

Pengaruh Bentuk dan Jarak Purlin terhadap Stabilitas Lateral Rafter pada Struktur Portal Baja

Taufik Ramlan Wijaya^{*1}, Stevy Christopher Assa²

Fakultas Sains Terapan dan Teknologi, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta Selatan

e-mail: ^{*}taufik_ramlan@istn.ac.id, ²steve.assa@gmail.com.

Abstract

This paper presents the results of research on the lateral stability of rafter beams in steel frame structures with and without considering the contribution of purlins. Numerical simulations of six three-dimensional finite element models have been carried out by varying the profile and spacing of purlin. The purlin shapes used are C and Z profiles. The purlin spacing used is 1 m, 1.42 m, and 2 m. It was revealed that rafters that include purlin contributions (braced) have a greater elastic critical moment ($M_{cr-elastic}$) capacity, between 321.37% - 444.68%, compared to those that do not include purlins (unbraced). It was also found that due to its greater weak axis inertia, the Z profile has superior performance (by 1.776% - 2.846%) compared to the C profile. It was revealed that increasing the number of purlins (bracing) resulted in $M_{cr-elastic}$ values exceeding the plastic moment (M_p) by 18.082% - 52.638%. Meanwhile, if the purlin is not considered (unbraced) the $M_{cr-elastic}$ values are below the plastic moment (M_p). It was also found that purlins could effectively shifts the rafter failure mode from elastic lateral torsional buckling to yield condition.

Keywords: lateral stability, lateral torsional buckling, elastic critical moment, rafter, purlin.

Abstrak

Tulisan ini menyajikan hasil penelitian tentang stabilitas lateral balok rafter pada struktur portal baja dengan dan tanpa memperhitungkan kontribusi purlin. Simulasi numerik terhadap enam model elemen hingga tiga dimensi telah dilakukan dengan memvariasikan bentuk profil dan jarak purlin. Bentuk purlin yang digunakan adalah Profil C dan Z. Jarak purlin yang digunakan adalah 1 m, 1,42 m, dan 2 m. Terungkap bahwa rafter yang menyertakan kontribusi purlin (*braced*) memiliki kapasitas

momen kritis elastik ($M_{cr-elastic}$) lebih besar, antara 321,37% - 444,68%, dibandingkan yang tidak menyertakan purlin (*unbraced*). Didapatkan pula, dikarenakan inersia sumbu lemahnya yang lebih besar, profil Z memiliki kinerja yang lebih unggul (1,776% - 2,846%) dibandingkan profil C. Terungkap penambahan jumlah purlin (*bracing*) mengakibatkan nilai $M_{cr-elastic}$ rafter melampaui momen plastis (M_p) sebesar 18,082% - 52,638%. Sedangkan, apabila purlin dianggap tidak ada (*unbraced*) nilai $M_{cr-elastic}$ menjadi di bawah momen plastis. Didapatkan pula purlin efektif menggeser mode kegagalan rafter dari tekuk torsi lateral elastik menuju kondisi leleh.

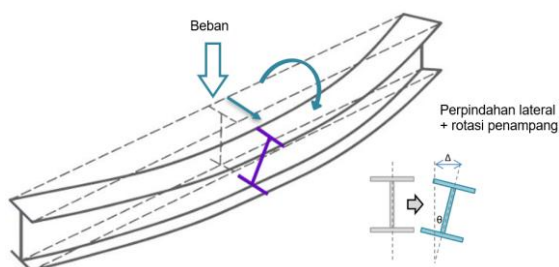
Kata Kunci: stabilitas lateral, tekuk torsi lateral, momen kritis elastik, rafter, purlin.

PENDAHULUAN

Bagi seorang insinyur, setiap elemen struktur yang secara nyata dapat meningkatkan keamanan, ketahanan, dan stabilitas, maka perlu disertakan dan diperhitungkan. Dalam arah lateral, hal-hal tersebut dapat dicapai melalui tersedianya pengekang lateral (*lateral bracing*), pembatasan panjang tak terkekang (*limitation of unbraced length*), kekompakan penampang, kekakuan puntir (*torsional rigidity*), dan pengaku sambungan (*stiffener*) dan tumpuan (*restraint*) (Lihat, misalnya, penelitian oleh Pujiyanto *et al.*, 2025; Piotrowski & Szychowski, 2026; Shaker & Abd Elaziz, 2022; Bhat *et al.*, 2025).

Stabilitas struktur merupakan kemampuan suatu struktur untuk mempertahankan kesetimbangan, integritas dan geometrinya ketika menerima beban dari dalam, seperti beban-beban sendiri) maupun dari luar (*external excitations*, seperti beban gempa dan angin). Hal ini memastikan bahwa elemen struktural seperti kolom, balok, dan fondasi tidak melengkung atau rusak, sehingga bangunan tetap aman untuk digunakan.

Dengan demikian, stabilitas lateral (*lateral stability*) struktur bangunan merujuk kepada kemampuannya untuk tetap stabil secara horizontal ketika gaya lateral diterapkan padanya. Gaya lateral tersebut dapat berupa beban angin, guncangan gempa bumi, atau benturan/tumbukan. Salah satu stabilitas lateral struktur yang menjadi perhatian para perancang dan analisis struktur adalah fenomena tekuk torsi lateral (Lihat Gambar 1). Tekuk torsi lateral (*lateral torsional buckling* – LTB) adalah ketidakstabilan yang terjadi ketika balok mengalami lentur, daerah tekan (di atas sumbu netral) berperilaku menyerupai kolom, dan mirip seperti kolom, daerah ini akan mengalami tekuk jika elemen tersebut cukup ramping (Segui, 2017).



Gambar 1 Perilaku tekuk torsi lateral

Purnama, *et al.* (2017) menemukan secara eksperimental sebuah balok baja profil I mengalami kegagalan akibat LTB sebelum profil tersebut mengalami leleh. Profil IWF 150×75×5×7 yang digunakan memiliki mutu BJ41 dan bentang 3,3 m. Hal tersebut terjadi karena stabilitas lateral balok dengan bentangan panjang lebih menentukan ketimbang kapasitas penampang. Secara riil, deformasi lateral lebih cepat meningkat dari pada perubahan deformasi lenturnya. Penempatan pengaku vertikal (*stiffeners*) pada jarak tertentu di sepanjang balok dapat meningkatkan stabilitas lateralnya terhadap tekuk torsi lateral.

Balok rafter dan purlin (*gording*) umumnya ditemui pada berbagai struktur portal rangka bangunan baja. Sebagai balok yang terletak pada atap yang memiliki kelainan tertentu, rafter berperilaku sebagai elemen balok-kolom yang menerima gaya momen lentur dan juga gaya aksial.

Pada umumnya purlin tidak turut dimodelkan dalam analisis struktur karena dianggap sebagai beban yang bekerja pada rafter. Berat sendiri purlin dan beban lainnya dikoversi sebagai beban merata yang bekerja

pada rafter berdasarkan *tributary area* pembebanannya. Dan, karena dianggap sebagai elemen struktural pendukung sekunder, kontribusi purlin terhadap kekuatan lateral rafter tidak terlalu dipertimbangkan. Sehingga, di dalam perancangannya, rafter diperlakukan sebagai elemen balok tanpa pertambahan lateral di sepanjang bentang (*unbraced*).

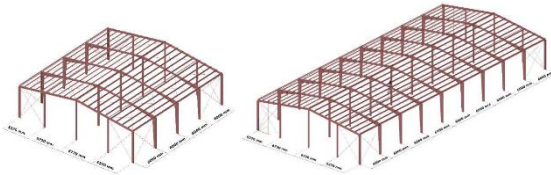
Perancangan elemen rafter yang demikian akan menghasilkan desain konservatif yang lebih mengutamakan faktor keamanan tinggi untuk menghindari resiko kegagalan. Namun di sisi lain desain menjadi tidak efisien dan boros material karena mengabaikan kontribusi kekakuan purlin sebagai elemen lateral support. Atas latar belakang hal tersebut telah dilakukan kajian kritis untuk mengetahui bagaimanakah pengaruh kekakuan purlin terhadap kemampuan rafter di dalam menahan bahaya tekuk torsi lateral (*lateral torsional buckling*).

Sejumlah peneliti sesungguhnya telah mengkaji pengaruh kekakuan purlin terhadap kapasitas tekuk torsi lateral (*lateral torsional buckling*) balok baja (Eltogby *et al.*, 2010; Edvardsson & Lundquist, 2014; Nagy *et al.*, 2018). Melalui simulasi analitik menggunakan model-model numerik 3 dimensi berbasis metode elemen hingga, Eltogby *et al.* (2010) mendapatkan bahwa purlin dapat berperan sebagai bracing dan berperan signifikan terhadap bidang sumbu minor struktur kerangka baja.

Edvardsson & Lundquist (2014) menyatakan bahwa purlin-purlin yang terkoneksi dengan baik pada girder meningkatkan stabilitas lateral struktur. Tidak hanya itu, purlin-purlin tersebut juga mengurangi pergerakan lateral struktur di lokasi sambungan dengan girder. Mereka berdua juga mendapatkan kekakuan puntir girder meningkat seiring bertambahnya jumlah purlin yang tersambung pada girder. Peningkatan kekakuan puntir ini hanya memengaruhi besaran momen tekuk kritis ketika purlin terpasang pada sayap tarik (*tension flange*) girder utama. Mereka menegaskan bahwa manakala kekakuan puntir diabaikan, purlin-purlin tetap menambahkan pengekangan lateral pada struktur, dan besarnya momen tekuk kritis yang terjadi nyaris constant untuk berbagai jarak purlin.

Hal serupa ditemukan oleh Nagy *et al.* (2018) terkait sumbangsih kekakuan sambungan purlin terhadap balok utama (*main girder*) dari struktur kerangka pelana (*gable*

frame structures) terhadap kekakuan lateral global. Mereka juga menemukan struktur yang terdiri hanya atas 5 individual *gable frames* (Lihat Gambar 2 di bawah) efek diafragma atap terhadap kekakuan struktur secara global lebih kuat dibandingkan dengan struktur yang terdiri atas 10 individual *gable frames*. Tegasnya, *gable frame* yang terletak semakin jauh dari *gable frame* yang diperkuat (*braced*) efek penguatan diafragma atapnya berkurang.



Gambar 2 Struktur rangkaian pendek (5 *gable frames*) dan panjang (10 *gable frames*) (Nagy et al., 2018)

Pemparan di atas membuktikan bahwa elemen sekunder/pendukung suatu struktur, seperti purlin; lembaran atap gelombang; pengaku balok; dan sejenisnya, sangatlah berarti dalam menambah stabilitas lateral. Helwig (2025) merangkum akumulasi riset panjang mengenai perilaku *lateral torsional buckling* pada balok/gelagar I mencakup pengaruh gradien momen, penampang non-prismatik, hingga *system buckling* pada sistem multi girder. Ia menempatkan *torsional bracing* sebagai kunci dalam desain jembatan dan gedung: bukan sekadar “ada bracing atau tidak”, melainkan seberapa besar kekakuan dan kekuatan *bracing* tersebut dalam mengubah mode instabilitas dan meningkatkan kapasitas.

Badan Standarisasi Nasional (2020) telah menerbitkan ketentuan dan tata cara perhitungan momen lentur nominal, M_n , balok rafter yang merupakan profil I simetris ganda. Besarnya M_n ditentukan oleh nilai terkecil dari kondisi batas leleh dan kondisi tekuk torsi lateral. Di mana pada kondisi tekuk torsi lateral penentuannya dipengaruhi oleh:

- L_b : panjang bentang balok yang tidak terkekang secara lateral (*length between braces*),
- L_p : batas panjang maksimum agar balok dapat mencapai momen plastis (M_p) tanpa mengalami tekuk torsi lateral (*limiting length for plastic behavior*), dan

Pengaruh Bentuk dan Jarak Purlin

- L_r : panjang batas di mana balok mulai berperilaku tekuk inelastic (*limiting length for inelastic*).

Besarnya L_p dan L_r , masing-masing secara berturut-turut ditentukan oleh persamaan (F2-5) dan (F2-6) di dalam SNI 1729:2020 (Badan Standarisasi Nasional, 2020). Berdasarkan kriteria yang disajikan dalam Standar tersebut penentuan kapasitas momen dapat diringkas sebagaimana disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Penentuan Kapasitas Momen

Kondisi	Zona Tekuk	Kapasitas Momen
$L_b \leq L_p$	Batang Pendek (Plastis)	$M_n \leq M_p$ (Kapasitas Maksimum)
$L_p < L_b \leq L_r$	Batang Menengah (Inelastis)	M_n dihitung via interpolasi linier antara M_p dan $0,7F_yS_x$
$L_b > L_r$	Batang Panjang (Elastis)	$M_n = F_{cr}S_x \leq M_p$ (rumus tekuk elastis)

Untuk kondisi $L_b > L_r$, besarnya tegangan kritis F_{cr}

$$F_{cr} = \frac{C_b \times \pi^2 \times E}{(L_b / r_{ts})^2} \times \sqrt{1 + 0,078 \times \frac{J_c}{S_x h_0} \times \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}$$

.....(1)

di mana:

$$C_b = \frac{12,5M_{\max}}{2,5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

.....(2)

dengan:

M_{\max} = Momen maksimum (absolut) sepanjang *unbraced* segment

M_A = Momen pada $\frac{1}{4}$ bentang (absolut) sepanjang *unbraced* segment

M_B = Momen pada $\frac{1}{2}$ bentang (absolut) sepanjang *unbraced* segment

M_C = Momen pada $\frac{3}{4}$ bentang (absolut) sepanjang *unbraced* segment

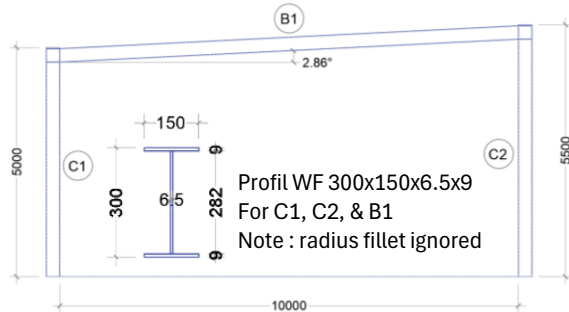
Persamaan-persamaan di atas dan Persamaan (F2-1) hingga (F2-8) di dalam SNI 1729-2020 sepenuhnya dan seluruhnya diadopsi dari Standar spesifikasi bangunan baja struktural Amerika Serikat (AISC, 2020).

Penelitian ini mengkaji lebih dalam pengaruh bentuk profil dan jarak purlin terhadap stabilitas elastisitas balok rafter yang terdapat struktur portal baja. Tujuannya adalah untuk mengungkapkan bagaimanakah

kontribusi purlin terhadap stabilitas lateral rafter pada portal baja. Secara spesifik dikaji kontribusi kekakuan purlin terhadap momen tekuk lateral rafter. Serta, berapakah besarnya kekakuan purlin agar secara efektif dapat berfungsi sebagai *lateral bracing*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan komputasi numerik (*numerical computational*) berbasis metode elemen hingga melalui perangkat lunak ANSYS. Struktur rangka yang digunakan dalam penelitian ini merupakan portal baja *monoslope* sebagaimana terlihat dalam Gambar 3 berikut.



Gambar 3 Detail struktur & profil penampang

Struktur yang menjadi obyek penelitian ini dimodelkan secara numerik menggunakan pendekatan metode elemen hingga 3 dimensi (*3-D finite element method*). Adapun perangkat lunak berbasis metode elemen hingga yang digunakan adalah ANSYS.

Para peneliti terdahulu telah membuktikan bahwa analisis struktur bangunan sipil yang mengalami LTB, khususnya dalam ranah elastis sampai semi plastis, dapat dilakukan menggunakan model tiga dimensi berdasarkan metode elemen hingga (Eltogby *et al.*, 2010; Edvardsson & Lundquist, 2014; Shaker & Abd Elaziz, 2022; Karim, 2024; Vales & Stan, 2025; dan Bhat *et al.*, 2025).

Edvardsson & Lundquist (2014), misalnya, menggunakan elemen-elemen cangkang bersimpul delapan (*eight-noded shell elements*) untuk menganalisa pengaruh purlin terhadap *lateral torsional buckling* balok-balok baja dengan web bergelombang. Mereka mengklaim bahwa analisis dengan metode elemen hingga memberikan hasil yang logis dan akurat.

Elemen cangkang tiga dimensi memang biasanya digunakan para peneliti untuk memodelkan struktur kerangka baja, sebagaimana yang dilakukan oleh Karim

(2024). Ia menggunakan elemen-elemen cangkang dalam ANSYS untuk memvalidasi keluaran perangkat lunak hasil analisis *lateral torsional buckling* oleh STAAD.Pro Advanced yang memodelkan struktur menggunakan balok baja tiga dimensi.

Pada kesempatan lain, dan dalam kaitannya dengan penelitian ini, Assa (2026) telah membandingkan penggunaan elemen hingga padat (SOLID 185) dan cangkang (SHELL 181) untuk menentukan nilai kekuatan lentur dan lateral struktur portal baja *monoslope*. Balok rafter diberikan beban gravitasi sebesar 5 kN/m dengan penjelasan yang dapat dilihat pada Tabel 2.

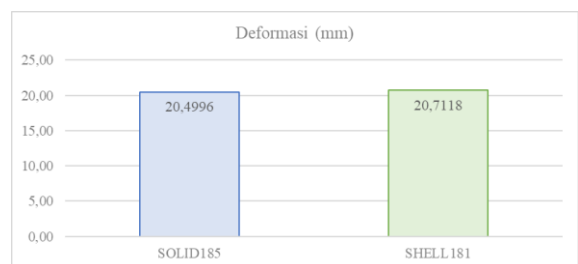
Tabel 2 Nilai Beban Pada Model

Model	SOLID185		SHELL181
Tipe	Nodal	Nodal	Nodal
Beban	Load	Load	Pressure on Line
	2 Node Kiri	800 Node Tengah	2 Node Kanan
Nilai Beban	31,172 N	62,344 N	31,172 N
Total	50.000 N		50.000 N

Hasil analisis statis, sebagaimana dapat dilihat dalam Gambar 4 dan 5, menunjukkan bahwa tegangan maksimum dan deformasi yang diberikan keduanya memberikan nilai yang tidak jauh berbeda. Artinya, baik elemen padat (SOLID 185), maupun cangkang (SHELL 181), keduanya dapat digunakan untuk analisis stabilitas lateral struktur portal 3 dimensi.



Gambar 4 Perbandingan nilai tegangan



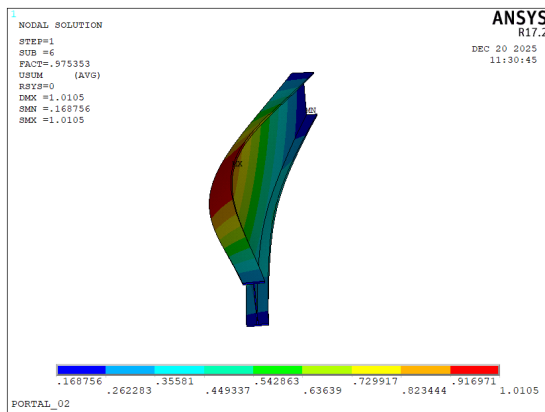
Gambar 5 Perbandingan Nilai Deformasi

Tabel 3 Perbandingan *Eigen Value Analysis*

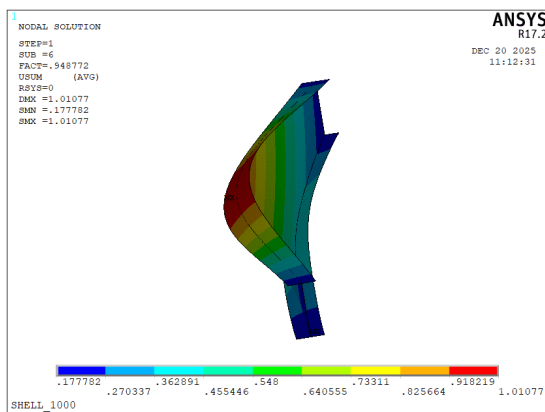
Element	Load Factor	Beban Ultimit
SOLID185	0,9754	4,8768 kN/m
SHELL181	0,9488	4,7439 kN/m

Selanjutnya, terhadap kedua model tersebut dilakukan *eigen value (buckling) analysis* dengan mengabaikan keberadaan purlin pada rafter (*unbraced*). Keluarannya adalah *load multiplier factor* dan ragam/pola tekuk (*buckling mode*). *Load multiplier factor*, atau kadang disebut juga *load factor (LF)* saja, adalah suatu angka yang menunjukkan berapa kali beban yang diterapkan saat ini (beban nominal) dapat ditingkatkan sebelum struktur mengalami kegagalan. Dengan diberikan beban nominal yang bekerja pada struktur dapat diketahui beban ultimit yang dapat mengakibatkan kegagalan struktur.

Ragam/pola tekuk untuk model dengan SOLID 185 dan SHELL 181 dapat dilihat berturut-turut dalam Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6 Pola tekuk model SOLID 185.

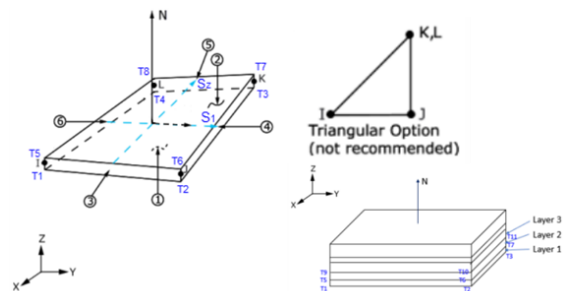


Gambar 7 Pola tekuk model SHELL 181.

Tabel 3 memperlihatkan *load factor* dan beban ultimit/kritis, yang didapat dengan memberikan beban nominal sebesar 5 kN/m. Dapat diketahui bahwa selisih nilai *load factor* di antara kedua model cukup kecil (~2,8%).

Hasil-hasil di atas menunjukkan bahwa kedua tipe elemen menunjukkan hasil yang serupa dan saling memvalidasi. Sehingga, diputuskan untuk semua simulasi yang akan dilakukan dalam penelitian ini menggunakan elemen SHELL 181. Hal tersebut, karena SHELL 181 lebih memberikan kepraktisan dalam pemodelan tanpa mengorbankan akurasi hasil yang dikeluarkan.

SHELL 181 (Gambar 8) adalah elemen 4 simpul dengan enam derajat kebebasan pada setiap simpulnya: satu translasi masing-masing dalam arah x, y, dan z, dan satu rotasi masing-masing dalam arah x, y, dan z. Formulasi elemen dibangun berdasarkan teori deformasi geser orde pertama (*Mindlin-Reissner theory*), sehingga elemen ini cocok untuk memodelkan struktur tipis hingga sedang.



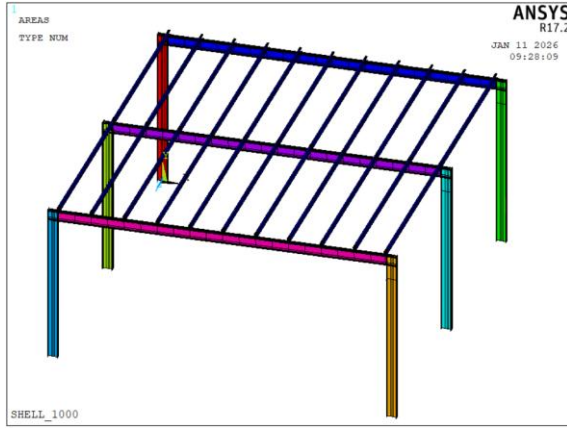
Gambar 8 Elemen SHELL181 (ANSYS, 2021)

Berdasarkan variasi jarak dan dimensi purlin serta bentuk profil, maka akan didapatkan sebanyak 6 simulasi. Tabel 4 di bawah menampilkan variasi jarak dan bentuk profil purlin.

Tabel 4 Keterangan Model Simulasi

No.	Model	Jarak	Purlin
1	SC-C-01	1.00 m	C150×50×20×3
2	SC-C-02	1.42 m	C150×50×20×3
3	SC-C-03	2.00 m	C150×50×20×3
4	SC-Z-01	1.00 m	Z150×50×20×3
5	SC-Z-02	1.42 m	Z150×50×20×3
6	SC-Z-03	2.00 m	Z150×50×20×3

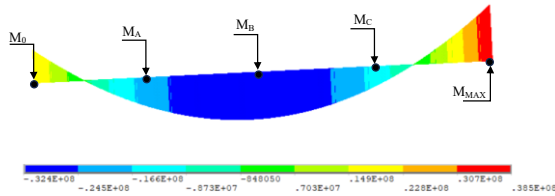
Gambar 9 di bawah memperlihatkan model simulasi 1 (SC-C-01) yang menggunakan purlin C150×50×20×3 dan berjarak setiap 1 m.



Gambar 9 Model numerik untuk simulasi 1

HASIL DAN PEMBAHASAN

Momen kritis (M_{cr}) struktur portal yang menjadi obyek penelitian ini (Gambar 3) secara teoritis (SNI 11729:2020) dihitung sesuai langkah yang telah dipaparkan di atas. Langkah pertama adalah menentukan momen-momen lentur sesuai maksud Persamaan (2). Gambar 10 memperlihatkan diagram momen lentur Model 1 akibat beban inisial sebesar 5 kN/m.



Gambar 10 diagram momen lentur Model 1

Diperoleh: M_0 22,544 kN.m; M_A -20,108 kN.m; M_B -32,199 kN.m; M_C -13,732 kN.m; dan M_{MAX} 38,549 kN.m. Maka, dari Persamaan (2) didapatkan:

$$C_b = \frac{12,5M_{max}}{2,5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} = 1,475.$$

Untuk mengetahui zona tekuknya ditentukan terlebih dahulu:

$$L_b = 10.000 \text{ mm}$$

$$L_p = 1,76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.664,7 \text{ mm}$$

$$L_r = 1,95 \times r_{ts} \times \frac{E}{0,7 \times F_y} \times \dots$$

$$\dots \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_0} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_0}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \times F_y}{E}\right)^2}} = 4.981,1 \text{ mm}$$

Karena $L_b \geq L_r$, maka terjadi *elastik lateral torsional buckling*. Tegangan kritis F_{cr} dihitung menggunakan Persamaan (1) dan momen kritis nominal untuk kasus tekuk elastis (lihat Tabel 1):

$$M_{cr-elastic} = F_{cr} \times S_x = 46,079 \text{ kN.m}$$

Sementara, dari model numerik untuk kasus rafter tak terkekang (purlin dianggap tidak berkontribusi pada kekakuan lateral struktur) diperoleh hasil sebagai berikut:

- Solid Model: $M_{cr} = 37,601 \text{ kN.m}$
- Shell Model: $M_{cr} = 36,575 \text{ kN.m}$

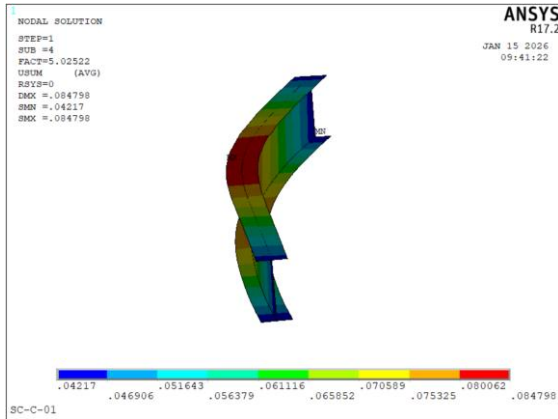
Perbedaan keduanya dengan nilai teoritis adalah, berturut-turut, 22,55% dan 25,98%. Artinya, nilai yang diberikan oleh standar Indonesia sangat menjanjikan keamanan dan cukup konservatif. Sementara, nilai-nilai M_{cr} dari model-model numerik berpotensi menurunkan kapasitas struktur. Dengan demikian diperlukan perbandingan lain untuk memvalidasi semuanya. Di antara adalah metode perhitungan yang digunakan oleh standar Uni Eropa (Eurocode 3: 2005).

Eigen buckling analyses terhadap keenam model numerik telah dilakukan di mana hasil dan pembahasan secara terperinci telah disajikan oleh Assa (2026). Di sini hanya akan ditampilkan pemaparan secara ringkas dan padat.

Model 1 menghasilkan *load multiplier factor (LF)* pada rafter baja sebesar 5,025. Dengan *LF* tersebut, maka momen kritis yang akan menyebabkan rafter mengalami *lateral torsional buckling* adalah sebesar:

$$M_{cr-elastic} = M_{max} \times LF = 38,549 \times 5,025 = 193,708 \text{ kN.m}$$

di mana M_{max} merupakan momen maksimum dari hasil *static analysis* pada model portal *frame* dengan beban referensi 5kN/m. Gambar 11 memperlihatkan *plot* hasil *eigen buckling analysis* pada rafter portal tengah (kolom dan purlin tidak ditampilkan untuk kejelasan *buckling mode*).



Gambar 11 *Buckling mode* rafter tengah model simulasi 1

Selanjutnya, *load multiplier factor* dan besar nilai momen kritis elastik untuk setiap model simulasi yang dianalisis dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5 *Load Multiplier Factor* dan $M_{cr-elastic}$

No.	Model	Jarak	L.F	$M_{cr-elastic}$
1	SC-C-01	1.00 m	5,025	193,708 kN.m
2	SC-C-02	1.42 m	4,572	176,246 kN.m
3	SC-C-03	2.00 m	3,998	154,119 kN.m
4	SC-Z-01	1.00 m	5,168	199,221 kN.m
5	SC-Z-02	1.42 m	4,698	181,103 kN.m
6	SC-Z-03	2.00 m	4,069	156,856 kN.m

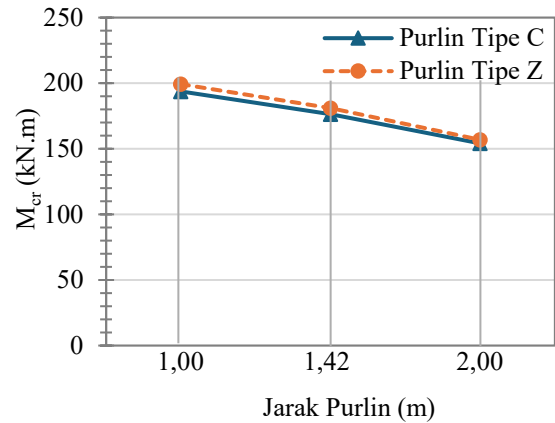
Hasil di atas menunjukkan bahwa pemodelan purlin pada rafter dapat meningkatkan kapasitas $M_{cr-elastic}$ secara signifikan, bahkan melebihi kapasitas *moment plastic* penampang (M_p) yang dihitung berdasarkan SNI 1729-2020 sebagai berikut:

$$M_n = M_p = Z_x \times f_y = 130,519 \text{ kN.m}$$

Dengan demikian, dapat diartikan bahwa pada level elastik, pengaruh purlin cenderung menggeser kondisi pengendali dari *lateral torsional buckling elastic* menuju kondisi leleh (*yield*).

Sedangkan dari sisi bentuk, purlin tipe Z memberikan peningkatan kapasitas M_{cr} pada rafter lebih besar dibanding purlin tipe C sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 12 berikut.

Pengaruh Bentuk dan Jarak Purlin



Gambar 12 Diagram nilai M_{cr} dari tipe purlin dan jarak purlin

Perbedaan ini disebabkan oleh purlin tipe Z memiliki kelebihan seperti, kekakuan rotasi, *modulus section* dan *inertia weak axis* yang lebih besar serta pusat geser yang berhimpitan dengan pusat berat dibanding purlin tipe C. Hal ini mencegah terjadinya *local twisting* pada purlin saat menahan gaya lateral dari rafter.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini telah membuktikan secara nyata bahwa barisan purlin yang terdapat pada rafter memberikan kontribusi signifikan terhadap stabilitas lateral struktur porta baja *monoslope*.

Pemodelan purlin C150×50×20×3mm dan Z150×50×20×3mm pada *top flange* rafter terbukti meningkatkan momen kritis elastik ($M_{cr-elastic}$) secara signifikan dibandingkan tanpa purlin. Pada penelitian ini peningkatan yang terjadi berkisar 321,37% hingga 444,68%.

Peningkatan $M_{cr-elastic}$ dipengaruhi oleh kekakuan purlin, konfigurasi kekangan, dan *unbraced length* (L_b). Semakin rapat jarak purlin maka semakin besar nilai $M_{cr-elastic}$, begitu pula sebaliknya.

Sedangkan dari variabel dimensi, purlin tipe Z150×50×20×3mm menghasilkan $M_{cr-elastic}$ lebih tinggi berkisar 1,776% - 2,846% dibanding purlin tipe C150×50×20×3mm. Hal ini berkaitan dengan kekakuan penampang yang mana purlin tipe Z memiliki *inertia* dan *modulus section weak axis* yang lebih besar dibanding purlin tipe C meskipun secara dimensi dan luasan penampang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- AISC. (2022). Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360-22). American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois.
- ANSYS, Inc. (2025). *Workbench*, Release 2025 R1, Workbench Help System.
- Assa, S. C. (2026). *Pengaruh Bentuk dan Jarak Purlin terhadap Stabilitas Lateral Rafter Struktur Portal Baja via Analisis Elemen Hingga 3 Dimensi*, Tesis Magister Teknik Sipil, Fakultas Sains Terapan dan Teknologi, Institut Sains dan Teknologi Indonesia (ISTN), Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional (2020). *Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. SNI 1729:2020. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Bhat, P. K., Ashwita, S., & Bhat, D. K.. (2025). Span-dependent comparative analysis of lateral torsional buckling and nonlinear load behaviour in castellated and solid I-beams using analytical and finite element approaches. *Material Research Express*, 1(2), 2 – 19. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ae284c>.
- Edvardsson, G. E. & Lundquist B. (2014). *Influence of Purlins on Lateral-Torsional Buckling of Steel Girders with Corrugated Web*. Master of Science Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden 2014.
- Eltobgy, H., Fayez, F., & Lokman, M. (2010). Effect of Corrugated Sheets on the Lateral Stability of Steel Frames. *ESRJ, Engineering and Scientific Research Journal*, Faculty of Engineering at Shoubra, Cairo, Egypt, Number 13 July 2010, 124 – 134.
- European Committee for Standardization. (2005). Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings (EN 1993-1-1:2005). Brussels: CEN
- Helwig, T. (2025). Lateral torsional buckling and torsional bracing of steel girder systems. *Proceedings of the Annual Stability Conference*, Structural Stability Research Council Louisville, Kentucky, April 1-4,
- Karim, F. (2024). *Lateral Torsional Buckling of Steel Beams With Beam and Shell Element*. Master's Thesis, School of Energy System, Lahti University of Technology, Lappeenranta, Finland.
- Nagy, Zs, Mois, I., Pop, A. & Dezo, A.. (2018). The Influence of Purlin-to-Beam Connection Stiffness in Stress Skin Action on Portal Frames. *Proc. of Eighth International Conference on Thin-Walled Structures*, Lisbon, Portugal, July 27 – 28, 2018, <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ae284c>.
- Piotrowski, R. & Szychowski. A. (2026). The Elastic Critical Moment of Lateral Torsional Buckling of Steel Beams with Spatially Elastically Restrained at the Support Nodes. *Materials*, 19(120), 1 – 28. <https://doi.org/10.3390/ma19010120>.
- Pujianto, C., Ramadhani, F. I., Aditya, Z., Simanjuntak, M. R. A., & Naibaho, P. R. T. (2025). Analisis Pengaruh Sistem Bracing-X Terhadap Respons Seismik Struktur Bangunan Industri Konstruksi Baja. *Journal of Comprehensive Science*, 4(8), 2460 – 2467. <https://doi.org/10.59188/jcs.v4i8.3493>.
- Purnama, D. D., Aminullah, A., & Muslikh. (2017). Studi Eksperimental Kuat Lentur Baja Profil I Kompak Simetris Ganda Berdasarkan RSNI 03-1729-201X. *Jurnal Forum Mekanika*. 6(2), 99 – 105. <https://doi.org/10.33322/FORUMMEKANIKA.V6I2.122>.
- Secer, M. & Uzun. E. T. (2017). Elastic Lateral Torsional Buckling of Simply Supported Beams under Concentrated Load and Linear Moment Gradient. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 245, 1 – 28. <https://doi.org/10.3390/ma19010120>.
- Segui, W. T. (2017). *Steel Design*, 6th Edition, Cengage Learning, USA
- Shaker, F. M. F.. & Abd Elaziz, A. M. (2022). Parametric Study of the Lateral-Torsional Buckling Behaviour for Steel Girders with Corrugated Webs. *Engineering Journal*, 62(1), 27 – 42. <https://doi.org/10.62913/engj.v62i1.1336>.
- Vales, J., & Stan, T-C.. (2025). FEM Modelling of Lateral-Torsional Buckling Using Shell and Solid Elements. *Procedia Engineering – Structural and Physical Aspects of Construction Engineering*, 190(2017), 464 – 461. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.365>.