

PERBANDINGAN HASIL PERHITUNGAN KAPASITAS LENTUR ANTARA ANALISIS TEORITIS MENGGUNAKAN SNI 7971:2013 DAN UJI EKSPERIMENTAL PADA PROFIL BAJA *COLD FORMED SINGLE CHANNEL* DAN *DOUBLE CHANNEL BACK TO BACK*

Adrian Hartanto¹, Yuwono Sugiarto², Hasan Santoso³, Effendy Tanojo⁴

ABSTRAK : Perkembangan ilmu konstruksi dari waktu ke waktu, selalu menginginkan material dengan kualitas lebih baik dari sebelumnya, dengan efisiensi waktu dan penekanan biaya semaksimal mungkin. Baja canai dingin mulai banyak digunakan di Indonesia terutama sebagai rangka atap, namun peraturan yang mengatur tentang baja canai dingin yaitu SNI 7971:2013 sendiri masih relatif baru dan perlu untuk diteliti. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa perhitungan teoritis yang didapat bisa berbeda ketika dibandingkan dengan kekuatan aktualnya, maka dari itu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang perbedaan yang terjadi ini. Penelitian kali ini akan membandingkan kapasitas lentur balok yang tertumpu secara sendi-rol dan juga defleksi yang terjadi pada setengah dan seperempat bentang. Penelitian akan menggunakan profil kanal tunggal dengan bentang 1,2 meter dan profil kanal ganda dengan bentang 3 meter dan akan dibebani pada tengah bentang. Total sampel yang digunakan adalah 8 sampel dengan ketebalan dan ukuran penampang yang bervariasi. Uji eksperimen dilakukan di lab struktur Universitas Kristen Petra. Hasil penelitian secara garis besar menunjukkan bahwa pada profil kanal tunggal terjadi perbedaan sekitar 16%-29% pada kapasitas lentur dengan hasil uji eksperimen lebih kecil dari perhitungan teoritis. Sedangkan profil kanal ganda terjadi perbedaan yang signifikan dimana hasil uji eksperimen jauh lebih besar dan perlu untuk diteliti lebih lanjut.

KATA KUNCI: baja canai dingin, SNI 7971:2013, kapasitas lentur balok, perhitungan teoritis, uji eksperimen, profil kanal tunggal, profil kanal ganda

1. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu konstruksi merupakan salah satu hal yang ikut terdampak karena perkembangan teknologi yang sangat pesat, terutama pada era globalisasi ini. Perkembangan ilmu konstruksi dari waktu ke waktu, selalu menginginkan material yang memiliki kualitas lebih baik dari sebelumnya, dengan efisiensi waktu dan penekanan biaya semaksimal mungkin (Fitrah, 2019). Salah satu material konstruksi yang umum digunakan saat ini adalah material baja. Baja canai dingin yang juga mulai banyak digunakan untuk struktur bangunan (Handono, 2019) terutama untuk kuda-kuda atap dan gording atap. Baja canai dingin (*Cold Formed Steel*) dibentuk melalui proses pabrikasi dengan membentuk profil baja dalam suhu ruang, dan memiliki ketebalan mulai dari 0.4 mm hingga 6.4 mm, dan termasuk material tipis (Yu, 2000).

Menurut Fitrah (2019), penyebab kegagalan baja canai dingin seringkali terjadi pada tipe kegagalan

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, b11180047@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, b11180052@john.petra.ac.id

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, hasan@petra.ac.id

⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, effendy@petra.ac.id

local bucking. Hal ini dikarenakan baja canai dingin memiliki profil dengan kelangsingan yang besar dan ketebalan penampang yang tipis. Tekuk merupakan sebuah kegagalan struktur, dimana penampang struktur mendapat perubahan bentuk sebelum struktur mencapai kapasitas lelehnya, dengan kata lain, struktur hancur terlebih dahulu sebelum mencapai batas kekuatan maksimalnya. Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian lebih untuk mengetahui tentang baja canai dingin. SNI 7971:2013 yang mengatur tentang baja canai dingin sendiri masih relatif baru dan perlu untuk diteliti. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa perhitungan teoritis yang didapat bisa berbeda ketika dibandingkan dengan kekuatan aktualnya. Maka dari itu perlu untuk meneliti lagi tentang perbedaan yang terjadi ini.

2. LANDASAN TEORI

Dalam desain, hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perhitungan kekuatan profil baja antara lain:

- a. Lebar efektif profil untuk perhitungan kapasitas
- b. Lebar efektif untuk perhitungan defleksi

Berdasarkan peraturan SNI 7971:2013, maka elemen-elemen berikut memiliki peraturan dan syarat yang berbeda untuk perhitungan lebar efektif, antara lain:

- a. Elemen *flange* merupakan elemen yang memiliki tegangan merata dan memiliki pengaku tepi berupa *web* dan *lips*. (SNI 7971 2.2.1)
- b. Elemen *lips* merupakan elemen yang memiliki tegangan bergradien, dan memiliki satu pengaku tepi berupa *flange*. (SNI 7971 2.3.2)
- c. Elemen *web* merupakan elemen yang memiliki tegangan bergradien, dan memiliki pengaku berupa *flange*. (SNI 7971 2.2.3)

Dalam perhitungan kali ini perlu diperhatikan hal-hal berikut:

1) Lebar efektif untuk perhitungan kapasitas

Dalam menentukan kapasitas penampang atau komponen struktur, lebar efektif (b_e) dari elemen tanpa pengaku yang mengalami tekan merata harus ditentukan dari persamaan sebagai berikut:

$$\text{Untuk } \lambda \leq 0.673: \quad b_e = b \quad (\text{SNI } 7971 \text{ 2.2.1.2(1)})$$

$$\text{Untuk } \lambda > 0.673: \quad b_e = \rho b \quad (\text{SNI } 7971 \text{ 2.2.1.2(2)})$$

Keterangan:

b = Lebar rata dari elemen tidak termasuk lengkungan

ρ = Faktor lebar efektif

$$= \left(1 - \frac{0.22}{\lambda}\right) / \lambda \leq 1.0 \quad (\text{SNI } 7971 \text{ 2.2.1.2(3)})$$

$$\lambda = \left(\sqrt{\frac{f^*}{f_{cr}}}\right) \quad (\text{SNI } 7971 \text{ 2.2.1.2(4)})$$

f^* = Tegangan desain pada elemen tekan yang dihitung berdasarkan lebar desain efektif

F_{cr} = tegangan tekuk elastis plat

2) Lebar efektif untuk perhitungan defleksi

Untuk menentukan kapasitas penampang atau komponen struktur, lebar efektif (b_e) dari elemen tanpa pengaku yang mengalami tekan merata harus ditentukan dari persamaan sebagai berikut:

$$\text{a. } \lambda \leq 0.673: \quad b_{ed} = b \quad (\text{SNI } 7971 \text{ 2.2.1.3(1)})$$

$$\text{b. } \lambda > 0.673: \quad b_{ed} = \rho b \quad (\text{SNI } 7971 \text{ 2.2.1.3(2)})$$

Perhitungan lebar efektif (ρ) harus ditentukan dari salah satu prosedur berikut ini:

Untuk $\lambda \leq 0.673$:

$$\rho = 1$$

Untuk $0.673 < \lambda < \lambda_c$:

$$\rho = 1.358 - \frac{0.461 - \frac{0.461}{\lambda}}{\lambda} \leq 1.0$$

Untuk $\lambda_c \leq \lambda$:

$$\rho = \frac{0.41 + 0.59 \sqrt{\frac{f_y}{f_{d^*}} - \frac{0.22}{\lambda}}}{\lambda} \leq 1.0$$

$$\lambda_c = 0.256 + 0.328 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

Dimana λ harus dihitung dengan menggantikan f^* dengan f_{d^*} , f_{d^*} adalah tegangan tekan desain pada elemen yang ditinjau berdasarkan penampang efektif pada saat pembebanan untuk menghitung defleksi.

3) Desain Lentur

Momen lentur desain (M^*) dari komponen struktur lentur harus memenuhi persyaratan berikut ini:

a. $M^* \leq \phi_b M_s$ (SNI 7971 3.3.1(1))

b. $M^* \leq \phi_b M_b$ (SNI 7971 3.3.1(2))

Keterangan:

M^* = Momen lentur desain

ϕ_b = faktor reduksi kapasitas untuk lentur

M_s = kapasitas momen penampang nominal yang dihitung

M_b = kapasitas momen komponen struktur nominal yang dihitung

Kapasitas momen nominal penampang (M_s) harus dihitung berdasarkan pelelehan awal pada penampang efektif atau berdasarkan kapasitas cadangan inelastis.

Kapasitas momen nominal penampang (M_s) harus ditentukan sebagai berikut:

$$M_s = Z_c f_y \quad (\text{SNI 7971 3.3.2.2})$$

Keterangan:

Z_c = modulus penampang efektif yang dihitung pada serat tekan/tarik terluar pada tegangan f_y ,

f_y = tegangan leleh

Kapasitas momen komponen struktur nominal (M_b) dari segmen-segmen tanpa breising lateral dari penampang simetris tunggal, ganda, dan titik yang menerima tekuk lateral harus dihitung sebagai berikut:

$$M_b = Z_c f_c \quad (\text{SNI 7971 3.3.3.2(1)})$$

Keterangan:

Z_c = Modulus penampang efektif yang dihitung pada tegangan f_c pada serat tekan terluar

$$f_c = M_c / Z_f \quad (\text{SNI 7971 3.3.3.2(2)})$$

M_c = Momen kritis

Z_f = modulus penampang tumpul tanpa reduksi pada serat tekan terluar

Momen kritis (M_c) harus dihitung sebagai berikut:

Untuk $\lambda_b \leq 0.6$: $M_c = M_y$ (SNI 7971 3.3.3.2(3))

Untuk $0.6 \leq \lambda_b \leq 1.336$: $M_c = 1.11 M_y [1 - \frac{10\lambda_b^2}{36}]$ (SNI 7971 3.3.3.2(4))

Untuk $\lambda_b \geq 1.336$: $M_c = M_y (\frac{1}{\lambda_b^2})$ (SNI 7971 3.3.3.2(5))

Keterangan:

b = rasio kelangsingan non dimensi yang digunakan untuk menentukan M_c untuk komponen struktur yang mengalami tekuk lateral.

$$b = \sqrt{\frac{M_y}{M_o}}$$

(SNI 7971 3.3.3.2(6))

Dengan keterangan M_y merupakan momen yang menyebabkan leleh pertama pada serat tekan terluar dari penampang utuh.

dimana

$$M_y = Z_f f_y$$

(SNI 7971 3.3.3.2(7))

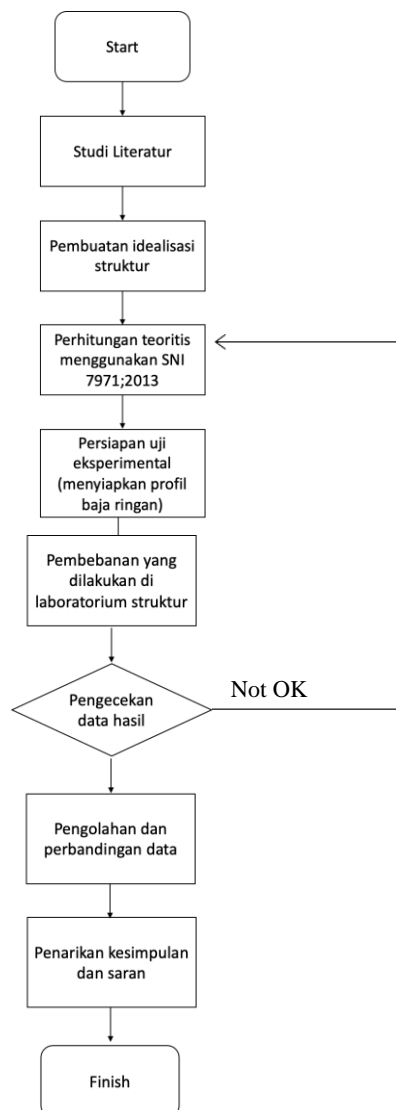
M_o = adalah momen tekuk elastis.

$$M_o = C_b A r_{o1} \sqrt{f_{oy} f_{oz}}$$

(SNI 7971 3.3.3.2(8))

3. METODOLOGI PENELITIAN

Secara garis besar *flowchart* dibuat untuk prosedur penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada **Gambar 1**.

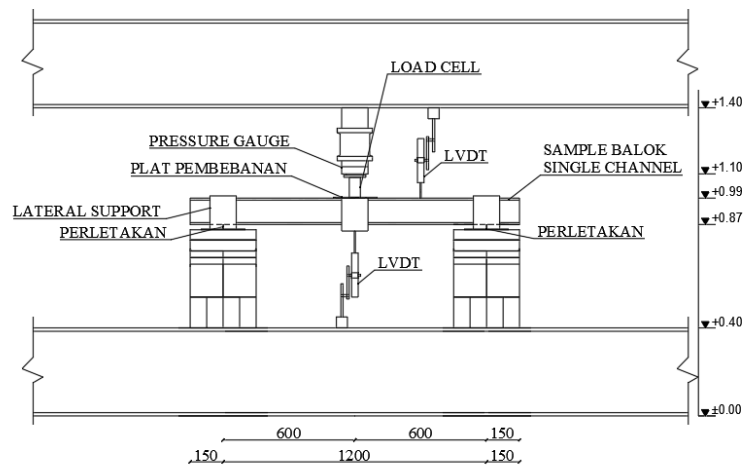


Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

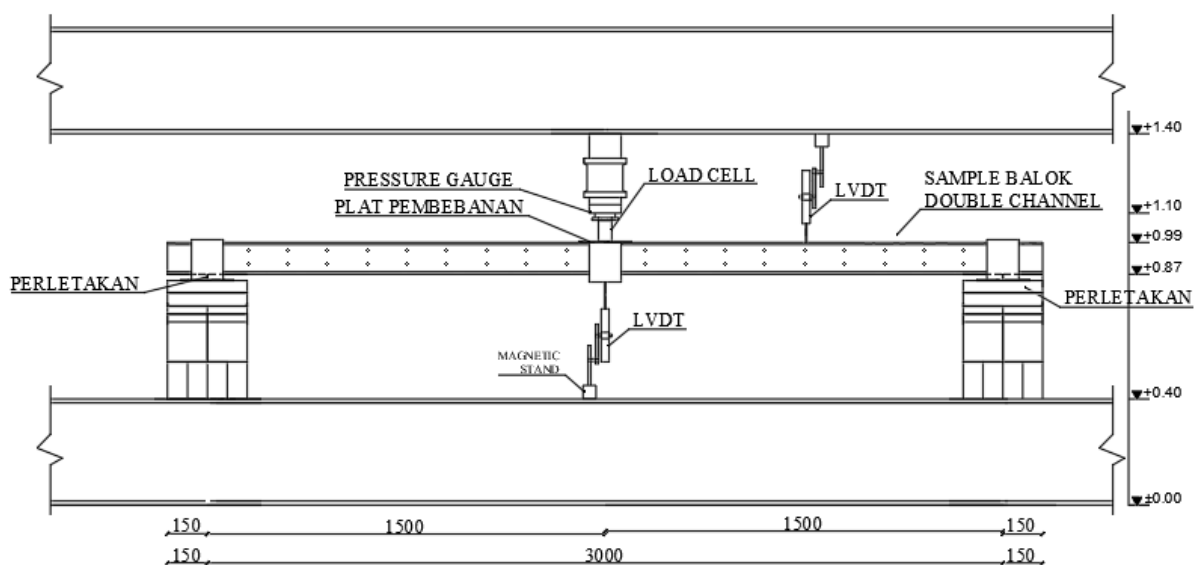
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Set Up Pengujian Eksperimental Baja Canai Dingin

Setup pengujian eksperimental dilakukan di laboratorium struktur UK Petra dengan rencana penelitian selama 1 bulan. *Sample* yang akan diuji berupa 4 *sample Single Channel* dan 4 *sample Double Channel Back to Back*. Beban yang digunakan merupakan *pressure gauge* dengan beban maksimal 20 ton, dengan pengukuran beban menggunakan *load cell* dan pengukuran defleksi menggunakan LVDT yang diletakkan pada $\frac{1}{4}$ bentang dan $\frac{1}{2}$ bentang. *Load cell* dan LVDT akan dihubungkan dengan *data logger* sehingga hasil pengujian beban dan defleksi yang terjadi dapat diolah dengan baik. Pengujian dilakukan dengan memakai bantuan *bracket* pada titik perletakan yang digunakan untuk menahan *sample* agar tidak jatuh. Pengujian dilakukan kepada 4 *sample single channel* dan 4 *sample double channel* yang berbeda. Pada percobaan ini, *bracket* juga didesain untuk berperilaku sebagai *simply supported* baik pada arah x maupun arah y, dengan tujuan agar perletakan *simply supported* dapat terletak pada 1 titik. Detail *set up* pengujian *Single Channel* dapat dilihat pada **Gambar 2**, sedangkan detail *set up* pengujian *Double Channel* dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 2. Detail Set Up Pengujian Single Channel



Gambar 3. Detail Set Up Pengujian Double Channel

4.2. Perbandingan Hasil Perhitungan Teoritis SNI 7971;2013 dengan Pengujian Eksperimental

Setelah didapatkan hasil perhitungan teoritis dan pengujian eksperimen, akan dibandingkan dan didapatkan persentase perbedaan yang terjadi antara perhitungan teoritis dan pengujian eksperimen. Perbandingan hasil kapasitas lentur perhitungan teoritis dan uji eksperimental *Single Channel* dapat dilihat pada **Tabel 1**. sedangkan perbandingan hasil kapasitas lentur perhitungan teoritis dan uji eksperimental *Double Channel* dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 1. Perbandingan Hasil Kapasitas Lentur Perhitungan Teoritis dan Uji Eksperimental *Single Channel*

Spesimen ke-	Nama Spesimen	Kapasitas Teoritis (kN)	Kapasitas Uji (kN)	Perbedaan Hasil (%)
1	SC120.2.2 (1)	18.57	13.78	25.79
2	SC 120.2.2 (2)		13.05	29.73
1	SC 120.1.8 (1)	15.38	11.31	26.46
2	SC 120.1.8 (2)		10.93	28.93
1	SC 100.2.2 (1)	9.85	8.2	16.75
2	SC 100.2.2 (2)		8.067	18.10
1	SC 100.1.8 (1)	8.77	6.35	27.59
2	SC 100.1.8 (2)		6.16	29.76

Tabel 2. Perbandingan Hasil Kapasitas Lentur Perhitungan Teoritis dan Uji Eksperimental *Double Channel*

Spesimen ke-	Nama Spesimen	Kapasitas Teoritis (kN)	Kapasitas Uji (kN)	Perbedaan Hasil (%)
1	DC 120.2.2 (1)	5.49	10.334	88.23
2	DC 120.2.2 (2)		10.32	87.98
1	DC 120.1.8 (1)	4.27	8.4	96.72
2	DC 120.1.8 (2)		7.8	82.67
1	DC 100.2.2 (1)	3.17	8.267	160.79
2	DC 100.2.2 (2)		8.267	160.79
1	DC 100.1.8 (1)	2.65	5.667	113.85

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan serta hasil-hasil penelitian yang telah didapatkan, maka kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah :

1. Berdasarkan hasil pengujian eksperimental, kegagalan yang terjadi pada *sample single channel* dan *double channel back to back* adalah *lateral torsional buckling*, sesuai dengan hasil perhitungan teoritis.
2. Percobaan kapasitas lentur pada baja canai dingin *single channel* memiliki perbedaan hasil sebesar 16% - 29% dengan hasil perhitungan teoritis tanpa angka keamanan lebih besar. Dari hasil *error* yang di dapat, maka dapat disimpulkan bahwa angka keamanan pada perhitungan teoritis sebesar 0.9 perlu dikecilkan. Percobaan kapasitas lentur pada baja canai dingin *double channel back to back* memiliki perbedaan hasil yang sangat jauh sebesar 88% - 100% dengan hasil perhitungan teoritis lebih kecil.
3. Berdasarkan perhitungan teoritis kapasitas lentur *double channel*, dikarenakan *sample* memiliki bentang 3 meter, maka nilai f^* (f kritis) menjadi jauh lebih kecil, dengan f_y bernilai 550 Mpa dan f kritis bernilai 141 Mpa. Hal ini menyebabkan kapasitas teoritis yang didapat berdasarkan SNI 7971:2013 menjadi sangat kecil.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan serta hasil-hasil penelitian yang telah didapatkan, maka saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Pada perhitungan *single channel*, angka keamanan untuk perhitungan teoritis lebih baik dikalikan dengan angka 0.7, bukan 0.9.
2. Pada penelitian selanjutnya, diperlukan pengujian *sample single channel* dan *double channel* dengan panjang bentang yang sama, agar dapat diketahui perbedaan hasil keduanya jika dibandingkan dengan perhitungan teoritis.
3. Perhitungan defleksi untuk pengujian eksperimental yang mengalami kegagalan pada LTB, lebih baik menggunakan *strain gauge*, untuk mendapatkan hasil yang lebih tepat.

6. DAFTAR REFERENSI

- Departemen Pekerjaan Umum.(2013). *SNI 7971:2013 Struktur Baja Canai Dingin*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia
- Fitrah, R. A. dan Herman, H.(2019).”Studi Eksperimental Perilaku Tekan Baja Ringan dengan Variasi Profil Penampang.” *Rang Teknik Journal*. Vol. 2, No.1, 127-131
- Handono, B. D. dan Pandaleke, R. (2019). “Analisis Kuat Lentur Baja Ringan Dengan Variasi Bentuk Sayap dan Badan Penampang.” *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 7, No. 10, 1245-1250
- Yu, W. W. (2000). *Cold Formed Steel Design, Third Edition*. John Wiley & Sons, Inc. Canada