022 R1. Studi parametrik untuk tekuk pada batang tekan. Dilanjutkan menyusun rekomendasi penurunan kapasitas tekuk batang tekan

Data yang diperoleh akan diolah secara kuantitatif menggunakan analisis deskriptif yang mempertimbangkan performa data pada masa-masa sebelumnya oleh peneliti yang lain. Analisis regresi digunakan untuk mengambil ketidaksempurnaan geometri yang paling baik. Hasil data analisis regresi digunakan untuk analisis faktor untuk menentukan faktor independen yang paling dominan penyebab timbulnya suatu ketidaksempurnaan geometri.

Analisis yang digunakan untuk menyatakan ketidaksempurnaan geometri dalam koefisien-koefisien Fourier dan fungsi-fungsi trigonometri dengan memvisualisasikan representasi deret Fourier dari gelombang sinyal periodik menggunakan program matematika MATHLAB. Pada penelitian ini, batang dengan ketidaksempurnaan geometri akan dibandingkan

dengan batang yang lurus sempurna, batang berperilaku elastis sehingga dilakukan analisis tekuk Euler. Kemudian pada batang yang memiliki ketidaksempurnaan geometri dilakukan analisis tekuk inelastik dengan menggunakan program komputer Elemen Hingga ANSYS Workbench 2022 R1. Selanjutnya dilakukan studi parametrik dan penyusunan rekomendasi penurunan kapasitas tekuk batang tekan.

Variabel penelitian yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Hubungan variabel penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pemeriksaan awal, profil masuk kedalam kategori tidak langsing. Dengan kriteria pemeriksaan terhadap l_r
 h , lebar penampang = 17mm
 t , tinggi penampang = 0,9mm

$$\frac{h}{t_w} > \lambda_r$$

$$\lambda_r = 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{200.000}{240}} = 43,01$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{17}{0,9} = 18,89$$

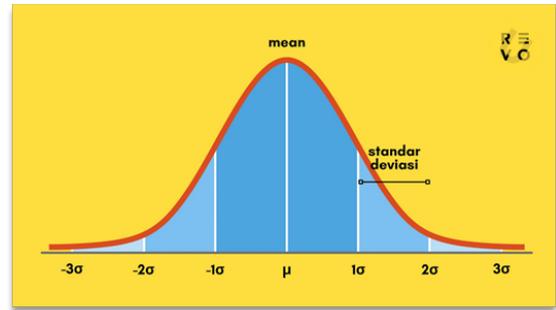
18,89 < 43,01

Dari hasil pemeriksaan maka Penampang merupakan profil tidak langsing.

Dari interpolasi setiap 6° didapat 60 batang. Untuk menentukan persamaan ketidaksempurnaan geometri batang dilakukan analisis Fourier dan didapatkan koefisien-koefisien Fourier ordo 7 ($a_0, a_1, b_1, \dots, a_7, b_7, \omega$) yang kemudian dicari nilai rata-rata dan nilai standar deviasi data setiap koefisien.

Karena ketidaksempurnaan geometri bersifat probablistik, ketidaksempurnaan geometri dianggap berlaku untuk 60 batang dengan besaran ketidaksempurnaan yang

berbeda-beda, maka masing-masing batang mempunyai sifat-sifat statistik yang berbeda-beda. Dengan demikian diperoleh koefisien-koefisien deret Forier yang masing-masing mempunyai rata-rata dan standar deviasi.



Gambar 5. Kurva Distribusi Normal
 Sumber: revoupedia

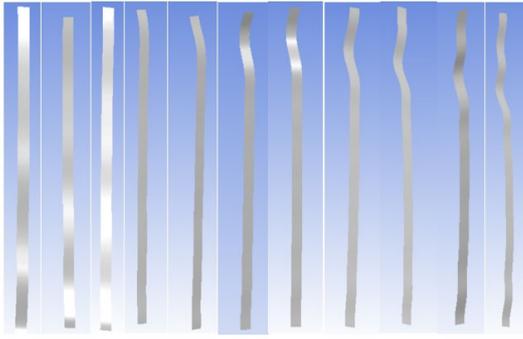
Pada gambar 5 diatas, sisi kiri dari kurva (-1σ, -2σ, -3σ) terhadap rata-rata menunjukkan bahwa nilai ketidaksempurnaan geometri awal semakin kecil dari rata-rata hingga mendekati sempurna. Sedangkan sisi kanan kurva terhadap rata-rata (+1σ, +2σ, +3σ) terhadap rata-rata menunjukkan bahwa nilai ketidaksempurnaan geometri awal semakin besar dari rata-rata.

Untuk menentukan ragam bentuk dan nilai ketidaksempurnaan geometri digunakan nilai koefisien rata, koefisien rata-rata ditambahkan 10%, 20%, 30%, 40%, 50% dan rata-rata dikurangi 10%, 20%, 30%, 40%, 50% dari nilai standar deviasinya. 11 Data tersebut disubstitusikan ke dalam persamaan umum Fourier ordo 7 dengan persamaan umum (1) dan 11 data tersebut dijadikan sampel uji tekuk pada penelitian ini;

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n \times \omega \times x) + b_n \sin(n \times \omega \times x)$$

..... (1)

Dengan melakukan substitusi nilai 11 sampel diatas didapatkan nilai sumbu x sebagai panjang batang, sumbu y sebagai nilai ketidaksempurnaan geometri. Nilai tersebut diplot dan didapatkan 11 gambar batang dengan ragam bentuk dan nilai ketidaksempurnaan geometri seperti gambar 6.



Gambar 6. Model batang tekan dengan kondisi ketidaksempurnaan geometri (dari kiri ke kanan) dari persamaan Fourier rata-rata, persamaan Fourier rata-rata -50%, -40%, -30%, -20%, -10%, dan dari persamaan Fourier rata-rata +10%, +20%, +30%, +40% dan +50% nilai standar deviasi persamaan Fourier

Beban Tekuk Euler

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(0,5L)^2} \dots\dots (2)$$

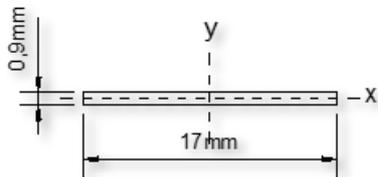
Dimana,

E, modulus elastis baja = 200.000 MPa

I, Momen Inersia penampang

L, panjang penampang = 455,45 mm

Momen Inersia penampang,



Gambar 7. Properties penampang

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3 \dots\dots (3)$$

Dimana,

b, lebar penampang = 17mm

h, tinggi penampang = 0,9mm

Momen Inersia penampang arah x,

$$I_x = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 17 \times 0,9^3 = 1,0328 \text{ mm}^4$$

$$I_y = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 0,9 \times 17^3 = 368,475 \text{ mm}^4$$

Digunakan nilai $I_{min} = I_x = 1,0328 \text{ mm}^4$

Sehingga,

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(0,5L)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000 \times 1,0328}{(0,5 \times 455,45)^2} = 39,31N$$

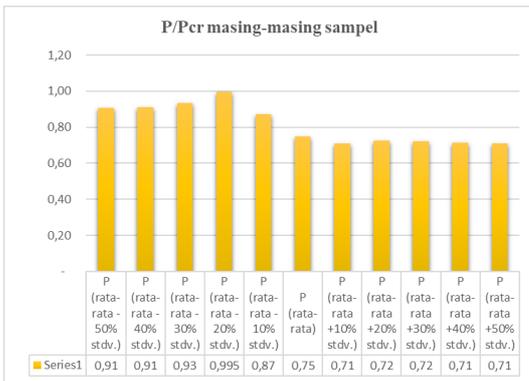
An

alisis Beban Tekuk Buckling dengan Program ANSYS Workbench 2022 R1

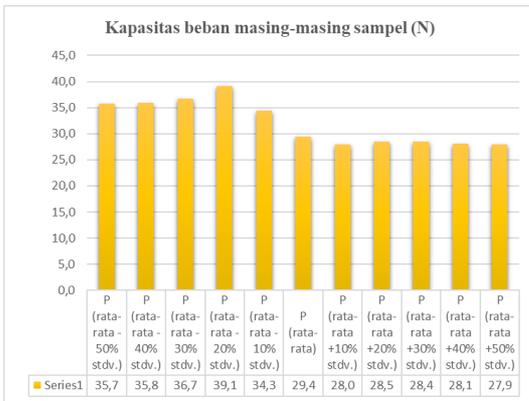
Rangkuman penurunan kapasitas beban untuk keseluruhan sampel uji dirangkum pada tabel 1 berikut, dan grafik penurunannya ditampilkan pada gambar 8 dan 9. Grafik P/Pe vs. δ_{total}/L semua sampel uji ditampilkan pada gambar 10.

Tabel 1. Penurunan Kapasitas Beban Tekan pada sampel uji

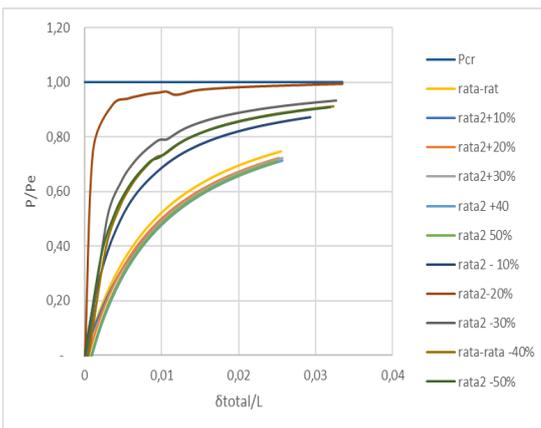
Sampel	Kapasitas Beban		Persentase P/Pcr (%)
	(N)	P/Pcr	
Pcr (lurus sempurna)	39,31	1	100,0%
P (rata-rata - 50% stdv.)	35,7	0,91	90,8%
P (rata-rata - 40% stdv.)	35,8	0,91	91,2%
P (rata-rata - 30% stdv.)	36,7	0,93	93,4%
P (rata-rata - 20% stdv.)	39,1	0,995	99,5%
P (rata-rata - 10% stdv.)	34,3	0,87	87,4%
P (rata-rata)	29,4	0,75	74,8%
P (rata-rata +10% stdv.)	28,0	0,71	71,1%
P (rata-rata +20% stdv.)	28,5	0,72	72,4%
P (rata-rata +30% stdv.)	28,4	0,72	72,3%
P (rata-rata +40% stdv.)	28,1	0,71	71,5%
P (rata-rata +50% stdv.)	27,9	0,71	71,1%



Gambar 8. Grafik persentase penurunan kapasitas beban akibat ketidaksempurnaan geometri batang



Gambar 9. Grafik Kapasitas beban akibat ketidaksempurnaan geometri batang setelah dilakukan pembebanan bertahap (50 tahap) sebesar 1N



Gambar 10. Grafik P/Pe vs. δ_{total}/L semua sampel uji

Harga kapasitas kekuatan kolom didapatkan dengan cara *incremental analysis* karena analisis tekuk kolom yang digunakan adalah analisis *non linier* dimana kekakuan kolom bersifat tidak konstan atau *linier*.

Dari penelitian yang dilakukan, didapat kecenderungan P/Pe vs. δ_{total}/L semua sampel uji

kapasitas beban akibat ketidaksempurnaan geometri tidak menunjukkan perbandingan yang linier dengan besarnya nilai ketidaksempurnaan geometri batang. Hal ini dapat kita lihat pada gambar 7 dan 8 diatas, dimana pada batang (rata-rata +10% stdv.) kapasitas bebannya lebih kecil yaitu 28N dari batang (rata-rata +20%) yaitu 28,5N. Untuk batang (rata-rata +30% stdv.), batang (rata-rata +40% stdv.), (rata-rata +50% stdv.) kecenderungan kapasitas bebannya semakin kecil secara berurutan mulai dari 28,4N, 28,1N dan 27,9N.

Untuk Batang (rata-rata -20% stdv.) nilai kapasitas bebannya mendekati nilai Pcr, yaitu 39,1N, sedangkan nilai kapasitas batang (rata-rata -10% stdv.) mempunyai kapasitas beban lebih kecil dari batang (rata-rata -10% stdv.) yaitu sebesar 36,7N. Untuk batang (rata-rata -30% stdv.), batang (rata-rata -40% stdv.), (rata-rata -50% stdv.) kecenderungan kapasitas bebannya semakin turun secara berurutan mulai dari 36,7N, 35,8N dan 35,7N.

Tidak tercapainya kecenderungan kenaikan dan penurunan kapasitas beban yang diharapkan yaitu semakin besar nilai ketidaksempurnaan geometri suatu batang, semakin kecil kapasitas bebannya. Hal ini teridentifikasi dengan adanya nilai negatif dan positif pada rata-rata masing-masing koefisien Fourier. Nilai positif menunjukkan ketidaksempurnaan geometri batang kearah luar sumbu batang, dan nilai negatif menunjukkan ketidaksempurnaan geometri batang kearah dalam sumbu batang tersebut. Dengan ini dapat disimpulkan bahwa besarnya penurunan kapasitas batang tidak hanya terkait besarnya nilai ketidaksempurnaan geometri saja. Tetapi bentuk dan arah ketidaksempurnaan geometri juga mempengaruhi penurunan kapasitas beban suatu batang tekan.

Dari tabel 1, nilai ketidaksempurnaan geometri maksimum yang terjadi ditengah bentang untuk semua sampel berada kurang dari 1 mm per 100 mm. Nilai ini masih berada di bawah yang disarankan SNI 8399:2017 pasal 6.5.3 pada tabel 2.8 diatas, yaitu maks 1mm per 1.000mm panjang untuk profil C, Z dan U untuk sisi profil lengkung atas (*bow*), puntiran (*twist*), sementara lengkung samping (*camber*) untuk panjang 3.000mm atau lebih, harus rata saat diletakkan. Pada SNI nilai ketidaksempurnaan geometri dibawah 1 mm per 1000 mm masih dalam batas toleransi. Sementara dapat kita lihat pada tabel 4.10, nilai P/Pcr berkisar antara 0,995 sampai dengan 0,71, atau bisa dikatakan penurunan kapasitas beban sebesar 0,458% sampai dengan 29%. Hal ini menunjukkan

kedepannya perlu dikaji dan diteliti lagi mengenai toleransi ketidaksempurnaan geometri suatu batang baja ringan.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan terhadap penurunan beban tekuk terhadap ketidaksempurnaan awal dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Ketidaksempurnaan geometri dari batang baja ringan telah dapat dinyatakan dalam serangkaian deret Fourier beserta koefisien-koefisiennya. Karena ketidaksempurnaan geometri dianggap berlaku untuk 60 batang dengan besaran ketidaksempurnaan yang berbeda-beda, maka masing-masing batang mempunyai sifat-sifat statistik yang berbeda-beda. Dengan demikian diperoleh koefisien-koefisien deret Fourier yang masing-masing mempunyai rata-rata dan simpangan baku. Dari ketidaksempurnaan geometri keenam puluh batang tersebut, semuanya mempunyai nilai maksimum pada koefisien a_1 yang terkait dengan suku $\cos \omega x$. Hal ini menunjukkan bahwa ketidaksempurnaan yang dominan adalah 1 gelombang sepanjang batang tekan tersebut.
2. Karena ketidaksempurnaan geometri bersifat probabilistik maka penurunan beban tekuk juga akan bersifat probabilistik dengan rata-rata dan standar deviasi. Penelitian ini menunjukkan bahwa secara umum penurunan beban tekuk maksimum adalah 28,9 %. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menegaskan tentang kebenaran angka ini, mengingat pengurangan kapasitas batang tekan sebesar hampir 30% ini akan berpengaruh terhadap proses perancangan.
3. Secara umum kemampuan batang dalam menahan beban tekan akan menurun seiring dengan penambahan besarnya ketidaksempurnaan, seperti yang diperkirakan. Namun demikian pada beberapa ketidaksempurnaan, penambahan ketidaksempurnaan justru menaikkan beban tekuk. Secara khusus, dapat dicatat bahwa semestinya penambahan besaran ketidaksempurnaan geometri akan menurunkan kemampuan batang dalam menahan beban tekan. Namun dalam penelitian ini diperoleh bahwa ketidaksempurnaan geometri sebesar rata-rata -20% standar deviasi mempunyai beban *buckling* yang paling besar. Sehingga

dengan demikian diperlukan kajian lebih lanjut yang menyelidiki penyebab dari besarnya beban *buckling* pada ketidaksempurnaan ini.

Selain kesimpulan di atas, diperoleh juga kesimpulan-kesimpulan tambahan yaitu sebagai berikut;

- a. Ketidaksempurnaan geometri pada batang canai dingin seharusnya dapat direpresentasikan dengan Deret Fourier. Namun dalam penelitian ini peneliti belum dapat merepresentasikan dengan baik ketidaksempurnaan geometri tersebut dengan Deret Fourier seperti yang diharapkan. Hal ini tercermin dari tidak konsistennya penurunan beban tekuk terhadap penambahan ketidaksempurnaan.
- b. Analisis probabilistik batang tekan terhadap ketidaksempurnaan geometri yang dilakukan pada penelitian ini belum dapat secara pasti memberikan gambaran umum batasan ketidaksempurnaan geometri. Namun demikian, dapat digaris bawahi bahwa ketentuan SNI 8399:2017 yaitu ketidaksempurnaan sebesar 1mm per 1000mm (1 per mil) dirasa perlu ditinjau kembali.
- c. Dalam SNI 8399:2017 Profil Baja Ringan, tidak dijelaskan mengenai toleransi terhadap bentuk ketidaksempurnaan geometri. Yang disampaikan hanya mengenai nilai besarnya ketidaksempurnaan geometri. Adapun keterbaruan dari penelitian ini adalah besar dan bentuk ketidaksempurnaan geometri sekaligus direpresentasikan dengan analisis Fourier. Yang kemudian dilakukan analisis elemen hingga untuk mendapatkan besarnya penurunan kapasitas kekuatan kolom akibat besar dan bentuk ketidaksempurnaan geometri tersebut yang bisa melengkapi dan mengoreksi nilai dan bentuk ketidaksempurnaan yang belum terdapat di dalam SNI tersebut.

SARAN

Dengan keterbatasan waktu, kemampuan dan biaya yang tersedia, ada beberapa hal yang seharusnya dilakukan, tetapi tidak dapat dilaksanakan dalam penelitian ini. Hal-hal tersebut antara lain adalah sebagai berikut;

1. Diperlukan kajian lebih lanjut yang menyelidiki tentang penyebab dari tidak menurunnya beban *buckling* seiring dengan penambahan ketidaksempurnaan. Secara

- khusus harus dilakukan penelitian mendalam tentang besarnya beban *buckling* maksimum yang justru terjadi pada ketidaksempurnaan rata-rata -20% standar deviasi.
2. Agar pada penelitian berikutnya, dimasukkan kajian struktur sederhana yang sempurna atau δ_0/L yang sangat kecil, atau mendekati 0.
 3. Dengan penurunan kapasitas beban seperti yang dijelaskan diatas, dengan nilai ketidaksempurnaan geometri penelitian ini lebih kecil dari pada yang disarankan SNI 8399:2017 pasal 6.5.3, didapat penurunan sebesar 0,458% sampai dengan 28,9%. Diharapkan penelitian tentang kajian nilai toleransi ketidaksempurnaan geometri dalam SNI dapat dikaji ulang atau dikaji lebih lanjut.
 4. Nilai ketidaksempurnaan awal maksimum pada data awal penelitian ini adalah sebesar 1,5mm. Nilai ketidaksempurnaan awal ini lebih besar daripada toleransi SNI 2399;2017 yaitu sebesar 0,465mm dengan panjang batang 465mm. Dalam SNI belum terdapat penjelasan mengenai apa yang harus dilakukan jika nilai ketidaksempurnaan awal lebih besar dari batasan ketidaksempurnaan awal pada pasal 6.5.3 tabel 9. Oleh sebab itu SNI 2399;2017 perlu menambahkan pasal mengenai penjelasan ini.
- Fratamico, D. C., Torabian, S., Zhao, X., Rasmussen, K. J., & Schafer, B. W. (2018). Experiments on the global buckling and collapse of built-up cold-formed steel columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 144, 65-80.
- Fratamico, D. C. (2017). *Experiments, analysis, and design of built-up cold-formed steel columns* (Doctoral dissertation, Johns Hopkins University).
- Pariatmono. (1994). The Collapse of Conical Shells under Axial Compression. *PhD Thesis, Department of Civil Engineering, Imperial College of Science, Technology and Medicine, London, UK.*
- Roy, K., Ting, T. C. H., Lau, H. H., & Lim, J. B. (2018). Nonlinear behavior of axially loaded back-to-back built-up cold-formed steel un-lipped channel sections. *Steel Compos. Struct*, 28(2), 233-250.
- SNI 8399 2017. (2017). Profil Rangka Baja Ringan. In *Badan Standarisasi Nasional BSN* (pp. 1–33). BSN.

DAFTAR PUSTAKA

- ANSYS. (2022). *Workbench. 2022R1* (2020 R1). ANSYS Inc.
- BPS. (2023, January 14). *Retrieved from BPS*.
- Cahyadi, C., & Muin, R. B. (2020). Studi Eksperimental Dan Analisis Elemen Rangka Atap Baja Ringan Komposit Aplus Casting Plaster Pada Batang Tekan. *Syntax Literate; Jurnal Ilmiah Indonesia*, 5(8), 507-521.
- Dar, M. A., Sahoo, D. R., Pulikkal, S., & Jain, A. K. (2018). Behaviour of laced built-up cold-formed steel columns: Experimental investigation and numerical validation. *Thin-Walled Structures*, 132, 398-409.
- Dar, M. A., Sahoo, D. R., & Jain, A. K. (2019). Axial compression behavior of laced cold-formed steel built-up columns with unstiffened angle sections. *Journal of Constructional Steel Research*, 162, 105727.
- Mathlab. (2021). *R2021a. Polyscape*.