

Studi Analitik Karakteristik Penampang Baja Profil-I

Sabril Haris*¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang 25163

Submitted: 28 Februari 2020

Accepted: 18, Maret, 2020

Abstrak

Paper ini menyajikan hasil studi analitik tentang besaran karakteristik penampang baja profil-I berupa modulus elastis (S_x) dan modulus plastis penampang (Z_x). Faktor bentuk penampang, yang merupakan perbandingan nilai Z_x terhadap S_x , adalah besaran utama yang digunakan untuk menghitung kapasitas momen plastis penampang baja. Khusus untuk baja profil-I yang dibuat dengan metoda canai panas, pada bidang pertemuan antara bagian sayap dan bagian badan terdapat bagian penampang seperempat lingkaran cekung yang memberikan kontribusi untuk nilai total besaran karakteristik penampang. Dalam penelitian ini, besaran karakteristik penampang dihitung dan dianalisis dengan menggunakan besaran karakteristik penampang dasar persegi panjang dan lingkaran. Analisa hasil perhitungan menunjukkan bahwa bagian penampang seperempat lingkaran cekung tersebut memberikan kontribusi yang konsisten terhadap nilai luas, modulus elastis dan plastis penampang, yakni dalam rentang sebesar 1,0 – 4,7%. Dari hasil penelitian ini juga diperoleh bahwa faktor bentuk penampang untuk profil-I yang umum digunakan berada dalam rentang nilai 1,102 – 1,147. Perhitungan nilai faktor bentuk penampang dengan dan tanpa mengikutsertakan bagian penampang seperempat lingkaran cekung memberikan hasil yang hampir sama, dengan selisih rata-rata sebesar 0,001. Modulus plastis penampang dapat dihitung dengan menggunakan formula sederhana yang diusulkan pada artikel ini dengan tingkat akurasi yang sangat baik dengan deviasi sebesar 1,2 %. Untuk semua jenis ukuran penampang profil-I, formula ini bisa digunakan untuk menghitung modulus plastis penampang secara lebih sederhana.

Kata Kunci : profil-I; studi analitik; modulus plastis penampang; formula

Abstract

This paper presents the results of an analytical study of the characteristics of the I-profile steel cross-section in the form of elastic modulus (S_x) and plastic section modulus (Z_x). The shape factor of the section, which is defined as the ratio of the value of Z_x to S_x , is the principal quantity used to calculate the plastic cross-section moment capacity. Specifically for I-profile steels made by the hot-rolled process, in the area of the junction between the flange and the web, there is a concave cross-section that contributes to the total value of the section characteristic. In this study, the magnitude of the cross-

*Corresponding author : sabril.haris@eng.unand.ac.id

sectional characteristics is calculated and analyzed using the magnitude of the basic cross-section characteristics of rectangles and circles. Analysis of the calculation results shows that the cross-section of the concave quarter circle provides a consistent contribution to the area, elastic and plastic section modulus, which is in the range of 1.0 - 4.7%. From the results of this study, it was also found that the shape factor for the I-profile commonly used is in the range of values 1.102 - 1.147. Calculation of the cross-section form factor values with and without including the concave quarter circle gives results that are almost the same as the average difference of 0.001. The plastic modulus of the cross-section can be calculated using the simple formula proposed in this article with a very good degree of accuracy with a deviation of 1.2%. For all types of I-profile cross-section sizes, this formula can be used to calculate the plastic section modulus easily.

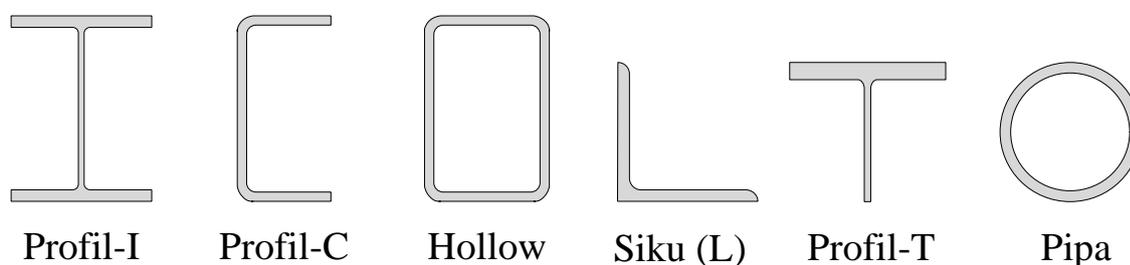
Keywords : *I-profile; analytical study; plastic section modulus; formula*

A. PENDAHULUAN

Material baja sudah umum digunakan untuk berbagai konstruksi sipil diantaranya untuk bangunan gedung, gudang dengan bentang panjang, jembatan, dan menara transmisi listrik serta menara telekomunikasi. Beberapa kelebihan material baja diantaranya adalah kekuatan yang tinggi (ditandai dengan tegangan leleh material), kekakuan yang tinggi (ditandai dengan modulus elastisitas), dan kemampuan material untuk berdeformasi yang besar pasca kondisi leleh tercapai (Dewobroto, 2015). Meskipun demikian, material baja mempunyai massa jenis yang cukup besar dibandingkan dengan jenis material yang lainnya sehingga penggunaan penampang

baja yang masif akan menyebabkan berat sendiri struktur menjadi signifikan. Akibatnya, penampang profil baja harus dirancang sedemikian rupa agar efektif memikul gaya dalam yang bekerja dengan luas penampang yang minimal. Contohnya adalah penggunaan balok kastela yang dapat mereduksi luas pelat badan profil baja (Partono dkk, 2018).

Secara umum penampang baja disusun dari gabungan penampang pelat-pelat tipis. Bentuk penampang yang sering dijumpai diantaranya penampang I, penampang siku (L), penampang T, penampang kanal (C), pipa lingkaran, dan penampang hollow seperti terlihat pada Gambar 1 (Dewobroto, 2015).



Gambar 1. Bentuk tipikal penampang profil baja
(Dewobroto, 2015)

Untuk komponen struktur balok yang dominan memikul gaya dalam momen lentur, bentuk penampang yang lazim digunakan adalah profil-I. Secara umum, penampang profil-I terdiri dari pelat bagian sayap atas, pelat bagian badan, dan pelat sayap bawah. Profil-I dapat dibuat dengan sistem canai panas (*hot-rolled process*) atau dengan menggabungkan pelat-pelat baja dengan sambungan las pada pertemuan pelat badan dengan bagian tengah pelat sayap.

Pada Peraturan Baja Indonesia SNI 1729:2015 (Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural) dari Badan Standardisasi Nasional (2015) yang merupakan adopsi AISC 360-10 (*Specification for Structural Steel Buildings*) dari American Institute of Steel Construction (2010), didefinisikan kapasitas lentur penampang terbesar/ultimit sebagai perkalian dari nilai tegangan leleh (f_y) dengan modulus plastis penampang untuk sumbu-x (Z_x). Kondisi ultimit ini bisa tercapai jika tidak terjadi tekuk lokal penampang dan tekuk lateral torsi sepanjang bentang struktur.

Modulus plastis penampang dapat ditentukan dengan perhitungan langsung menggunakan rumusan karakteristik penampang. Selain itu, modulus plastis penampang dapat diperoleh dengan mengalikan modulus elastis penampang pada sumbu-x (S_x) dengan faktor bentuk penampang (ξ). Untuk kondisi praktis, faktor bentuk penampang yang sering digunakan bernilai konstan sebesar 1.12. Beberapa penelitian sebelumnya yang terkait dengan modulus plastis diantaranya adalah riset oleh Yeo et al (2013) untuk balok komposit dengan pengaruh temperature dan oleh Hosseini and Hatami (2019) untuk penampang yang memikul kombinasi gaya dalam momen dan aksial.

Dalam penelitian ini, nilai karakteristik penampang berupa luas,

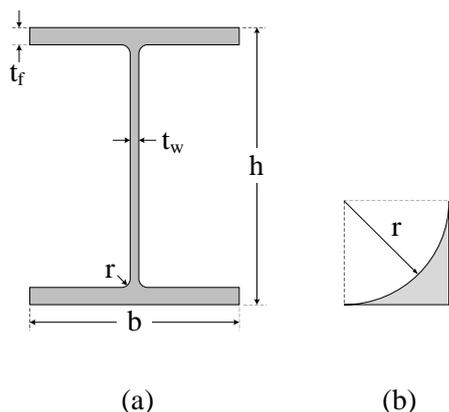
modulus elastis, dan modulus plastis penampang akan dikaji secara analitik dengan memperhitungkan bentuk penampang profil-I yang ada di lapangan. Karakteristik penampang dihitung dengan menggunakan formula untuk besaran karakteristik penampang dasar berpenampang persegi, bujursangkar, dan lingkaran. Penampang profil-I yang ditinjau adalah profil-I tipe IWF yang umum digunakan untuk penampang balok dan tipe H-beam yang umum digunakan untuk kolom. Selain itu, dianalisis profil-I dengan tinggi dan lebar penampang yang tetap, sementara tebal sayap dan badan bervariasi. Profil-I dengan variasi ketebalan pelat tersebut banyak digunakan di Jepang untuk mendapatkan ukuran luar yang sama dengan kapasitas penampang yang berbeda-beda. Dalam paper ini, profil tersebut dinamai dengan *Fixed Outer Dimension* (FOD-Japan).

B. TINJAUAN PUSTAKA

1. Karakteristik Penampang Profil-I

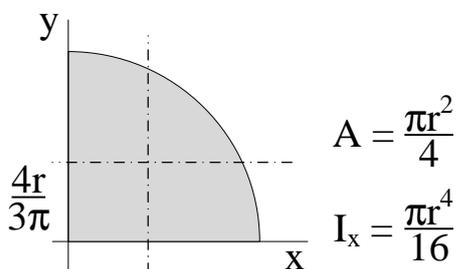
Secara umum, penampang profil baja dibuat dengan bentuk yang sederhana berupa gabungan dari beberapa penampang dasar yang berbentuk persegi dan lingkaran. Bentuk persegi merupakan konskuensi penggunaan pelat-pelat tipis sebagai komponen utama penampang profil baja.

Untuk penampang baja profil-I yang dibuat dengan sistem canai panas, pada pertemuan pelat badan dengan pelat sayap terdapat bagian penampang yang berbentuk lengkung dengan jari-jari tertentu. Untuk bagian cekung sudut pertemuan ini, karakteristik penampang ditentukan dengan menggunakan besaran karakteristik penampang bujursangkar dan seperempat lingkaran. Detail bentuk dan ukuran profil-I canai panas ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. (a) Bentuk tipikal penampang profil-I canai panas, (b) Bagian sudut pertemuan pelat badan dan pelat sayap.

Perhitungan besaran karakteristik penampang untuk profil-I, yang terdiri dari bagian pelat sayap atas dan bawah, pelat badan, dan bagian sudut pertemuan, dilakukan dengan menjumlahkan karakteristik setiap bagian penampang secara linear.



Gambar 3. Penampang seperempat lingkaran

Khusus untuk bagian sudut pertemuan dapat dianalisis sebagai penampang bujur sangkar dikurangi dengan penampang seperempat lingkaran. Untuk bagian seperempat lingkaran, besaran karakteristik penampangnya diberikan pada Gambar 3.

2. Modulus Elastis dan Plastis Penampang Profil-I

Modulus Elastis penampang dan Modulus Plastis Penampang terhadap

sumbu garis berat-x, masing-masing dinotasikan dengan S_x dan Z_x , dapat dihitung menggunakan rumus seperti pada persamaan berikut ini:

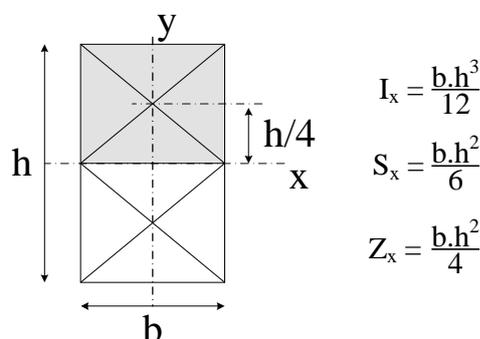
$$S_x = \frac{I_x}{h/2} \quad (1)$$

$$Z_x = \sum A_i \cdot y_i \quad (2)$$

dengan:

- I_x : momen inersia penampang terhadap sumbu-x
- h : tinggi penampang
- A_i : bagian penampang yang dipisahkan oleh garis netral penampang
- y_i : jarak titik berat bagian penampang ke garis netral penampang total.

Penggunaan rumus pada Persamaan (1) dan (2) untuk penampang persegi diilustrasikan sebagai berikut:



Gambar 4. Ilustrasi perhitungan S_x dan Z_x untuk penampang persegi.

Untuk profil-I yang menjadi tinjauan dalam penelitian ini, nilai momen inersia penampang terhadap sumbu-x diberikan pada Persamaan (3). Modulus Elastis Penampang (S_x) selanjutnya dihitung dengan menggunakan Persamaan (1). Sementara, Modulus Plastis Penampang (Z_x) diberikan dengan Persamaan (4).

$$I_x = \left[\frac{b h^3 - (b - t_w)(h - 2t_f)^3}{12} \right]$$

(bagian pelat sayap dan badan)

$$+ 4 \left[\left\{ \frac{r^4}{12} + r^2 \left(\frac{h}{2} - t_f - \frac{r}{2} \right)^2 \right\} - \left\{ \frac{\pi^4}{16} + \frac{\pi^2}{4} \left(\frac{h}{2} - t_f - r + \frac{4r}{3\pi} \right)^2 \right\} \right]$$

(bagian sudut pertemuan sayap dan badan)

(3)

$$Z_x = \left[\frac{b h^2 - (b - t_w)(h - 2t_f)^2}{4} \right]$$

(bagian pelat sayap dan badan)

$$+ 4 \left[r^2 \left(\frac{h}{2} - t_f - \frac{r}{2} \right) - \frac{\pi^2}{4} \left(\frac{h}{2} - t_f - r + \frac{4r}{3\pi} \right) \right]$$

(bagian sudut pertemuan sayap dan badan)

(4)

C. METODA PENELITIAN

Pada penelitian ini, dilakukan studi analitik untuk menentukan karakteristik penampang profil-I dengan menggunakan Persamaan (1), (3), dan (4). Profil-I yang dianalisis adalah profil yang umum digunakan di lapangan untuk komponen struktur balok dan kolom, yaitu tipe IWF dan H-beam. Data dasar profil-I mengacu pada dimensi profil yang umum digunakan di Indonesia. Selain itu, sejumlah profil-I dengan variasi ketebalan pelat sayap dan badan yang umum digunakan di Jepang juga akan dianalisis. Profil-I yang dianalisis pada artikel ini merujuk pada penampang yang tercantum pada Tabel Profil Konstruksi Baja oleh Gunawan (1988) dan katalog produk profil baja di Jepang oleh Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation (2014).

Untuk seluruh profil yang dianalisis, dilakukan perhitungan untuk dua kondisi:

- a. semua bagian penampang dihitung, termasuk bagian sudut pertemuan pelat sayap dan pelat badan;

- b. bagian sudut pertemuan antara pelat sayap dan pelat badan tidak diperhitungkan. Untuk kondisi kedua ini, hanya suku pertama saja pada Persamaan (3) dan (4) yang digunakan.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Luas Penampang (A)

Pada Tabel 1, diberikan hasil perhitungan luas penampang masing-masing untuk Profil-I tipe IWF, Profil-I tipe H-Beam, dan Tipe FOD-Japan. A_{full} adalah luas penampang yang dihitung keseluruhan termasuk bagian sudut pertemuan sayap dan badan, sementara A_{ts} adalah luas penampang yang tidak mengikutsertakan bagian sudut penampang. Perbedaan nilai antara A_{full} dan A_{ts} didefinisikan sebagai Δ_A yang dihitung sebagai perbandingan antara selisih luas A_{full} dan A_{ts} dibagi dengan luas A_{full} .

Tabel 1. Luas penampang (A)

Profil	Dimensi (mm)					Luas (mm ²) ¹		
	h	b	tw	tf	r	A _{full}	A _{ts}	Δ _A (%)
<i>Tipe IWF</i>								
150x75	150	75	5	7	8	1785	1730	3,2
150x100	148	100	6	9	11	2684	2580	4,0
200x100	200	100	6	8	11	2716	2612	4,0
250x125	250	125	6	9	12	3766	3642	3,4
300x150	300	150	7	9	13	4678	4533	3,2
350x175	350	175	7	11	14	6314	6146	2,7
400x200	400	200	8	13	16	8412	8192	2,7
450x200	450	200	9	14	18	9676	9398	3,0
500x200	500	200	10	16	20	11423	11080	3,1
600x200	600	200	11	17	22	13441	13026	3,2
400x300	390	300	10	16	22	13595	13180	3,2
450x300	440	300	11	18	24	15738	15244	3,2
500x300	488	300	11	18	26	16352	15772	3,7
600x300	588	300	12	20	28	19249	18576	3,6
700x300	700	300	13	24	28	23549	22876	2,9
800x300	800	300	14	26	28	26745	26072	2,6
900x300	900	300	16	28	28	30977	30304	2,2
<i>Tipe H-Beam</i>								
100x100	100	100	6	8	10	2190	2104	4,1
125x125	125	125	6,5	9	10	3031	2946	2,9
150x150	150	150	7	10	11	4014	3910	2,7
175x175	175	175	7,5	11	12	5121	4998	2,5
200x200	200	200	8	12	13	6353	6208	2,3
250x250	250	250	9	14	16	9218	8998	2,4
300x300	300	300	10	15	18	11978	11700	2,4
350x350	350	350	12	19	20	17387	17044	2,0
400x400	400	400	13	21	22	21869	21454	1,9
<i>Tipe FOD-Japan</i>								
450x200-1	450	200	12	25	13	14945	14800	1,0
450x200-2	450	200	12	22	13	13817	13672	1,1
450x200-3	450	200	12	19	13	12689	12544	1,2
450x200-4	450	200	9	22	13	12599	12454	1,2
450x200-5	450	200	9	19	13	11453	11308	1,3
450x200-6	450	200	9	16	13	10307	10162	1,4
450x200-7	450	200	9	12	13	8779	8634	1,7
400x200-1	400	200	12	22	13	13217	13072	1,1
400x200-2	400	200	9	22	13	12149	12004	1,2
400x200-3	400	200	9	19	13	11003	10858	1,3

Dari data pada Tabel 1 diperoleh perbedaan nilai Δ_A antara luas penampang yang memperhitungkan bagian sudut pertemuan (A_{full}) dan tidak memperhitungkan bagian sudut

pertemuan (A_{ts}) berada pada rentang 1,0 – 4,1%. Perbedaan terbesar terjadi pada penampang IWF sebesar 4,1% dan terkecil pada penampang FOD-Japan sebesar 1,0%.

Penyebab perbedaan ini bisa dilihat dari perbedaan nilai radius bagian sudut pertemuan (r) terhadap ketebalan bagian sayap (t_f). Jika nilai t_f lebih besar dari r , maka pengaruh perbedaan luas (Δ_A) menjadi tidak dominan, yaitu dalam kisaran 1,0%. Hasil ini bisa dilihat secara umum untuk jenis penampang FOD-Japan dengan nilai r lebih kecil dari t_f . Sebaliknya, jika nilai r lebih besar atau dominan terhadap nilai t_f , maka pengaruhnya terhadap perbedaan luas Δ_A menjadi meningkat. Kondisi ini bisa dilihat pada profil IWF 150x100 dan H-Beam 100x100.

Secara keseluruhan, untuk profil IWF, H-Beam, dan FOD-Japan rata-rata Δ_A masing-masing adalah 3,17%, 2,58%, dan 1,31%.

2. Modulus Elastis (S_x) dan Modulus Plastis (Z_x) Penampang

Perhitungan untuk modulus elastis dan modulus plastis untuk masing-masing tipe profil penampang diberikan pada Tabel 2. Seperti pada perhitungan luas, pada Tabel 2 juga ditampilkan nilai modulus elastis dan plastis penampang untuk kondisi memperhitungkan dan tidak memperhitungkan bagian sudut pertemuan pelat sayap dan pelat badan (S_{x-full} vs S_{x-ts} , dan Z_{x-full} vs Z_{x-ts}). Perbedaan nilai karakteristik penampang tersebut masing-masing dihitung menggunakan Persamaan 5 dan 6, sebagai berikut:

$$\Delta_S = \frac{S_{x-full} - S_{x-ts}}{S_{x-ts}} \quad (5)$$

$$\Delta_Z = \frac{Z_{x-full} - Z_{x-ts}}{Z_{x-ts}} \quad (6)$$

Dari data pada Tabel 2 terlihat bahwa nilai Δ_{Sx} berada pada rentang 1,1 –

4,7 %, yang hampir sama dengan Δ_{Zx} dengan rentang nilai pada 1,1 – 4,6 %. Pada penampang IWF, rata-rata nilai Δ_{Sx} lebih tinggi dibandingkan tipe penampang lainnya yaitu sebesar 3,77 %, sementara pada tipe H-Beam dan FOD-Japan masing-masing sebesar 2,48 % dan 1,54 %. Hal yang serupa juga terlihat untuk nilai Δ_{Zx} , penampang IWF memiliki rata-rata nilai yang lebih tinggi dibandingkan penampang tipe H-Beam dan FOD-Japan.

Dari Tabel 2 juga terlihat bahwa untuk penampang dengan ukuran yang sama, nilai Δ_{Sx} dan Δ_{Zx} (masing-masing data pada kolom 4 dan 7 di Tabel 2) sebagian besar memberikan hasil yang hampir sama. Bahkan untuk beberapa profil, seperti profil IWF 150x75, H-Beam 350x350, dan FOD-Japan 450x200-1, nilai Δ_{Sx} dan Δ_{Zx} persis sama. Untuk profil yang lainnya, perbedaan maksimum sebesar 0,4 % dijumpai untuk profil H-Beam 100x100.

3. Faktor Bentuk Penampang (ξ)

Faktor bentuk penampang dihitung sesuai Persamaan 7 dan 8, yaitu:

$$\xi_{full} = \frac{Z_{x-full}}{S_{x-full}} \quad (7)$$

$$\xi_{ts} = \frac{Z_{x-ts}}{S_{x-ts}} \quad (8)$$

dengan ξ_{full} adalah faktor bentuk penampang untuk profil-I yang memperhitungkan bagian sudut pertemuan pelat sayap dan pelat badan, sementara ξ_{ts} adalah faktor bentuk penampang untuk kondisi bagian sudutnya tidak diperhitungkan. Hasil perhitungan diberikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Modulus elastis, modulus elastis, dan faktor bentuk penampang

Profil	Modulus Elastis (cm ³) ¹			Modulus Plastis (cm ³) ¹			Faktor bentuk ¹		
	S _{x-full}	S _{x-ts}	ΔS _x (%)	Z _{x-full}	Z _{x-ts}	ΔZ _x (%)	ξ _{full}	ξ _{ts}	Δξ ¹
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]
<i>Tipe IWF</i>									
150x75	89	86	3,8	102	98	3,7	1,147	1,147	0
150x100	138	133	4,1	157	150	4,3	1,137	1,135	0,002
200x100	184	176	4,7	209	200	4,6	1,136	1,137	0,001
250x125	324	311	4,1	366	352	4,0	1,129	1,130	0,001
300x150	481	462	4,0	542	522	3,8	1,128	1,130	0,001
350x175	775	750	3,3	868	841	3,2	1,120	1,121	0,001
400x200	1185	1148	3,2	1326	1286	3,1	1,119	1,120	0,001
450x200	1487	1434	3,7	1679	1621	3,6	1,129	1,131	0,002
500x200	1914	1841	3,9	2175	2096	3,8	1,137	1,138	0,001
600x200	2588	2481	4,3	2979	2863	4,0	1,151	1,154	0,003
400x300	1983	1919	3,4	2188	2116	3,4	1,103	1,103	0
450x300	2549	2462	3,5	2825	2728	3,6	1,108	1,108	0
500x300	2908	2793	4,1	3228	3100	4,1	1,110	1,110	0
600x300	4017	3853	4,3	4489	4309	4,2	1,117	1,118	0,001
700x300	5757	5560	3,5	6464	6249	3,4	1,123	1,124	0,001
800x300	7291	7064	3,2	8243	7995	3,1	1,131	1,132	0,001
900x300	9139	8881	2,9	10454	10174	2,8	1,144	1,146	0,002
<i>Tipe H-Beam</i>									
100x100	77	74	3,7	88	84	4,1	1,145	1,141	0,004
125x125	136	132	2,7	154	149	3,0	1,132	1,130	0,002
150x150	219	213	2,5	246	240	2,7	1,124	1,123	0,001
175x175	330	322	2,4	369	360	2,5	1,119	1,117	0,002
200x200	472	461	2,3	525	513	2,4	1,114	1,113	0,001
250x250	867	846	2,4	960	937	2,5	1,108	1,107	0,001
300x300	1361	1329	2,4	1501	1465	2,5	1,103	1,102	0,001
350x350	2303	2257	2,0	2545	2493	2,1	1,105	1,104	0,001
400x400	3331	3268	1,9	3672	3600	2,0	1,102	1,102	0
<i>Tipe FOD-Japan</i>									
450x200-1	2319	2294	1,1	2634	2605	1,1	1,136	1,136	0
450x200-2	2116	2090	1,2	2407	2378	1,2	1,137	1,138	0,001
450x200-3	1907	1880	1,4	2176	2147	1,4	1,141	1,142	0,001
450x200-4	2042	2016	1,3	2283	2254	1,3	1,118	1,118	0
450x200-5	1829	1803	1,5	2049	2020	1,5	1,120	1,120	0
450x200-6	1611	1583	1,7	1812	1782	1,7	1,125	1,125	0
450x200-7	1310	1281	2,2	1490	1460	2,1	1,138	1,139	0,001
400x200-1	1821	1799	1,2	2069	2043	1,2	1,136	1,136	0
400x200-2	1765	1743	1,3	1974	1948	1,3	1,118	1,118	0
400x200-3	1581	1558	1,5	1768	1743	1,5	1,119	1,118	0,001
400x200-4	1391	1367	1,7	1560	1534	1,7	1,121	1,122	0,001
400x200-5	1128	1103	2,3	1276	1249	2,1	1,132	1,133	0,001

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai faktor bentuk penampang dengan menggunakan persamaan ξ_{full} dan ξ_{ts} memberikan hasil yang hampir identik untuk semua penampang. Perbedaannya sangat kecil sekali dalam rentang 0 – 0,004. Artinya, perhitungan faktor bentuk penampang dengan menggunakan Persamaan (8), bisa dilakukan dengan tingkat ketelitian yang sangat baik.

Perhitungan dengan Persamaan (8) ini membutuhkan nilai modulus plastis dan elastis penampang Z_{x-ts} dan S_{x-ts} , dimana perhitungannya jauh lebih sederhana dibandingkan dengan Z_{x-full} dan S_{x-full}

4. Formulasi Analitik Modulus Plastis Penampang (Z_x)

Sesuai hasil yang diperoleh sebelum ini, faktor bentuk penampang yang dihitung dengan menggunakan Persamaan (8) sangat mendekati dengan hasil Persamaan (7), sehingga dapat dituliskan hubungan kedua persamaan tersebut seperti di bawah ini:

$$\frac{Z_{x-full}}{S_{x-full}} \approx \frac{Z_{x-ts}}{S_{x-ts}} \quad (9)$$

atau

$$Z_{x-full} \approx Z_{x-ts} \frac{S_{x-full}}{S_{x-ts}} \quad (10)$$

Persamaan (5) dapat disusun ulang menjadi:

$$\frac{S_{x-full}}{S_{x-ts}} = 1 + \Delta_S \quad (11)$$

Dengan mensubstitusi perbandingan modulus elastis di Persamaan (11) ke Persamaan (10), diperoleh formula pendekatan untuk menghitung Z_{x-full} sebagai berikut:

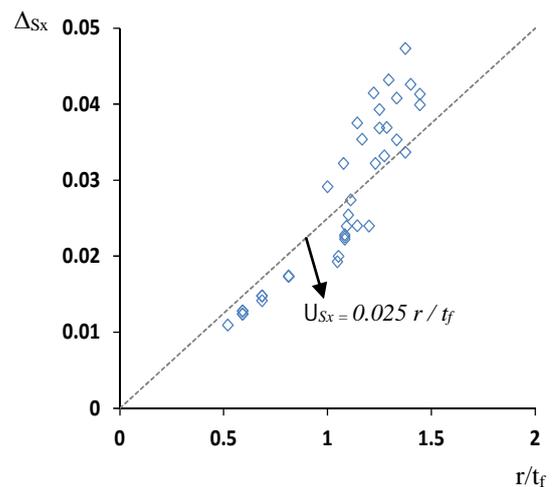
$$Z_{x-full} = Z_{x-ts} (1 + \Delta_S) \quad (12)$$

Nilai Δ_{Sx} mempunyai kecenderungan yang sama dengan Δ_{Zx} dan Δ_A dimana parameter tebal sayap (t_f) dan jari-jari (r) menjadi faktor yang menentukan. Jika t_f relatif lebih besar dari r , maka pengaruh perbedaan Δ_A , Δ_{Sx} , dan Δ_{Zx} menjadi tidak dominan. Sebaliknya jika t_f relatif lebih kecil dari r , maka pengaruh perbedaan Δ_A , Δ_{Sx} , dan Δ_{Zx} menjadi signifikan. Dengan demikian, nilai Δ_{Sx} pada Persamaan (12) akan disubstitusi dengan perbandingan nilai r dan t_f .

Hubungan antara nilai Δ_{Sx} dan rasio r/t_f ditampilkan pada Gambar 5. Dari sebaran data terlihat ada pola hubungan antara Δ_{Sx} dan rasio r/t_f dimana peningkatan rasio r/t_f akan meningkatkan nilai Δ_{Sx} .

Untuk kemudahan dan memperhatikan pola data, hubungan antara Δ_{Sx} dan rasio r/t_f didekati dengan garis linear. Setelah dilakukan optimasi, regresi linear sederhana yang paling mendekati adalah:

$$\Delta_S = 0,025 \frac{r}{t_f} \quad (13)$$



Gambar 5. Grafik hubungan Δ_{Sx} dengan rasio r/t_f .

Tabel 3. Modulus plastis penampang dengan usulan formula

Profil	Modulus Plastis (cm ³)		
	Rumus dasar Pers. (4)	Usulan formula Pers. (14)	Δ (%)
<i>Tipe IWF</i>			
150x75	102	101	0,8
150x100	157	155	1,2
200x100	209	207	1,2
250x125	366	364	0,6
300x150	542	541	0,2
350x175	868	868	0,0
400x200	1326	1326	0,0
450x200	1679	1674	0,3
500x200	2175	2162	0,6
600x200	2979	2956	0,8
400x300	2188	2188	0,0
450x300	2825	2819	0,2
500x300	3228	3212	0,5
600x300	4489	4460	0,7
700x300	6464	6431	0,5
800x300	8243	8211	0,4
900x300	10454	10428	0,2
<i>Tipe H-Beam</i>			
100x100	88	87	0,9
125x125	154	153	0,2
150x150	246	246	0,0
175x175	369	369	0,0
200x200	525	527	0,3
250x250	960	964	0,3
300x300	1501	1509	0,5
350x350	2545	2559	0,5
400x400	3672	3694	0,6
<i>Tipe FOD-Japan</i>			
450x200-1	2634	2639	0,2
450x200-2	2407	2413	0,3
450x200-3	2176	2184	0,3
450x200-4	2283	2287	0,2
450x200-5	2049	2054	0,2
450x200-6	1812	1818	0,3
450x200-7	1490	1499	0,6
400x200-1	2069	2074	0,2
400x200-2	1974	1977	0,2
400x200-3	1768	1772	0,2
400x200-4	1560	1565	0,3
400x200-5	1276	1283	0,5

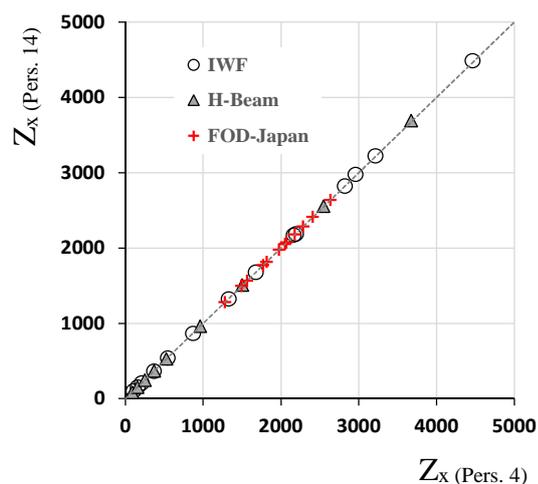
Dengan demikian, Persamaan (12) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Z_{x-full} = Z_{x-ts} \left(1 + 0,025 \frac{r}{t_f} \right) \quad (14)$$

dengan nilai Z_{x-ts} dihitung dengan menggunakan bagian pertama dari Persamaan (5), yaitu:

$$Z_{x-ts} = \left[\frac{b h^2 - (b - t_w)(h - 2t_f)^2}{4} \right]$$

Pada Tabel 3, diberikan hasil perhitungan modulus plastis penampang dengan menggunakan formula analitik yang diusulkan pada paper ini. Pada Gambar 6 diplotkan hasil perhitungan yang diperoleh pada Tabel 3 tersebut.



Gambar 6. Modulus plastis penampang (usulan formula vs rumus dasar)

Perbandingannya dengan nilai modulus plastis penampang yang dihitung dengan Persamaan (4) menunjukkan bahwa formula yang diusulkan memberikan estimasi yang sangat baik dengan perbedaan kecil dari 1,2 %.

E. KESIMPULAN

Studi analitik telah dilakukan untuk menganalisis besaran karakteristik penampang profil-I, terutama luas,

modulus elastis, dan modulus plastis penampang. Profil-I yang diteliti adalah profil IWF, H-Beam, dan FOD-Japan. Untuk semua besaran karakteristik yang ditinjau diperoleh hasil bahwa bagian sudut cekung yang terdapat pada pertemuan antara pelat sayap dan pelat badan pada profil-I canai panas mempunyai kontribusi yang konsisten kepada nilai karakteristik penampang total, yaitu pada rentang 1,0 – 4,7%. Dari studi ini juga diketahui bahwa nilai faktor bentuk penampang yang dihitung dengan dan tanpa mengikutsertakan bagian sudut pertemuan tersebut mempunyai nilai yang hampir identik dengan rata-rata selisih sebesar 0,001

Formula sederhana untuk menghitung modulus plastis penampang diusulkan pada artikel ini dengan memasukkan pengaruh rasio r dan t_f . Perhitungan dengan formula ini memberikan hasil dengan akurasi yang sangat baik dengan perbedaan maksimal sebesar 1,2 % jika dihitung dengan menggunakan rumus dasar modulus plastis penampang. Aplikasi dari penggunaan rumus tersebut bisa digunakan untuk menghitung modulus plastis penampang secara cepat dan akurat untuk semua jenis ukuran penampang profil-I.

DAFTAR PUSTAKA

American Institute of Steel Construction. (2010). *AISC 360-10: Specification for Structural Steel Buildings*. Chicago.

Badan Standardisasi Nasional. (2015). *SNI 1729:2015, Spesifikasi untuk bangunan gedung struktural*. Jakarta.

Dewobroto, W. (2015). *Struktur Baja: Perilaku, Analisis & Desain – AISC 2010*, Edisi ke-2, Jurusan Teknik Sipil UPH, Tangerang.

Gunawan, R. (1988). *Tabel Profil Konstruksi Baja*. Kanisius, Yogyakarta.

Hosseini, M., Hatami, H. (2019). Elastic-Plastic Analysis of Bending Moment – Axial Force Interaction in Metallic Beam of T-Section. *J. Appl. Comput. Mech.*, 5(1) (2019) 162-173.
doi:10.22055/JACM.2018.25857.1298.

Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation. (2014). *Structural Shapes*. Tokyo.

Partono, W., Sukamta, S., Hardiyati, S., dan Budi, L. (2018). Optimasi Distribusi Lubang Pada Balok Baja Kastela. *TEKNIK*, 39 (1), 1 – 8.
doi.org/10.14710/teknik.v39i1.12234.

Yeo, I. H., Cho, K. S., Cho, B. Y., An, J. H., & Kim, H. J. (2013). A Study on Relations Between Section Shape Factor and Temperature History of Steel of Composite Beam Subjected to Standard Fire under Same Thickness Condition of Spray-Type Fire Resistant Materials. *Advanced Materials Research*, 671–674, 912–920.
doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.671-674.912.



© 2020 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY Licenses (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)