

## Analisis Kondisi Keruntuhan Dan Beban Tekuk Kolom Profil Baja

Hendry Tanoto KALANGI<sup>1\*</sup> · Jonie TANIJAYA<sup>2</sup> · Ronald Likar WITANTO<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Makassar, Jalan Tanjung Alang No. 23, Makassar, email: hkalangi73@gmail.com, jonie.tanjajaya@gmail.com

<sup>3</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Makassar Jalan Tanjung Alang No. 23, Makassar, email: ronaldlikarwitanto@gmail.com

### Abstract

*This study discussed the H and WF steel profiles that encountered axial compressive forces. A structural element with a straight geometry was loaded by axial compressive forces which is started from 1 N until the highest load that could be achieved. This simulations was done by finite element method program of Ansys R18.0. In this study, an analysis of the H and WF steel profiles was carried out to obtain failure conditions and the value of buckling load that can be achieved from the steel profile with variations in type of restraints. The buckling load analysis is carried out theoretically (literature) and compared with eigenvalue buckling by Ansys R18.0. The buckling load generated by Ansys R18.0 will also be analyzed to obtain the effective length conversion factor (K) and then compare it with the K value got from the existing literature. The results showed both H and WF steel profile underwent failure by flexural buckling conditions, meanwhile the largest buckling load is 1.452,5729 kN of H 200x200x12x8 profile with fixed-fixed type of restraints, and the smallest buckling load was found 1,7639 kN of WF 100x50x7x5 profile with fixed-free type of restraints by the theoretical analysis. The effective length conversion factor (K) by using Ansys R18.0 was found 6% smaller than the existing literature. The buckling loads calculated by Ansys R18.0 was found 12% greater than the results of theoretical analysis.*

**Keywords:** : H and WF steel, buckling, failure, buckling loads

## 1. Pendahuluan

### Latar Belakang

Dalam perkembangan konstruksi sipil, telah banyak bangunan-bangunan seperti perkantoran, industri, dan infrastruktur yang menggunakan material baja sebagai elemen strukturnya. Material baja semakin banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan, seperti kemudahan dalam pelaksanaannya, pabrikasi yang seragam, dapat dipakai berulang serta sifat daktilitasnya yang tinggi dibandingkan dengan material lain, seperti beton. Disisi lain, material baja juga memiliki beberapa kekurangan, diantaranya rawan terhadap korosi, dapat mengalami penurunan kekuatan akibat suhu tinggi, dan cenderung mengalami tekuk (buckling/instability). Kolom merupakan elemen struktur vertikal lurus yang memikul beban dari balok dan meneruskannya ke pondasi. Apabila dibandingkan dengan dimensi kolom beton bertulang, maka kolom baja memiliki geometri penampang yang lebih langsing (cenderung tipis), sehingga perlu dicek perilaku tekuknya. Peninjauan terhadap perilaku tekuk yang dialami kolom baja dapat dilihat dari nilai tegangan kritis tekuk lentur, tegangan kritis tekuk torsi dan tegangan kritis tekuk lentur torsi, dan nilai beban tekuk kritis. Nilai tegangan kritis tekuk terkecil yang menentukan kondisi keruntuhan terhadap kolom baja.

---

\*penulis korespondensi

**Rumusan Masalah**

- a. Bagaimana kondisi keruntuhan tekuk yang terjadi pada kolom profil baja H dan WF?
- b. Berapa nilai beban tekuk kritis yang dapat dicapai dari kolom profil baja H dan WF?
- c. Berapa nilai faktor konversi panjang efektif (*K*) yang dihasilkan dari program metode elemen hingga *Ansys R18.0*?
- d. Berapa perbedaan nilai beban tekuk kritis dari kolom profil baja H dan WF yang dihasilkan dari analisis teoritis dan analisis program metode elemen hingga *Ansys R18.0*?

**Tujuan Penelitian**

- a. Menganalisis kondisi keruntuhan tekuk yang terjadi pada kolom profil baja H dan WF.
- b. Menganalisis nilai beban tekuk kritis yang dapat dicapai dari kolom profil baja H dan WF.
- c. Menganalisis nilai faktor konversi panjang efektif (*K*) yang dihasilkan dari program metode elemen hingga *Ansys R18.0*.
- d. Mengetahui perbedaan nilai beban tekuk kritis dari kolom profil baja H dan WF yang dihasilkan dari analisis teoritis dan analisis program metode elemen hingga *Ansys R18.0*.

**Landasan Teori**

Beberapa keunggulan dari material baja, yaitu kekuatannya yang tinggi yang dapat mengurangi dimensi struktur yang digunakan sehingga berat sendiri struktur akan berkurang dan akan menguntungkan untuk konstruksi dengan bentangan yang panjang. Disisi lain baja dapat dipabrikasi secara seragam dan berulang sehingga dapat dilakukan proses optimasi serta efisiensi. Selain memiliki keuntungan, material baja juga memiliki kelemahan, yaitu memerlukan biaya yang cukup besar dan pemeliharaan berkala, tidak tahan terhadap suhu tinggi dan korosi, dan cenderung mengalami tekuk. Salah satu faktor yang mempengaruhi kekuatan baja yaitu mutunya. Klasifikasi jenis baja berdasarkan mutunya tertera pada tabel 1.

Tabel 1 Jenis klasifikasi baja berdasarkan mutunya

Jenis baja	Tegangan putus minimum, $f_u$ (MPa)	Tegangan leleh minimum, $f_y$ (MPa)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

(Sumber: SNI-03-1729-2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung)

Perilaku tekuk sangat penting untuk dipelajari karena dapat menjadi penyebab utama keruntuhan elemen struktur tekan. Teori tekuk kolom ideal dirumuskan oleh Leonhard Euler tahun 1744 dengan formula sebagai berikut:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \tag{1}$$

Berdasarkan metode panjang efektif kolom, maka rumus tekuk Euler untuk berbagai jenis perletakan kolom dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \tag{2}$$

Akan tetapi Persamaan (2) hanya valid digunakan untuk memprediksi kolom pada kondisi elastis, dimana tegangannya belum mencapai batas proporsionalnya, sehingga tiap kali digunakan harus dicek terlebih dahulu terhadap kondisi tegangannya. Maka bentuk persamaan dalam bentuk tegangan kritis dapat memudahkan validitas pemakaiannya, dimana bentuknya adalah sebagai berikut:

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 EI}{A(KL)^2} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (3)$$

Dimana, nilai r atau radius girasi penampang sama dengan tergantung sumbu penampang yang ditinjau, dan nilai KL/r disebut sebagai rasio kelangsingan kolom. Nilai K yang digunakan pada penelitian ini, yaitu K teoritis yang bertujuan untuk lebih mendekati hasil analisis elemen hingga nilai beban tekuk kritis dari program metode elemen hingga Ansys R18.0. Variasi nilai K terdapat pada gambar 1.

Garis putus menunjukkan posisi kolom pada saat tertekuk							
	<i>k</i> teoritis	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
	<i>k</i> disain	0,65	0,80	1,2	1,0	2,10	2,0
Keterangan	jepit		sendi		rol tanpa rotasi		ujung bebas

Gambar 1 Panjang tekuk untuk beberapa kondisi perletakan (SNI-03-1729-2002)

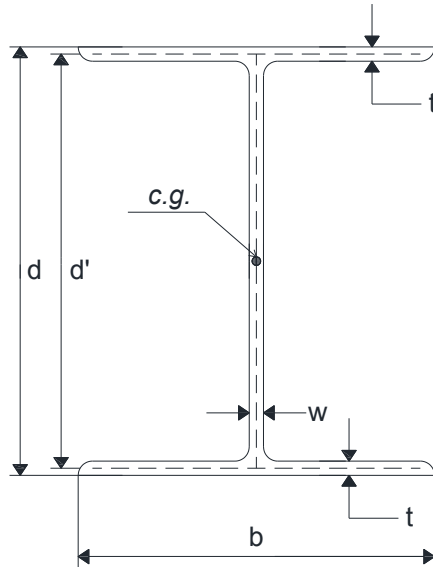
Berdasarkan model kolom ideal yang dirumuskan oleh Euler, panjang kolom L, dapat menjadi patokan untuk mengevaluasi kolom dengan jenis perletakan yang lainnya. Untuk jenis perletakan lainnya selain sendi-sendi dapat digunakan faktor konversi panjang kolom riil, L menjadi panjang kolom efektif KL. Faktor konversi K akan mempengaruhi juga nilai beban aksial kritis sesaat sebelum tekuk.

### Tekuk Lentur

Tekuk lentur merupakan fenomena tekuk yang terjadi secara global pada penampang dengan klasifikasi elemen tidak langsing. Tekuk lentur dapat menyebabkan defleksi pada sumbu lemah (sumbu dengan rasio kelangsingan terbesar) dan setiap komponen struktur tekan dapat mengalami keruntuhan akibat tekuk lentur.

### Tekuk Torsi dan Tekuk Lentur Torsi

Tekuk torsi terjadi karena adanya puntir dalam sumbu memanjang penampang struktur tekan. Penampang yang cenderung mengalami tekuk torsi adalah penampang dengan sumbu simetri ganda, contohnya seperti profil H dan WF. Sedangkan tekuk lentur torsi yang terjadi akibat kombinasi tekuk lentur dan tekuk torsi, maka profil akan terlentur dan terpuntir secara bersamaan. Tekuk lentur torsi cenderung terjadi pada profil dengan sumbu simetri tunggal dengan pusat geser dan pusat berat tidak berhimpit, seperti profil siku, T, dan kanal.



Gambar 2 Parameter torsi penampang H dan WF (Dewobroto, 2016)

$$J = \frac{1}{3}(2bt^3 + d'w^3) \quad (4)$$

$$C_w = \frac{1}{24}(d')^2 b^3 t \quad (5)$$

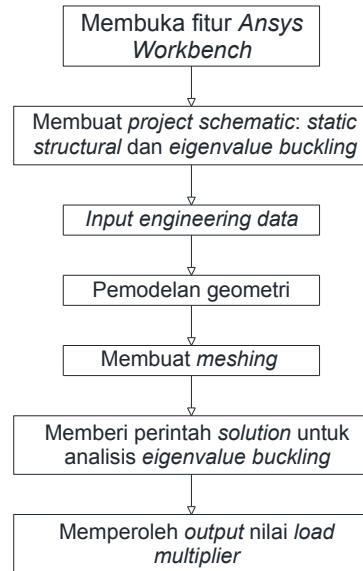
## 2. Tinjauan Pustaka

Menurut Amin dan Barus (2013), hasil perhitungan nilai beban kritis pada kolom baja tunggal lebih kecil dibandingkan dengan nilai beban kritis kolom baja pada struktur portal. Kemudian penambahan kolom dan balok pada portal baja sederhana sehingga menjadi portal baja berjajar akan mempengaruhi nilai beban kritis dari kolom baja tersebut.

Menurut Ruus, Handono, dan Pandaleke (2017), hasil analisis eigen buckling dengan finite element model menunjukkan bahwa dengan memodifikasi bentuk badan profil dapat mereduksi tekuk lokal yang terjadi pada badan profil sehingga dapat meningkatkan kemampuan tekan.

## 3. Metodologi

Untuk meninjau beban tekuk kritis kolom baja profil H dan WF yang akan dianalisis, digunakan fitur *Ansys Workbench*, *static structural* dan *eigenvalue buckling* pada skema proyek dengan komponen yang saling terkaitnya adalah *engineering data*, *geometry*, *model*, dan *solution to setup*. Adapun tahapan pengerjaannya sebagai berikut:



Gambar 3 Bagan langkah kerja Ansys R18.0

**Objek kajian**

Dalam penelitian ini yang digunakan sebagai objek kajian yang dianalisis adalah kolom profil baja H dan WF masing-masing sebanyak 5 variasi dimensi seperti yang tertera pada tabel berikut:

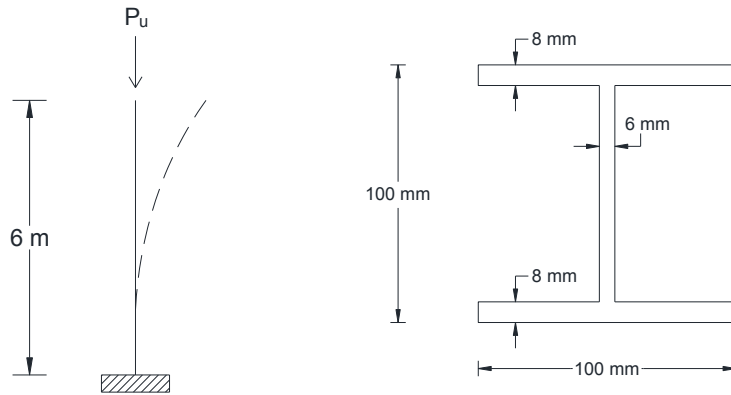
Tabel 2 Variasi profil H dan WF yang dianalisis

No.	Profil
1.	H 100x100x8x6
2.	H 125x125x9x6,5
3.	H 150x150x10x7
4.	H 175x175x11x7,5
5.	H 200x200x12x8
6.	WF 100x50x7x5
7.	WF 175x90x8x5
8.	WF 194x150x9x6
9.	WF 200x100x8x5,5
10.	WF 250x125x9x6

(Sumber: Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung)

**4. Analisis dan Pembahasan**

Untuk profil H100x100x8x6 dengan perletakan jepit-bebas, dianalisis dengan uraian sebagai berikut:



Gambar 4 Model struktur dan geometri penampang profil H 100x100x8x6

Diketahui:

Modulus elastisitas ( $E$ ) = 200.000 MPa

Mutu baja ( $F_y$ ) = 290 MPa (BJ 50)

*Poisson's ratio* ( $\nu$ ) = 0,3

Modulus geser ( $G$ ) =  $\frac{0,5E}{1 + \nu} = 76.923,0769$  MPa

1. Menghitung parameter penampang

$$A = (100 \times 8 \times 2) + (84 \times 6)$$

$$A = 2.104 \text{ mm}^2$$

$$I_x = \left[ \left( \left( \frac{1}{12} \times 100 \times 8^3 \right) + (100 \times 8 \times 46^2) \right) \times 2 \right] + \left[ \left( \frac{1}{12} \times 6 \times 84^3 \right) + (84 \times 6 \times 0^2) \right]$$

$$I_x = 3.690.485,3333 \text{ mm}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 41,8812 \text{ mm}$$

$$I_y = \left[ \left( \frac{1}{12} \times 8 \times 100^3 \right) \times 2 \right] + \left( \frac{1}{12} \times 84 \times 6^3 \right) = 1.334.845,3333 \text{ mm}^4$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 25,1879 \text{ mm}$$

$$J = \frac{1}{3} \left[ (2 \times 100 \times 8^3) + (84 \times 6^3) \right] = 40.181,3333 \text{ mm}^4$$

$$C_w = \frac{1}{24} \times 92^2 \times 100^3 \times 8 = 2.821.333.333,3333 \text{ mm}^6$$

$$I_x + I_y = 5.025.330,6667 \text{ mm}^4$$

2. Menghitung klasifikasi penampang, ditinjau masing-masing elemen penampang

a. Sayap:  $\frac{b}{t} = \frac{50}{8} = 6,25$

Batas maksimal tidak langsing untuk elemen sayap:  $0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 14,7063$  ( $6,25 < 14,7063$ )

maka sayap termasuk klasifikasi elemen tidak langsing).

b. Badan:  $\frac{h}{t_w} = \frac{100 - (2 \times 8)}{6} = 14$

Batas maksimal tidak langsing untuk elemen badan:  $1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 39,1293$  ( $14 < 39,1293$ )

maka badan termasuk klasifikasi elemen tidak langsing). Kondisi keruntuhan yang perlu ditinjau, yaitu tekuk lentur (*flexural buckling*) dan tekuk torsi (*torsional buckling*).

3. Menghitung tegangan kritis tekuk lentur

$$\frac{KL}{r_{\min}} = \frac{12.000}{25,1879} = 476,4185 > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 123,6907 \text{ (tekuk elastis)}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r_{\min})^2} = \frac{\pi^2 \times 200.000}{476,4185^2} = 8,6967 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{290}{8,6967} = 33,3461 > 2,25 \text{ (tekuk elastis)}$$

Sehingga digunakan  $F_{cr} = 0,877 F_e$

$$F_{cr} = 0,877 \times 8,6967$$

$$F_{cr} = 7,6270 \text{ MPa}$$

4. Menghitung tegangan kritis tekuk torsi

$$F_e = \left[ \frac{\pi^2 E C_w + GJ}{(K_z L)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y} \text{ (nilai } K_z L = \text{ nilai } KL)$$

$$F_e = \left[ \frac{5,5691 \times 10^{15}}{12.000^2} + (76.923,0769 \times 40.181,3333) \right] \times \frac{1}{5.025.330,6667}$$

$$F_e = 622,7542 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{290}{622,7542} = 0,4657 < 2,25 \text{ (tekuk inelastis)}$$

Sehingga digunakan  $F_{cr} = \left( 0,658^{\frac{F_y}{F_e}} \right) F_y$

$$F_{cr} = 0,658^{0,4657} \times 290$$

$$F_{cr} = 238,6441 \text{ MPa}$$

5. Menentukan kondisi keruntuhan dan menghitung beban tekuk kritis (kuat tekan nominal) dari kolom profil baja

$F_{cr}$  tekuk lentur <  $F_{cr}$  tekuk torsi, maka kondisi keruntuhan tekuk yang menentukan adalah tekuk lentur elastis. Nilai beban tekuk kritisnya:

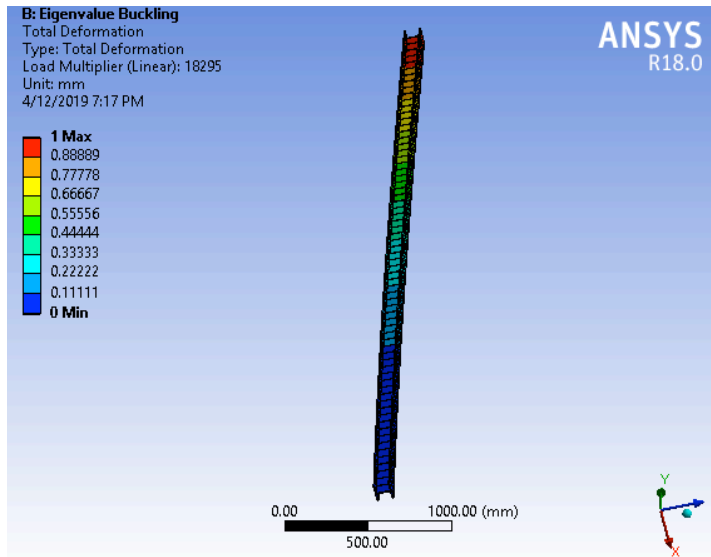
$$P_{cr} = F_{cr} \cdot x A_g$$

$$P_{cr} = 7,6270 \times 2.104$$

$$P_{cr} = 16.047,1455 \text{ N}$$

$$P_{cr} = 16,0471 \text{ kN}$$

6. Hasil analisis beban tekuk kritis *eigenvalue buckling* program metode elemen hingga *Ansys R18.0*



Gambar 5 Hasil *eigenvalue buckling* pada profil H100x100x8x6 untuk perletakan jepit-bebas

Dari hasil analisis *eigenvalue buckling* program metode elemen hingga *Ansys R18.0* diperoleh nilai beban tekuk kritis dari profil H100x100x8x6 sebesar 18.295 N atau sama dengan 18,295 kN.

7. Menghitung faktor konversi panjang efektif ( $K$ ) dari beban tekuk kritis yang diperoleh dari program metode elemen hingga *Ansys R18.0*

$$F_{cr} = \frac{P_{cr}}{A_g} = \frac{18.295}{2.104} = 8,6953 \text{ MPa}$$

Kondisi keruntuhan tekuk yang terjadi adalah tekuk lentur elastis, sehingga

$$F_{cr} = 0,877 F_e$$

$$F_e = \frac{F_{cr}}{0,877} = \frac{8,6953}{0,877}$$

$$F_e = 9,9149 \text{ MPa}$$



$$K = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{F_e}} \times \frac{r_{\min}}{L}$$

$$K = \sqrt{\frac{\pi^2 200.000}{9,9149}} \times \frac{25,1879}{6.000}$$

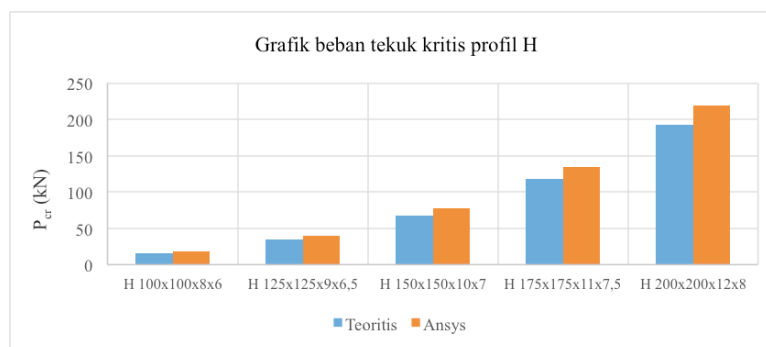
$$K = 1,8731$$

Tabel 3 Kondisi keruntuhan profil baja untuk perletakan jepit-bebas

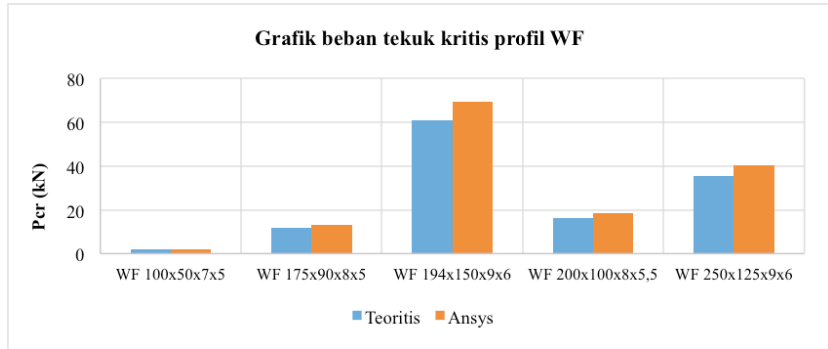
No.	Jenis profil	Kondisi keruntuhan
1.	H 100x100x8x6	Tekuk lentur elastis
2.	H 125x125x9x6,5	Tekuk lentur elastis
3.	H 150x150x10x7	Tekuk lentur elastis
4.	H 175x175x11x7,5	Tekuk lentur elastis
5.	H 200x200x12x8	Tekuk lentur elastis
6.	WF 100x50x7x5	Tekuk lentur elastis
7.	WF 175x90x8x5	Tekuk lentur elastis
8.	WF 194x150x9x6	Tekuk lentur elastis
9.	WF 200x100x8x5,5	Tekuk lentur elastis
10.	WF 250x125x9x6	Tekuk lentur elastis

Tabel 4 Nilai beban tekuk kritis profil baja untuk perletakan jepit-bebas

No.	Jenis profil	Nilai beban tekuk kritis teoritis (kN)	Nilai beban tekuk kritis berdasarkan Ansys (kN)
1.	H 100x100x8x6	16,0471	18,2950
2.	H 125x125x9x6,5	35,2493	40,1820
3.	H 150x150x10x7	67,6669	77,1280
4.	H 175x175x11x7,5	118,1844	134,6900
5.	H 200x200x12x8	192,4379	219,2800
6.	WF 100x50x7x5	1,7639	2,0110
7.	WF 175x90x8x5	11,7050	13,3450
8.	WF 194x150x9x6	60,8981	69,4120
9.	WF 200x100x8x5,5	16,0596	18,3090
10.	WF 250x125x9x6	35,2701	40,2060



Gambar 6 Grafik beban tekuk kritis profil H untuk perletakan jepit-bebas



Gambar 7 Grafik beban tekuk kritis profil WF untuk perletakan jepit-bebas

Berdasarkan grafik beban tekuk kritis profil baja H dan WF yang telah diperoleh, dapat diketahui bahwa nilai beban tekuk kritis yang dihasilkan dari program *Ansys R18.0* lebih besar dibandingkan dengan hasil analisis teoritis.

Tabel 5 Nilai *K* untuk perletakan jepit-bebas

No.	Jenis profil	Faktor konversi panjang efektif ( <i>K</i> ) dari <i>Ansys R18.0</i>	<i>K</i> teoritis
1.	H 100x100x8x6	1,8731	2
2.	H 125x125x9x6,5	1,8732	2
3.	H 150x150x10x7	1,8733	2
4.	H 175x175x11x7,5	1,8735	2
5.	H 200x200x12x8	1,8736	2
6.	WF 100x50x7x5	1,8731	2
7.	WF 175x90x8x5	1,8731	2
8.	WF 194x150x9x6	1,8733	2
9.	WF 200x100x8x5,5	1,8731	2
10.	WF 250x125x9x6	1,8732	2

Berdasarkan tabulasi nilai *K* yang telah diperoleh, dapat diketahui bahwa nilai *K* yang dihasilkan dari program *Ansys R18.0* lebih kecil dibandingkan nilai *K* yang digunakan dari literatur yang ada (*K* teoritis).

## 5. Kesimpulan

- Kondisi keruntuhan tekuk untuk setiap jenis perletakan dan setiap variasi profil baja H dan WF yang dianalisis dalam penelitian ini berada pada kondisi tekuk lentur.
- Profil baja yang memiliki nilai beban tekuk kritis terbesar adalah profil H 200x200x12x8 dengan jenis perletakan jepit-jepit (1.452,5729 kN) dari analisis teoritis.
- Nilai *K* berbanding terbalik dengan nilai beban tekuk kritis, seperti yang terdapat pada hasil analisis *eigenvalue buckling Ansys R18.0*, dimana nilai *K* sebesar 1,8731 menghasilkan beban tekuk kritis sebesar 18,295 kN, sedangkan dengan nilai *K* sebesar 2 (analisis teoritis) menghasilkan beban tekuk kritis sebesar 16,0471 kN. Sehingga semakin kecil nilai *K*, semakin besar pula nilai beban tekuk kritis yang dihasilkan.

- Nilai  $K$  untuk perletakan jepit-bebas, jepit-jepit, jepit-rol, dan jepit-sendi yang dihasilkan dari program metode elemen hingga *Ansys R18.0* lebih kecil dibandingkan nilai  $K$  teoritis yang digunakan dari literatur dengan perbedaan relatif sebesar 6%.
- Perbedaan nilai beban tekuk kritis dari analisis teoritis dan analisis program elemen hingga *Ansys R18.0* relatif sebesar 12% dengan hasil analisis teoritis yang lebih kecil dibandingkan analisis *eigenvalue buckling Ansys R18.0*.

## 6. Daftar Pustaka

- Amin, D.K. (2013). Perhitungan Beban Aksial Kritis Pada Kolom Baja Dalam Sebuah Struktur Portal Baja. *Jurnal Teknik Sipil USU*
- Anggry. (2010). *Tabel Profil Wide Flange Berdasarkan Metode Load Resistant Factor Design (LRFD)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Dewobroto, W. (2016). *Struktur Baja Perilaku, Analisis & Desain – AISC 2010, Edisi ke-2*. Tangerang: Jurusan Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan
- Kohnke, P. 1999. *ANSYS Theory Reference Release 5.6, 11<sup>th</sup> edition*. U.S: Southpointe, Canonsburg.
- Napitupulu, P.T.L., & Surbakti, B. (2016). Tekuk Profil baja IWF dan Honeycomb (Castella) (Teori dan Eksperimental). *Jurnal Teknik Sipil USU*
- Ruus, K., Handono, B.D., & Pandaleke, R. (2017). Pengaruh Bentuk Badan Profil Baja Ringan Terhadap Kuat Tekan. *Jurnal Sipil Statik*, 5(5), 249-262
- Sandjaya, A., & Suryoatmono, B. (2018). Studi Eksperimental Batang Tekan Baja Canai Dingin Diperkaku Sebagian. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 25(1), 19-24
- Segui, W. T. (2013). *Steel Design, Fifth Edition*. Stamford, USA: Cengage Learning.
- Setiawan, A. (2008). *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Berdasarkan SNI 03-1729-2002)*. Jakarta: Erlangga.
- Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. SNI 1729-2015 (Standar Nasional Indonesia). 2015. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Stevens, D., & Tediato, L. S. (2018). Analisis Pengaruh Panjang Elemen Terhadap Kuat Tekan Dari Baja Ringan Profil Kanal Dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 1(1), 159-167
- Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*. SNI 03-1729-2002 (Standar Nasional Indonesia). 2002. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

