

PERILAKU TORSI PADA BALOK BAJA CANAI DINGIN PROFIL TERTUTUP KANAL GANDA

Fiqri Anra Wijaya^{1*}, Ali Awaludin¹, Ashar Saputra¹

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

*Corresponding author: fiqriandra95@mail.ugm.ac.id

INTISARI

Baja canai dingin memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan baja konvensional, diantaranya yaitu memiliki massa yang ringan, kekuatan tinggi, mudah diproduksi, proses instalasi yang lebih cepat dan mudah, dapat didaur ulang serta tahan terhadap serangan rayap. Di Indonesia baja canai dingin umumnya digunakan sebagai struktur atap. Namun, pasca gempa Lombok – Nusa Tenggara Barat pada tahun 2018 silam, pemerintah mulai mengem-bangkan rumah hunian tahan gempa yang terbuat dari susunan baja canai dingin. Salah satu inovasi rumah hunian tersebut adalah Rumah Instan Baja Ringan (RISBARI).

Pada baja canai dingin sendiri yang cenderung memiliki elemen badan dan sayap yang cukup tipis sehingga sangat mudah mengalami *Lateral Torsional Buckling* (LTB), LTB adalah keadaan dimana elemen balok mengalami tekuk arah lateral sehingga menyebabkan terjadinya kegagalan struktur sebelum mencapai tegangan leleh maksimum. Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk menganalisis perilaku torsi balok baja canai dingin profil kanal ganda dengan penampang tertutup.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa terjadi penurunan beban ketika bentang spesimen semakin panjang. Dimana beban merata maksimum ditunjukkan oleh balok baja dengan bentang 1500 mm sebesar 3,23 kN, sedangkan beban merata minimum ditunjukkan oleh balok baja dengan bentang 2500 mm sebesar 2,84 kN. Benda uji dengan panjang 2500 mm memiliki nilai defleksi horizontal dan vertikal yang besar terhadap beban yang terjadi pada benda uji tersebut, sedangkan benda uji dengan bentang 1500 mm memiliki nilai kecil terhadap beban. Tegangan maksimum yang terjadi pada pengujian adalah pada benda uji dengan bentang 1500 mm sebesar 413 MPa dan yang terendah adalah pada benda uji dengan bentang 2500 mm sebesar 391 mm. dimana nilai ini belum mencapai nilai tegangan leleh dari material baja canai dingin tersebut sebesar 550 MPa, sehingga seluruh benda uji masih dalam kondisi elastik.

Kata kunci: baja canai dingin, penampang tersusun, kanal ganda, eksentrisitas, torsi

1 PENDAHULUAN

Baja canai dingin (*Cold Formed Steel*) atau di Indonesia lebih populer dikenal dengan baja ringan, merupakan material struktur yang memiliki kekuatan atau mutu yang tinggi dibandingkan dengan baja konvensional biasa. Baja canai dingin adalah baja yang dibentuk dari lembaran - lembaran baja dengan suhu kamar (*cold-rolled*). Produksi *Cold Formed Steel* di Indonesia dimulai sejak tahun 1973 oleh perusahaan asal Australia (PT. BHP Steel Lysah) Dewobroto, (2016), sampai saat ini penggunaan baja canai dingin dapat dikatakan semakin populer. Hal ini dikarenakan baja canai dingin memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan baja konvensional, diantaranya yaitu memiliki massa yang ringan, kekuatan tinggi, mudah diproduksi, proses instalasi yang lebih cepat dan mudah, dapat didaur ulang serta tahan terhadap serangan rayap. Di Indonesia baja canai dingin umumnya digunakan sebagai struktur atap. Namun, pasca gempa Lombok – Nusa Tenggara Barat pada tahun 2018 silam, pemerintah mulai mengem-bangkan rumah hunian tahan gempa yang terbuat dari susunan baja canai dingin. Salah satu inovasi rumah hunian tersebut adalah Rumah Instan Baja Ringan (RISBARI) Awaludin A, (2020).

Balok merupakan komponen penting dalam sebuah struktur bangunan. Balok berfungsi sebagai penyalur beban. Pada baja canai dingin sendiri yang cenderung memiliki elemen badan dan sayap yang cukup tipis sehingga sangat mudah mengalami *Lateral Torsional Buckling* (LTB), LTB adalah keadaan dimana elemen balok mengalami tekuk arah lateral sehingga menyebabkan terjadinya kegagalan struktur sebelum mencapai tegangan leleh maksimum Wang dan Young (2016). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Wang dan Young (2018) yang melakukan penelitian tentang balok penampang tersusun box (*closed section*) dan I (*open section*), serta menggunakan analisis elemen hingga untuk mengetahui pengaruh susunan sekrup terhadap kekuatan dan perilaku struktural balok. Pada penelitiannya Wang dan Young (2018) menyarankan jarak sekrup maksimum sebesar 4 kali tinggi *web* atau $4h_w$ untuk menghindari terjadinya tekuk torsi-lateral atau pemisahan komponen. Namun pada penelitian yang dilakukan Yasinta (2020) ditemukan bahwa benda uji dengan jarak yang lebih kecil dari 4 kali tinggi *web* atau $4h_w$ tetap mengalami kegagalan torsi-lateral meski tidak mengalami pemisahan antar komponen penyusun tunggal. Hal ini mengindikasikan bahwa jarak sekrup ≤ 4 kali tinggi *web* atau $4h_w$ kemungkinan tidak berlaku pada penampang yang digunakan dalam

penelitian ini serta mengalami mode kegagalan berupa kombinasi diantara ketiga mode tekuk. Hasil penelitian Selvaraj dan Madhavan (2019) juga menunjukkan bahwa batasan jarak sekrup < 4 kali tinggi *web* atau $4h_w$ mungkin hanya berlaku untuk komponen struktur yang mengalami kegagalan berupa tekuk lokal seperti dalam penelitian Wang dan Young (2018).

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku torsi balok baja canai dingin profil kanal ganda dengan penampang tertutup.

2 METODE PENELITIAN

Pembuatan dan pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Material yang digunakan untuk melakukan penelitian ini antara lain adalah baja canai dingin penampang kanal dengan profil lipped channel dengan tinggi web dan lebar sayap bawah berturut-turut 81 mm dan 40 mm. Tinggi lips 8,5 mm dan tebal penampang 0,75 mm, seperti pada Gambar 1. Alat sambung yang digunakan untuk merangkai baja penampang tertutup adalah *self-drilling screw* #12 dengan diameter 5,49 mm dan panjang 12 mm.

2.1 Benda Uji

Peralatan – peralatan yang digunakan dalam penelitian ini berada di Laboratorium Bahan Struktur DTSL FT UGM antara lain meteran atau kaliper digunakan untuk mengukur dimensi benda uji dengan ketelitian 0,01 mm dan kapasitas pengukuran 300 mm, data logger yang digunakan untuk mengetahui beban dan regangan dari uji lentur, kemudian strain gauge digunakan untuk membaca regangan dari strain gauge yang dipasang dan perangkat komputer digunakan untuk membaca dan menyimpan data hasil pengujian. Proses ini menggunakan *software* yang terintegrasi dengan data logger sehingga data yang direkam dapat disimpan pada komputer.

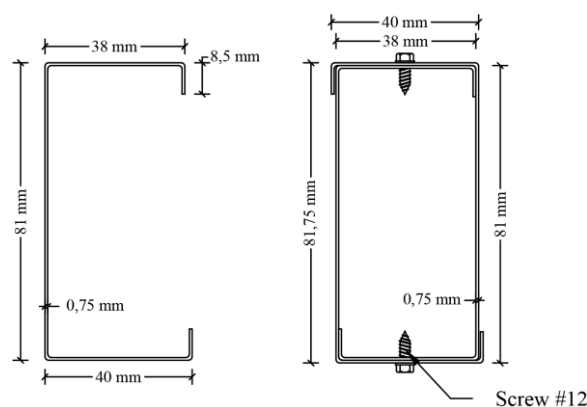
Pengujian ini menggunakan CFS dengan penampang *canal-lip* C81.38.40.0,75. Dengan 3 variasi panjang dengan total 3 spesimen per variasinya. Jarak sekrup adalah 250 mm pada sayap bagian atas dan bawah, namun pada daerah tumpuan khususnya sayap bawah dipasang sekrup sejarak 300 mm untuk meletakkan tumpuan. Pada bagian tumpuan, digunakan pengaku. Pengaku merupakan pelat baja setebal 5 mm yang dirakit menjadi penampang U. Tujuan penggunaan pengaku didaerah tumpuan yaitu untuk mempertahankan posisi penampang tersusun tertutup agar tidak bergeser ketika dibebani. Penamaan spesimen, potongan penampang serta variasi jarak sekrup pada balok penampang tersusun tertutup disajikan dalam Tabel 1 dan Gambar 1.

Tabel 1. Variasi Jarak Panjang Benda Uji

Benda Uji	L (mm)	S (mm)	Jumlah Benda Uji
B81-15	1500	250	3
B81-20	2000	250	3
B81-25	2500	250	3

Keterangan:

- L = Panjang Benda Uji
- S = Jarak Sekrup



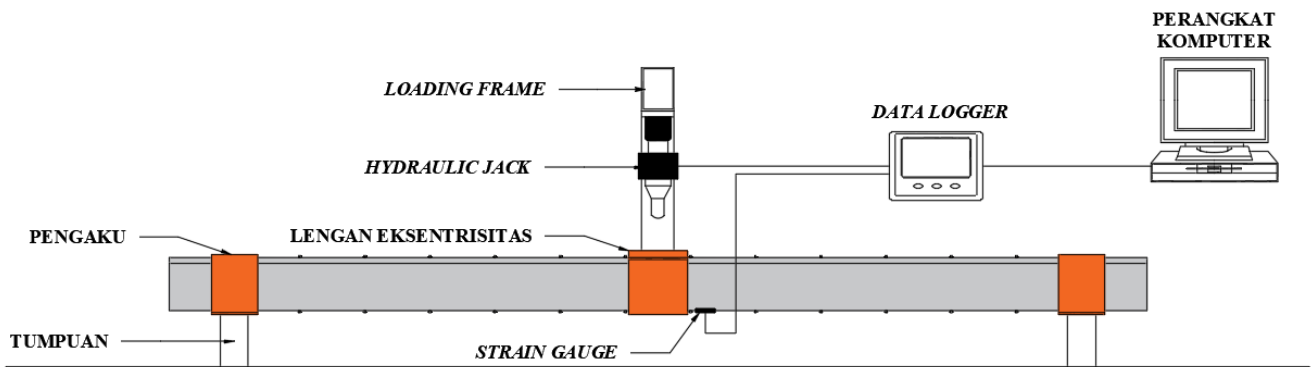
Gambar 1. Penampang Kanal-Lip CFS

Setelah melakukan studi pustaka maka dilakukan tahap persiapan alat dan bahan yang akan digunakan. Dua buah batang profil lipped channel disambung membentuk box dengan alat sambung *self-drilling screw*#12 dengan jarak 20 mm dari ujung sayap. Spesimen balok memiliki variasi panjang yaitu 1500 mm, 2000, dan 2500 mm. Masing – masing variasi memiliki 3 buah benda uji.

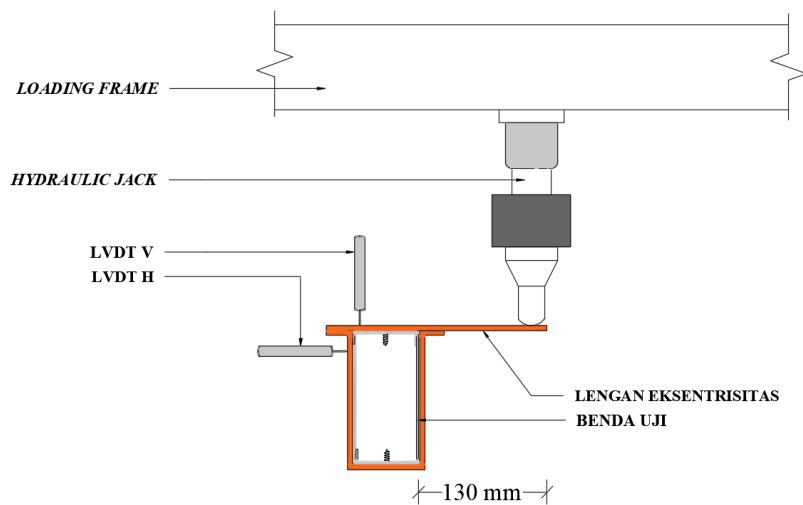
2.2 Pengujian

Pengujian pada benda uji dilakukan secara bertahap, dimana beban yang diberikan dilakukan secara bertahap guna mendapatkan nilai *force* maksimum. Pengujian torsi menggunakan *hydraulic jack* kapasitas 10 ton. Pengujian torsi juga menggunakan alat-alat tambahan berupa, *data logger*, LVDT, *strain gauge*, dan perangkat komputer, untuk mendukung pengujian. *Linear Variabel Displacement Transducer* (LVDT) berkapasitas 50 mm digunakan untuk mengukur defleksi vertikal dan horizontal balok uji serta ditempatkan di titik lokasi pembebanan.

Aplikasi beban pada balok dilakukan secara vertikal pada satu titik pembebanan di tengah bentang dengan adanya eksentrisitas arah horizontal sepanjang 130 mm. Pemberian beban dilakukan secara bertahap hingga benda uji mengalami kegagalan. Untuk mencegah terjadinya kegagalan di titik pembebanan dan titik tumpuan, maka digunakan baja berbentuk U yang terbuat dari plat baja konvensional setebal 5 mm sebagai dudukan serta pengaku pada titik tersebut. Satu buah spesimen pada masing-masing bentang akan diukur regangannya dengan menggunakan *strain gauge* di sayap bagian bawah penampang tersusun



Gambar 2. Skema Benda Uji (Tampak Memanjang)



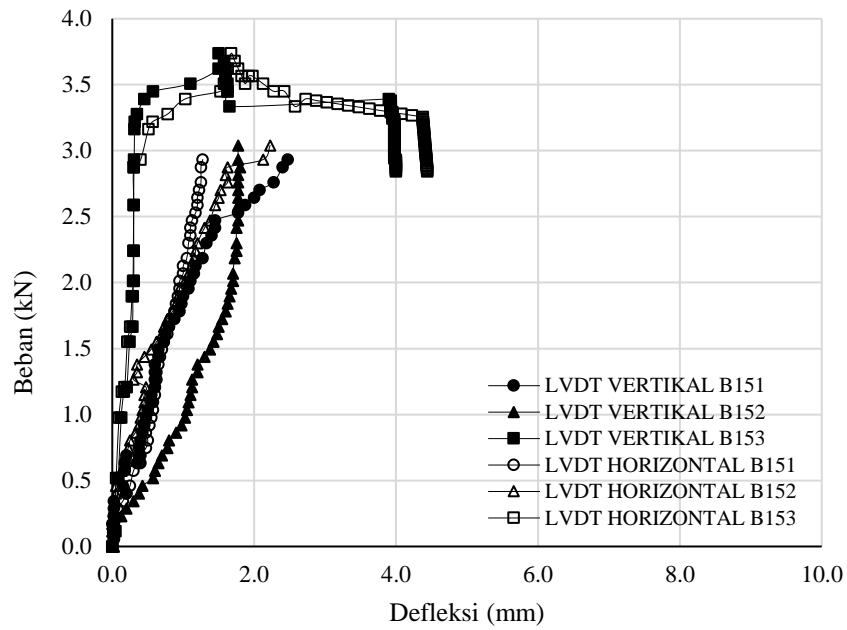
Gambar 3. Skema Benda Uji (Potongan Melintang)



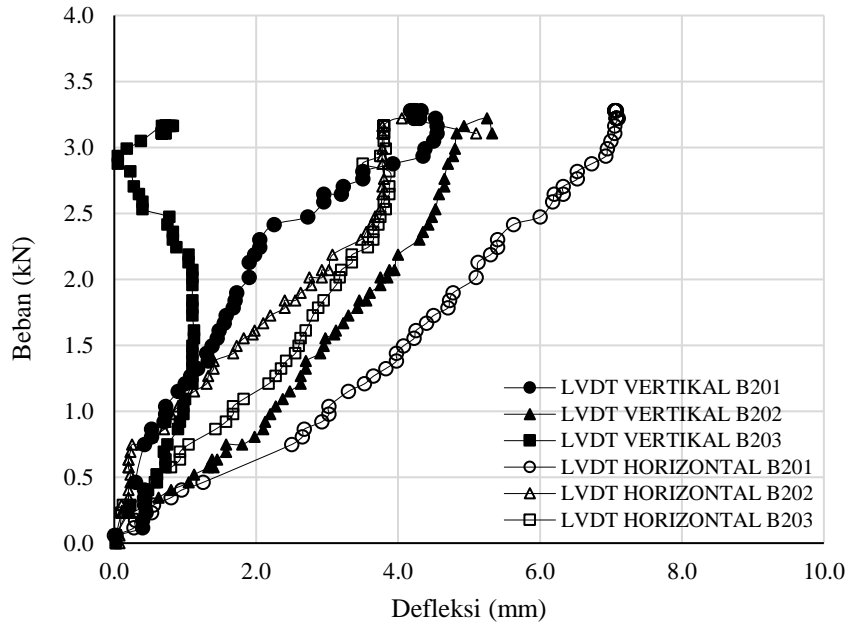
Gambar 4. *Setting-up* Benda Uji di Laboratorium

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

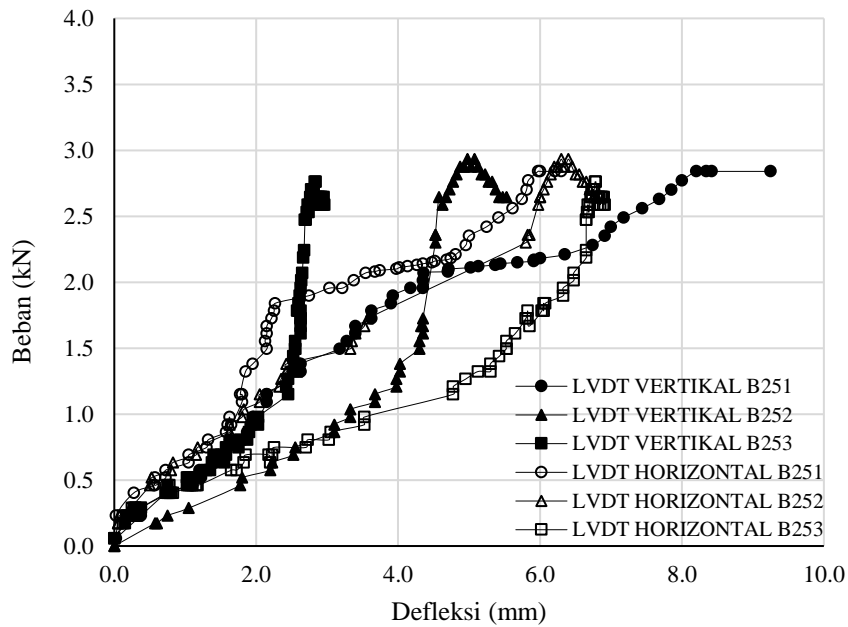
Gambar 5 sampai dengan Gambar 7 menampilkan grafik beban-lendutan beberapa sampel benda uji. Hasil pengujian berupa beban total, defleksi horizontal, serta defleksi vertikal balok, disajikan dalam Tabel 2.



Gambar 5 Grafik Beban-Defleksi Pada Spesime B81-15



Gambar 6 Grafik Beban-Defleksi Pada Spesime B81-20



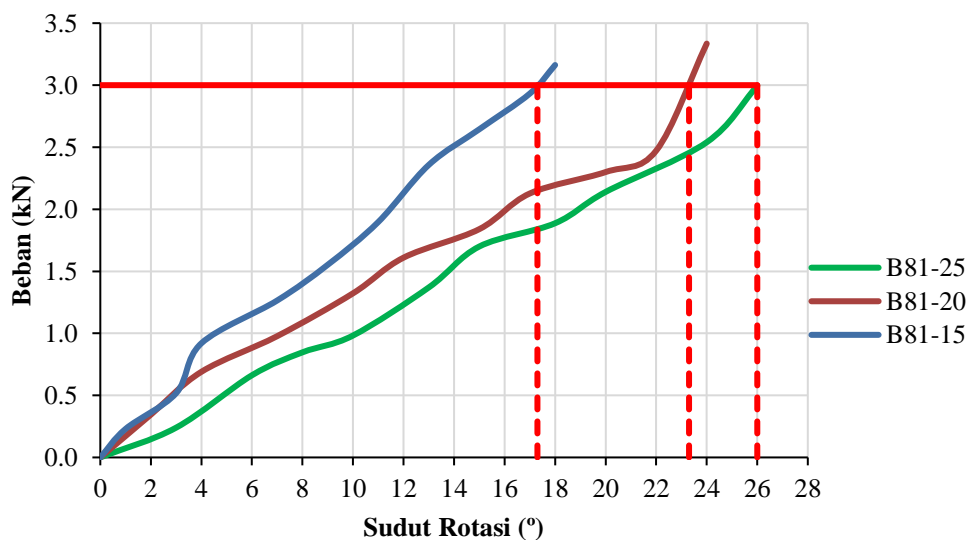
Gambar 7 Grafik Beban-Defleksi Pada Spesime B81-25

Tabel 2. Beban, Lendutan, dan Tegangan Balok Penampang Tersusun Tertutup Saat Pengujian

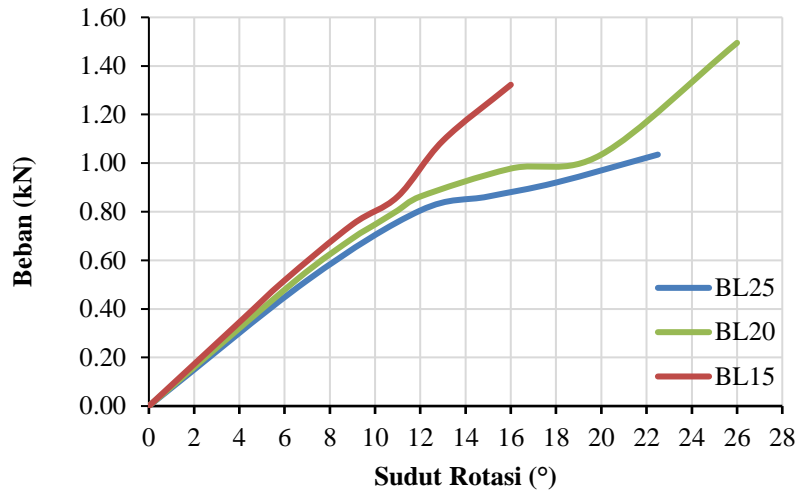
Spesimen	Benda Uji	Beban (kN)	Beban Rerata (kN)	Defleksi Horizontal (mm)	Defleksi Vertikal (mm)	σ Uji (MPa)
B81-15	B151	2,93	3,23	1,27	2,47	413
	B152	3,04		2,22	1,80	
	B153	3,73		4,44	4,00	
B81-20	B201	3,27	3,21	7,10	4,55	396
	B202	3,22		5,10	5,32	
	B203	3,16		3,87	1,12	
B81-25	B251	2,84	2,84	6,30	9,25	391
	B252	2,99		6,85	5,52	
	B253	2,76		6,91	2,96	

Dalam Tabel 2 menunjukkan bahwa terjadi penurunan beban Ketika bentang specimen semakin panjang. Dimana beban rerata maksimum ditunjukkan oleh balok baja dengan bentang 1500 mm sebesar 3,23 kN, sedangkan beban rerata minimum ditunjukkan oleh balok baja dengan bentang 2500 mm sebesar 2,84 kN.

Perbandingan beban terhadap defleksi terbesar terjadi pada benda uji yang memiliki bentang paling panjang, benda uji dengan panjang 2500 mm memiliki nilai defleksi horizontal dan vertikal yang besar terhadap beban yang terjadi pada benda uji tersebut, sedangkan benda uji dengan bentang 1500 mm memiliki nilai defleksi horizontal dan vertikal yang relatif kecil terhadap beban yang terjadi pada benda uji tersebut. Nilai tegangan uji didapat dari nilai regangan yang diperoleh dari *strain gauge* yang dipasang pada benda uji, dimana nilai regangan ($\mu\epsilon$) diubah menjadi (ϵ) kemudian dibagi dengan modulus elastisitas benda uji tersebut. Tegangan maksimum yang terjadi pada pengujian adalah pada benda uji dengan bentang 1500 mm sebesar 413 MPa dan yang terendah adalah pada benda uji dengan bentang 2500 mm sebesar 391 mm. dimana nilai ini belum mencapai nilai tegangan leleh dari material baja canai dingin tersebut sebesar 550 MPa, sehingga seluruh benda uji masih dalam kondisi elastik.



Gambar 8. Grafik Beban-Sudut Rotasi Pada Pengujian

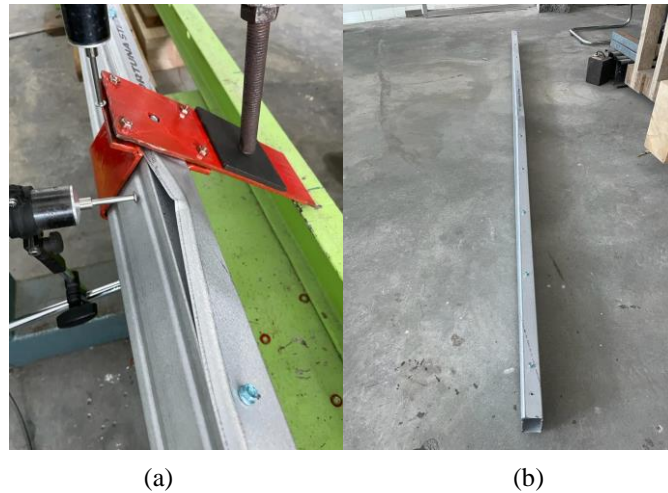


Gambar 9. Grafik Beban-Sudut Rotasi Baja Canai Dingin Penampang Terbuka (Haruni A, 2023)

Pada Gambar 8 menunjukkan nilai sudut rotasi yang terjadi pada benda uji. Pada beban yang sama sudut rotasi yang diperoleh adalah dengan beban 3 kN, benda uji dengan bentang 2500 mm memiliki nilai sudut rotasi terbesar yakni 26° , sedangkan benda uji dengan bentang 1500 mm memiliki nilai sudut rotasi terkecil sebesar $17,3^\circ$. Hal ini membuktikan bahwa bentang benda uji mempengaruhi kapasitas spesimen. Semakin kecil bentang balok yang digunakan, maka semakin besar kapasitas balok. Penelitian Wan dkk (2021) menunjukkan bahwa panjang bentang pada penampang kanal tunggal dapat mempengaruhi kapasitas komponen.

Pada Gambar 8 dan Gambar 9 menunjukkan dimana grafik beban terhadap sudut rotasi baja canai dingin dengan penampang terbuka dari pengujian yang dilakukan oleh Haruni A (2023) memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan baja canai dingin dengan penampang tertutup. Dengan bentang dan skema pengujian yang sama, pada bentang 1500 mm dengan beban yang sama sebesar 1,3 kN penampang terbuka memiliki nilai sudut rotasi sebesar 16° dan penampang tertutup sebesar $7,3^\circ$, pada bentang 2000 mm dengan beban yang sama sebesar 1,5 kN penampang terbuka memiliki nilai sudut rotasi sebesar 26° dan penampang tertutup sebesar $11,1^\circ$, pada bentang 2500 mm dengan beban yang sama sebesar 1,035 kN penampang terbuka memiliki nilai sudut rotasi sebesar $22,5^\circ$ dan penampang tertutup sebesar $10,4^\circ$ hal ini membuktikan bahwasanya baja canai dingin dengan penampang tertutup memiliki kekakuan yang lebih tinggi dari penampang terbuka.

Mode kegagalan spesimen diamati ketika spesimen balok mencapai beban maksimum. Kegagalan didominasi oleh tekuk torsi dan tekuk lokal yang terjadi di bagian sayap sebelum mencapai tegangan leleh. Tekuk torsi hanya terjadi saat beban masih diaplikasikan. Ketika beban dihentikan dan sudah tidak diaplikasikan, maka penampang akan kembali seperti awal dikarenakan benda uji masih dalam kondisi elastis, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 10. Mode Kegagalan Benda Uji Dengan Terjadinya Tekuk Lokal (a) dan Kondisi Benda Masih dalam Keadaan Elastis Setelah Dilakukan Pengujian (b).

4 KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa terjadi penurunan beban ketika bentang spesimen semakin panjang. Dimana beban rerata maksimum ditunjukkan oleh balok baja dengan bentang 1500 mm sebesar 3,23 kN, sedangkan beban rerata minimum ditunjukkan oleh balok baja dengan bentang 2500 mm sebesar 2,84 kN. Benda uji dengan panjang 2500 mm memiliki nilai defleksi horizontal dan vertikal yang besar terhadap beban yang terjadi pada benda uji tersebut, sedangkan benda uji dengan bentang 1500 memiliki nilai defleksi horizontal dan vertikal yang relatif kecil terhadap beban yang terjadi pada benda uji tersebut. Tegangan maksimum yang terjadi pada pengujian adalah pada benda uji dengan bentang 1500 mm sebesar 413 MPa dan yang terendah adalah pada benda uji dengan bentang 2500 mm sebesar 391 MPa. dimana nilai ini belum mencapai nilai tegangan leleh dari material baja canai dingin tersebut sebesar 550 MPa, sehingga seluruh benda uji masih dalam kondisi elastik

REFERENSI

- Awaludin, A., Y Adiyuano and F A Mursyid. (2020). RISBARI: an alternative house model for the 2018 Lombok earthquake affected people. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 849 012069.
- Dewobroto, W. (2016). Struktur Baja: Perilaku, Analisis & Desain – AISC 2010 EDISI ke-2. Tangerang: Jurusan Teknik Sipil UPH.
- Haruni, A. (2023) Perilaku Torsi Pada Balok Baja Canai Dingin Profil Terbuka Kanal Ganda. Yogyakarta, Universitas Gadjah Mada
- Selvaraj, S., & Madhavan, M. (2019). Structural design of cold-formed steel face- to-face connected built-up beams using direct strength method. Journal of Constructional Steel Research, 160, 613–628.
- Wan, H. X., Huang, B., & Mahendran, M. (2021). Experiments and numerical modelling of coldformed steel beams under bending and torsion. Thin-Walled Structures, 161(November 2020), 107424. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.107424>
- Wang, L., & Young, B. (2016). Behavior of Cold-Formed Steel Built-Up Sections with Intermediate Stiffeners under Bending. II: Parametric Study and Design. Journal of Structural Engineering (United States), 142(3), 1–11.
- Wang, L., & Young, B. (2018). Behaviour and design of cold-formed steel built- up section beams with different screw arrangements. Thin-Walled Structures, 131, 16–32.
- Yasinta, M. (2021) Pengaruh Jarak Sekrup Terhadap Kapasitas dan Perilaku Penampang Tersusun Box (*Closed Section*) Baja Canai Dingin. MEDIA KOMUNIKASI TEKNIK SIPIL, doi: mkts.v22i2.12871