

EKSPERIMENTAL MOMEN-LENDUTAN BALOK KANTILEVER BAJA CANAI DINGIN DENGAN VARIASI JUMLAH SEKRUP

Nindyawati¹, I Gede Agung Shri Parta², Adjib Karjanto³, Wahyu Hendarto Yoh⁴

¹ Universitas Negeri Malang, nindyawati.ft@um.ac.id

² Universitas Negeri Malang, alumni Departemen Teknik Sipil

Abstrak: Momen lentur dan lendutan pada struktur baja canai dingin erat kaitannya dengan model sambungan yang dipergunakan. Sambungan yang termasuk klasifikasi flexible dan semi-rigid didapatkan dari pengamatan yang dilakukan. Pada paper ini karakteristik dari variasi sambungan dan pengaruhnya diamati dengan metode eksperimental menggunakan benda uji single profile yang dimodelkan sebagai balok kantilever. Hasil studi menunjukkan bahwa penambahan jumlah sekrup turut meningkatkan momen lentur maksimum yang dapat diterima struktur. Akan tetapi hasil analitis dan hasil eksperimen menunjukkan ketidaksesuaian di mana struktur masih belum dapat menerima beban secara optimal.

Kata-kata kunci: sambungan, kapasitas lentur, momen lentur, lendutan

Abstract: Bending moments and deflections in cold rolled steel structures are closely related to the connection model used. Connections that are classified as flexible and semi-rigid are obtained from observations made. In this paper, the characteristics of connection variations and their effects are observed by experimental method using a single profile specimen which is modeled as a cantilever beam. The results of the study show that increasing the number of screws also increases the maximum acceptable bending moment of the structure. However, the analytical results and experimental results show a discrepancy where the structure is still not able to accept the load optimally.

Keywords: connection, flexural capacity, bending moment, deflection

1. PENDAHULUAN

Baja canai dingin (cold-formed steel) telah menjadi material alternatif pengganti kayu ataupun baja hot-rolled pada struktur rangka atap maupun truss pada umumnya. Kini bahkan baja canai dingin telah umum digunakan sebagai komponen struktural seperti balok dan kolom. Dengan material yang bisa mencapai tegangan leleh hingga 550 MPa, maka baja canai dingin memiliki tegangan leleh yang lebih tinggi daripada baja konvensional Pangaribuan (2014). Selain itu profil baja canai dingin juga dilapisi dengan galvanis untuk meningkatkan ketahanan material dan praktis membuat material tahan terhadap karat (Al-Jabri;2006). Prosentase berat kuda-kuda baja ringan terhadap kayu yang menggunakan genteng keramik bentang 6 m dan 12 m mencapai 79,66% dan 78,46% (Oktarina; 2015)

Bentuk profil baja yang telah banyak digunakan dan mudah ditemui di pasaran adalah bentuk profil terbuka salah satunya profil kanal C sebagai komponen struktur utama dan profil A sebagai reng pada struktur atap. Metode perakitan baja canai dingin menggunakan sekrup dengan tipe self-drilling screw sebagai alat sambung. Sambungan ini merupakan jenis

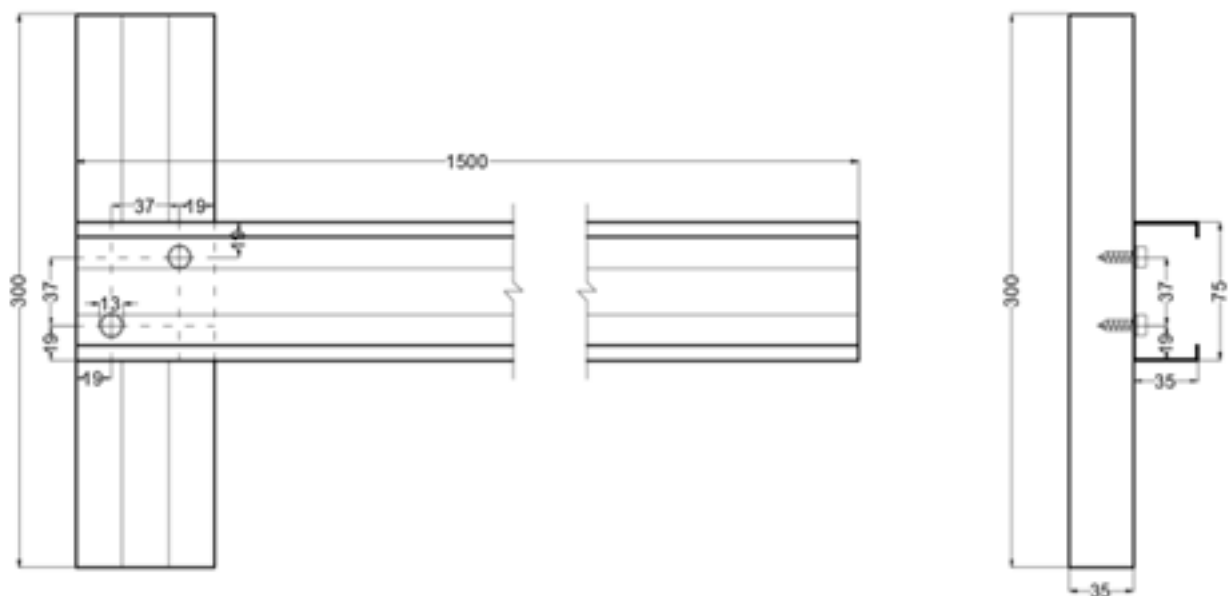
sambungan yang disarankan untuk profil baja canai dingin dengan ketebalan ≤ 3 mm (SNI 7971-2013). Komponen sambungan sekrup akan menerima gaya geser, tarik, tilting, maupun tumpu lubang tergantung dari konfigurasi dan letak pemasangannya (Aziz ; 2019).

Studi tentang perilaku maupun kapasitas sambungan baja canai dingin telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Chung (1999) telah meneliti perilaku sambungan balok kolom dengan baut pada baja canai dingin. Sejumlah konfigurasi sambungan dengan plat buhul dari baja konvensional dan baja canai dingin untuk mengakomodasi komponen struktur. Bibir profil ganda C disambung. Sambungan dengan empat baut menghasilkan 42% hingga 84% dari kapasitas momen struktur. Wong (2002) menyatakan jarak baut dari tepi profil dan konfigurasi baut merupakan faktor utama yang menentukan kegagalan pada sambungan.

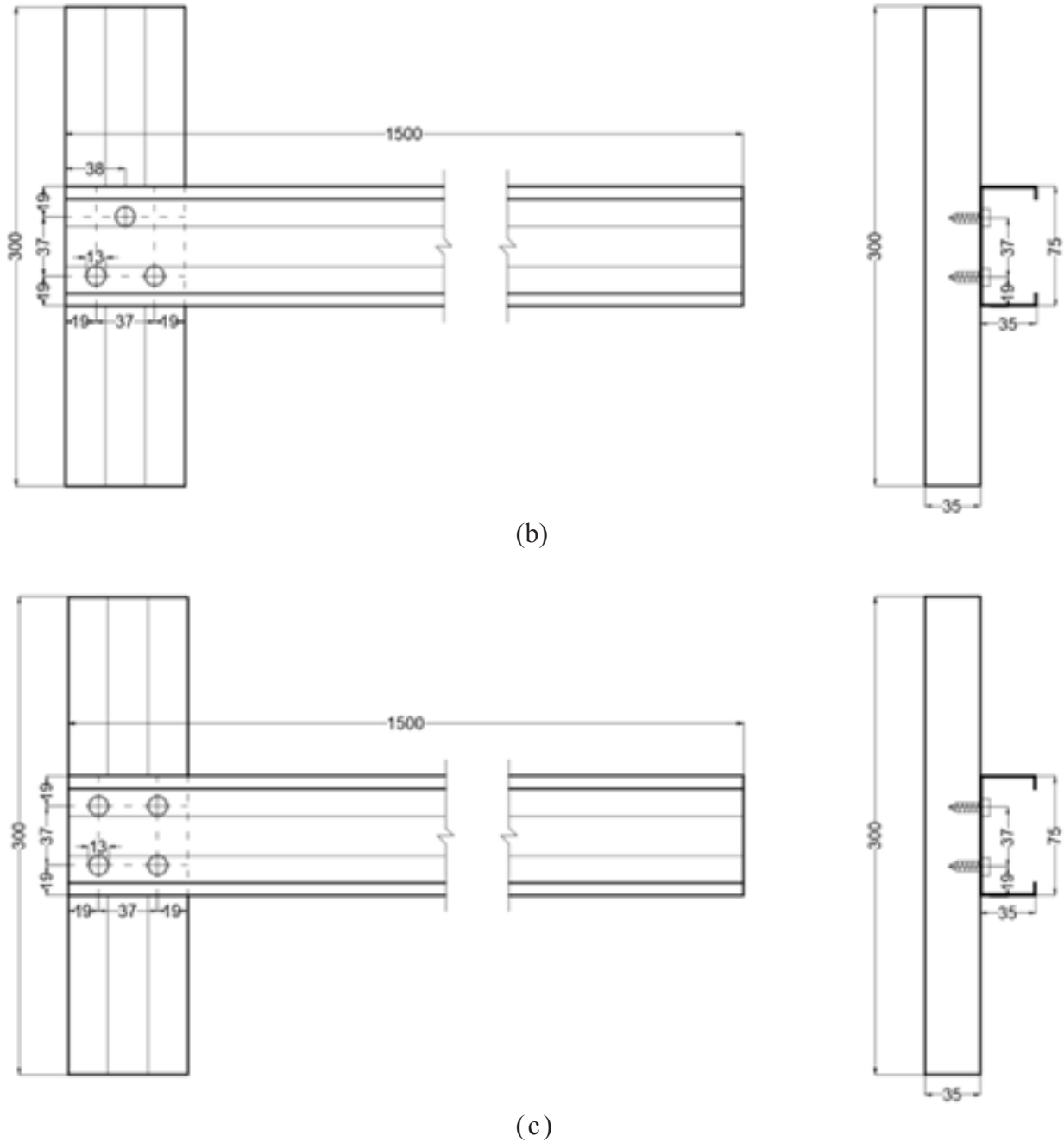
Penelitian ini akan membahas pengaruh jumlah sekrup terhadap kapasitas momen lentur sambungan dan lendutan. Untuk mengamati perilaku antara momen lentur dengan lendutan maka digunakan benda uji berupa profil tunggal C baja canai dingin. Kantilever yang disambung di join tumpuan dengan variasi sambungan menggunakan 2, 3, dan 4 sekrup. Beban yang diberikan adalah beban titik searah gravitasi di ujung balok kantilever. Dari pengujian ini diharapkan diperoleh perbedaan nilai kuat lentur dan lendutan yang terjadi pada ujung kantilever.

2. METODE

Pengujian kuat lentur dilakukan untuk mendapatkan data berupa beban ultimit (P_u) dan lendutan (Δ_c) serta model kerusakan yang terjadi pada daerah sambungan. Spesimen uji adalah dua penampang Kanal C 75.75 dengan tebal 0,75 mm dan mutu $f_y = 550$ MPa yang dirakit menjadi kantilever dan ditumpu pada batang vertikal.



(a)



Gambar 1. Benda Uji Dengan Variasi (a) 2 Sekrup (b) 3 Sekrup (c) 4 Sekrup

Panjang batang horizontal adalah 750 mm dan panjang batang vertikal yang berfungsi sebagai tumpuan adalah 300 mm. Alat sambung yang digunakan adalah self-driving screw dengan diameter nominal 8 mm. Jarak sekrup yang digunakan mengikuti standar SNI 7927 yaitu jarak sekrup dari tepi profil minimal $2D$ dan maksimal $6D$ dan jarak antar sekrup minimal $2D$. D adalah diameter sekrup yang digunakan. Jarak sekrup dari tepi profil yang digunakan minimal 16 mm, maksimal 48 mm dan jarak antar sekrup minimal 16 mm. Sekrup dipasang di punggung profil sehingga transfer gaya seluruhnya bekerja pada bagian badan profil Kanal C dan sesuai dengan peraturan.

Variasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu jumlah baut 2 buah, 3 buah, dan 4 buah. Setiap variasi dibuat benda uji sebanyak 5 buah benda uji, sehingga total benda uji adalah 15 benda uji. Pemodelan benda uji kantilever ditunjukkan pada Gambar 1. Benda uji dengan baut 2 dibuat tidak segaris sesuai dengan penelitian Pirmoz (2009) dan Prabha (2010) yang menyampaikan bahwa penempatan baut tidak segaris akan menghasilkan kuat Tarik yang lebih besar.

Menurut SNI 7971-2013 yang menyatakan kapasitas momen komponen struktur nominal (M_s) harus dihitung berdasarkan kondisi pelelehan awal pada penampang efektif atau berdasarkan kapasitas cadangan inelastik. Kapasitas momen (M_s) berdasarkan kondisi pelelehan awal dihitung sebagai berikut

$$M_s = Z_e f_y \quad (1)$$

Z_e adalah modulus penampang efektif yang dihitung pada serat tekan atau tarik terluar pada saat tegangan leleh. Tegangan leleh pada material baja canai dingin dinotasikan f_y . Daerah yang akan diberi beban adalah ujung kantilever sehingga momen rencana (M_s) yang harus dicapai saat pengujian kapasitas lentur sesuai persamaan (1). Momen hasil perhitungan analitis adalah sebesar $M_s = Z_e f_y = 2771,38 \times 550 = 1524256,47 \text{ Nmm} = 1524 \text{ kNmm}$. Momen yang terjadi pada balok baja dipengaruhi oleh panjang balok. Balok baja akan mengalami tiga macam kegagalan. Panjang yang kurang dari L_p akan melendut arah vertical saja, dan mengalami keruntuhan sampai material mengalami fase plastis. Bila panjang lebih dari L_p , maka sebelum mencapai momen maksimum balok akan mengalami kegagalan. Kegagalan karena dimensi balok rotasi dan melemah.

SNI 1729-2002 membatasi besarnya lendutan yang timbul pada balok berdasarkan beban yang dipikul. Lendutan maksimum untuk balok pemikul dinding atau bagian finishing yang getas adalah sebesar $L/360$, sedangkan untuk balok biasa (truss, gording, dll.) lendutan tidak boleh melebihi $L/240$ dimana L merupakan panjang bentang balok. Lendutan maksimum yang akan terjadi pada struktur sebelum struktur mengalami runtuh adalah sebesar 89,31 mm sesuai persamaan (2).

$$\sigma = \frac{PL^3}{3EI} \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{1270,21 \times 1500^3}{3(200000)(103926,6)} = 89,31 \text{ mm}$$

Gambar 2 menunjukkan alat load cell sebagai pemberi beban lentur pada balok kantilever dengan material CFS tunggal. Sebagai balok kantilever, satu sisi ujung balok dijepit dengan sekrup bervariasi jumlahnya. Dial dipasang di 3 tempat yaitu ujung, tengah dan tumpuan balok. Fungsi dial untuk merekam besar lendutan balok di 3 tempat tersebut. Di tumpuan diberi dial untuk mengetahui adanya pergerakan di daerah tumpuan. Tumpuan diharapkan tidak terjadi penurunan atau pergerakan yang berarti.



Gambar 2. Pengujian Balok Material CFS Tipe C

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian struktur kantilever akan menghasilkan data berupa beban (kN) dan lendutan (mm) seperti pada Gambar 2. Momen diperoleh dari data beban pembacaan data logger saat pengujian lentur. Data beban dan lendutan didapatkan dari pembacaan dial gauge setiap interval beban naik 0,0325 kN. Beban akan mengalami kenaikan hingga maksimum dan beberapa data menurun yang dicatat. Panjang balok tunggal profil C baja canai dingin adalah 750 mm. Momen adalah beban dikalikan panjang balok. Data hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Momen hasil Analisa akibat beban lentur

Kode	Jumlah sekrup	P maks (kN)	Momen (kN mm)	Momen rata-rata (kN cm)
K1-1		0,3575	268,125	
K1-1		0,2925	219,375	
K1-1	2	0,2275	170,625	209,625
K1-1		0,2275	170,625	
K1-1		0,2925	219,375	
K2-1		0,3900	292,500	
K2-1		0,3575	268,125	
K2-1	3	0,3900	292,500	307,125
K2-1		0,4550	341,250	
K2-1		0,4550	341,250	
K3-1		0,6825	511,875	
K3-1		0,7475	560,625	
K3-1	4	0,5850	438,750	526,500
K3-1		0,7475	560,625	
K3-1		0,7475	560,625	

Tabel 2. Momen Lendutan pada balok kantilever

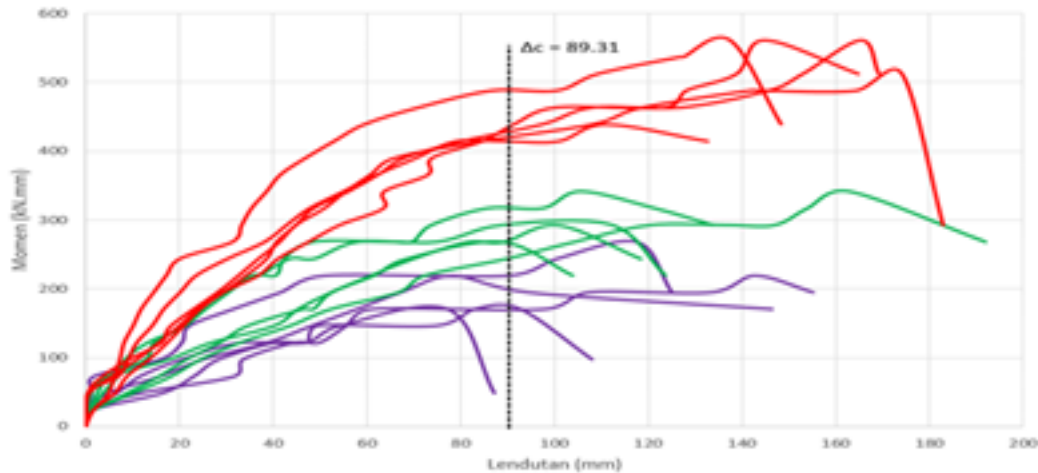
Kode	Jumlah sekrup	Momen (kN cm)	Lendutan (cm)	Lendutan rata-rata (cm)
K1-1		268,125	12,488	
K1-1		219,375	15,473	
K1-1	2	170,625	8,710	123,626
K1-1		170,625	10,798	
K1-1		219,375	14,644	
K2-1		292,500	11,835	
K2-1		268,125	10,387	
K2-1	3	292,500	12,370	134,342
K2-1		341,250	13,376	
K2-1		341,250	19,203	
K3-1		511,875	18,362	
K3-1		560,625	14,935	
K3-1	4	438,750	13,284	151,746
K3-1		560,625	16,559	
K3-1		560,625	12,733	

Momen ultimit rata-rata tertinggi yang dapat diterima oleh struktur kantilever sebelum runtuh sebesar 52,65 kN cm yang dimiliki oleh benda uji dengan 4 sekrup pada Tabel 2. Momen ultimit dengan rata-rata terendah sebesar 20,9625 kN cm dimiliki oleh benda uji dengan 2 sekrup. Momen ultimit dengan 4 sekrup yang terjadi (52,65 kN cm) yaitu hanya sebesar 34,54% dari momen rencana yang didapatkan dari analisis manual sebesar 152,425647 kN cm.

Tabel 3. Momen saat lendutan ijin

Kode	Jumlah sekrup	Momen (kN mm)	Lendutan (mm)	Momen saat lendutan perhitungan (kN mm)	Rasio rata-rata (5) : (3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
K1-1		268,125	124,880	219,375	
K1-1		219,375	154,730	170,625	
K1-1	2	170,625	87,100	170,625	185,250 : 209,625 = 88%
K1-1		170,625	107,980	170,625	
K1-1		219,375	146,440	195,000	
K2-1		292,500	118,350	268,125	
K2-1		268,125	103,870	268,125	
K2-1	3	292,500	123,700	292,500	277,875 : 307,125 = 90%
K2-1		341,250	133,760	316,875	
K2-1		341,250	192,030	243,750	
K3-1		511,875	183,620	414,375	
K3-1		560,625	149,350	487,500	
K3-1	4	438,750	132,840	414,375	433,875 : 526,500 = 82%
K3-1		560,625	165,590	414,375	
K3-1		560,625	127,330	438,750	

Lendutan rata-rata maksimum yang terjadi pada struktur kantilever sebelum mengalami runtuh sebesar 15,1746 cm dengan variasi benda uji 4 sekrup. Lendutan rata-rata maksimum yang terjadi sebesar 13,4342 cm untuk benda uji 3 sekrup. Tabel 3 menunjukkan lendutan atau defleksi maksimum yang terjadi dengan variasi jumlah sekrup. Lendutan yang terjadi melebihi perkiraan lendutan ijin manual sebesar 89,31 mm (SNI 7971-2013). Data beban yang didapatkan dari pengujian dikontrol terhadap lendutan hasil perhitungan. Beban yang terjadi pada saat lendutan ijin (Δc) = 89,31 mm ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan Momen dan Lendutan balok CFS

Jumlah sekrup mempengaruhi besar momen dan lendutan. Kekakuan sambungan akan naik bila jumlah sekrup meningkat. Menurut klasifikasi Eurocode (ANSI/AISC 360-10), sambungan baja dikelompokkan menjadi 3 tipe, fully restrained moment connection, partially restrained moment connection, dan simple shear connection. Berdasarkan klasifikasi yang ada, sambungan baja canai dingin menggunakan sekrup termasuk dalam single shear connection yang merupakan sambungan fleksibel. Piluso (2008) menyebutkan momen pada rotasi 0,02 rad dianggap sebagai kekuatan maksimum dari sambungan. Sambungan yang hanya mampu menerima $\leq 20\%$ dari momen plastis batang yang disambung, dianggap tidak memiliki kapasitas lentur yang memenuhi untuk analisis dan tidak memenuhi kapasitas struktur minimum secara general. Penelitian ini dengan jumlah sekrup 3 dan 4 sambungan telah menerima lebih dari 20% momen plastis pada Tabel 4. Sehingga dapat disimpulkan bahwa balok dengan sambungan sekrup lebih dari 3 akan memiliki kapasitas lentur yang memenuhi untuk dianalisis.

Pada penelitian ini sambungan mampu menahan momen saat lendutan ijin lebih dari 80 % dari momen maksimum (Gambar 3). Öztürk (2015) menyatakan dari hasil penelitiannya, bahwa jenis sambungan memiliki pengaruh yang besar terhadap kapasitas momen dan lendutan. Peningkatan kekakuan sambungan dapat dilakukan dengan memperbesar profil yang digunakan (Nadya; 2018). Menambah jumlah alat sambung dan ketebalan profil akan menambah kekakuan sambungan (Lim ;2004). Sesuai dengan hasil dalam penelitian ini bahwa penambahan jumlah alat sambung akan meningkatkan kapasitas momen dan lendutan (defleksi).

Tabel 4. Momen eksperimen dan Momen saat leleh persamaan (1) (1524 kN mm)

Kode (1)	Jumlah sekrup (2)	Momen (kN mm)	Momen rata-rata (kN mm)	Momen rata-rata : Momen leleh
K1-1		268,125		
K1-1		219,375		
K1-1	2	170,625	209,625	13,8 %
K1-1		170,625		
K1-1		219,375		
K2-1		292,500		
K2-1		268,125		
K2-1	3	292,500	307,125	20,2 %
K2-1		341,250		
K2-1		341,250		
K3-1		511,875		
K3-1		560,625		
K3-1	4	438,750	526,500	34,5 %
K3-1		560,625		
K3-1		560,625		

Berdasarkan nilai beban ultimit rata-rata dari setiap variasi maka dapat disimpulkan bahwa penambahan alat sambung meningkatkan kapasitas lentur sebelum struktur mengalami keruntuhan. Namun diamati juga pada eksperimen bahwa lendutan seluruh benda uji nilainya melebihi batas lendutan yang dihitung berdasarkan SNI 7971. Model struktur yang digunakan yaitu single profile kanal C75.75 tidak memiliki kapasitas struktural yang cukup untuk menahan. Struktur belum dapat mencapai beban yang dianalisa karena sambungan pada struktur berupa simple shear connection. Lendutan saat momen maksimum yang terjadi jauh melampaui batas ijin lendutan menurut SNI 7971-2013.

5. SIMPULAN

Struktur balok memiliki sambungan berupa simple shear connection. Hasil penelitian menunjukkan sambungan dengan sekrup 3 dan mampu menerima momen lentur dengan baik. Lendutan yang terjadi saat beban maksimum melebihi lendutan ijin. Kekakuan sambungan perlu ditingkatkan antara lain dengan cara memperbesar dimensi profil, mengubah konfigurasi sambungan, menggunakan metode sambungan jenis lain, atau memasang batang pengaku tambahan.

6. DAFTAR PUSTAKA

American, A., & Standard, N. (2010). for Structural Steel Buildings. Al-Jabri KS, Seibi A, Karrech A. (2006) Modelling of unstiffened flush end-plate bolted connections in fire. Journal of Constructional Steel Research;62:151–9.

- Aziz, A. A., Nindyawati, N., & Karyadi, K. (2019). Tensile test analysis of cold-formed column in channel profile. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 669(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/669/1/012049>
- Badan Standarisasi Nasional. SNI 7971:2013, Struktur Baja Canai Dingin. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Chung, K.F., Lau, L. (1999) Experimental investigation on bolted moment connections among cold formed steel members. *Eng. Struct.* 21(10), 898–911
- Lim, J.B.P., Nethercot, D.A. (2004) Stiffness prediction for bolted moment connections between cold-formed steel members. *J. Constr. Steel Res.* 60, 85–107
- Nadya, R. U. K., & Usman, F. (2018). Bolted connection of cold-formed steel section - A review. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13, 4737–4745.
- Oktarina, Devi, Agus Dermawan. (2015) Analisa Perbandingan Rangka Atap Baja Ringan dan Rangka Atap Kayu dari Segi Analisis Struktur dan Anggaran Biaya. *Jurnal Konstruksia 7* (Nomor 1 Desember): 27–36.
- Öztürk, F., Pul, S.: Experimental and numerical study on a full scale apex connection of cold-formed steel portal frames. *Thin-Walled Struct.* 94, 79–88 (2015)
- Pangaribuan (2014) Baja Ringan Sebagai Pengganti Kayu dalam Pembuatan Rangka Atap Bangunan Rumah Masyarakat. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. Vol 2, No. 4 2014
- Piluso V, Rizzano G. (2008) Experimental analysis and modelling of bolted T-stubs under cyclic loads. *Journal of Constructional Steel Research*;64(6): 655–69.
- Pirmoz A, Seyed Khoei A, Mohammadrezapour E, Saedi Daryan A. (2009) Moment–rotation behaviour of bolted top-seat angle connections. *Journal of Constructional Steel Research* 2009;65(4):973–84.
- Prabha P, Marimuthu V, Saravanan M, Jayachandran SA. (2010) Evaluation of connection flexibility in cold formed steel racks. *Journal of Constructional Steel Research*;66(7):863–72.
- Wong, M.F., Chung, K.F. (2002) Structural behaviour of bolted moment connections in cold-formed steel beam-column sub-frames. *J. Constr. Steel Res.* 58(2), 253–274

