

STUDI EKSPERIMENTAL PERILAKU SAMBUNGAN DENGAN ALAT SAMBUNG SEKRUP PADA ELEMEN STRUKTUR BAJA RINGAN

Sabril Haris¹ dan Hazmal Herman²

^{1,2} Universitas Andalas, Padang, Indonesia
sabril_haris_hg@ft.unand.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan teknologi bahan konstruksi saat ini menunjukkan kecenderungan penggunaan material yang semakin efisien sesuai dengan kebutuhan. Salah satunya adalah penggunaan material baja ringan sebagai elemen struktur dalam konstruksi bangunan. Dalam perakitan elemen struktur menjadi satu kesatuan, sistem sambungan pada konstruksi baja ringan mempunyai peranan yang sangat penting. Paper ini membahas hasil studi eksperimental sambungan pada elemen struktur baja ringan dengan menggunakan alat sambung sekrup. Profil baja ringan yang digunakan dalam penelitian ini adalah profil berbentuk kanal dengan ukuran 75 x 35 mm dengan ketebalan 0,75 mm. Karakteristik material diperoleh melalui uji tarik dengan mengacu kepada Annual Book of ASTM Standars 1991 Section 3. Perilaku sambungan diamati untuk 4 spesimen benda uji yang disambung pada kedua bagian sayap penampang kanal dengan konfigurasi sambungan sejajar satu baris. Dengan menggunakan *Universal Testing Machine*, beban aksial tarik diberikan secara bertahap kepada spesimen sampai tercapai kondisi ultimate. Dari hasil pengujian terlihat bahwa kegagalan sambungan disebabkan oleh terjadinya kerusakan pada lubang sambungan sehingga alat sambung sekrup berotasi pada bidang gaya tarik. Pola kegagalan sambungan ini merujuk pada salah satu jenis kegagalan 'tilting' yang didefinisikan oleh Peraturan Baja Ringan AS/NZS 4600:2005 dan SNI Baja Canai Dingin 2013. Nilai beban ultimate yang diperoleh dari hasil eksperimental menunjukkan kesesuaian dengan formula analitik yang ada pada peraturan baja ringan dengan rata-rata perbedaan hasil sebesar 7,8 %.

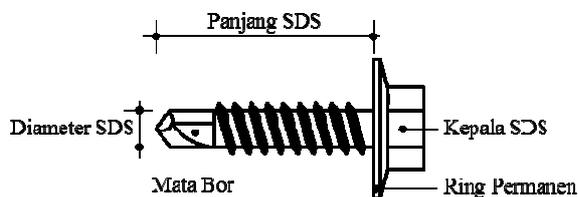
Kata kunci: *baja ringan, beban ultimate, sambungan, sekrup*

1. PENDAHULUAN

Penggunaan material baja ringan (*light gauge steel*) telah menjadi alternatif pengganti material kayu pada konstruksi atap bentang pendek, misal pada bangunan rumah tinggal, dan pengganti material baja biasa pada struktur atap dengan bentang yang lebih panjang. Dengan kekuatan material yang bisa mencapai tegangan leleh nominal 550 MPa, profil baja ringan bisa didesain dengan ketebalan penampang yang relatif tipis (0,6 - 2 mm) sehingga tercapai kapasitas penampang yang optimum. Profil baja ringan dibentuk melalui proses pembentukan dingin (*cold forming processes*) dimana lembaran baja dibentuk menjadi profil berpenampang terbuka dengan mesin rol (*rolling press machine*) atau mesin tekuk pelat (*bending brake machine*) pada suhu ruangan (Yu, 2000).

Sejauh ini, bentuk profil penampang terbuka yang banyak digunakan adalah Profil Kanal C sebagai elemen struktur utama dan Profil A sebagai reng pada atap. Dalam perakitan dan pemasangannya, penampang terbuka Profil Kanal C dapat disambung dengan menempelkan bagian badan dua buah profil atau disambung pada bagian sayap dengan memberikan kanal penyambung. Untuk komponen sambungan, sekrup (*self drilling screw*) merupakan alat sambung yang umum digunakan. Sekrup merupakan alat sambung sekali pakai yang dapat dipasangkan secara langsung kepada penampang yang disambung. Bagian ujung sekrup berupa mata bor yang berfungsi untuk menembus profil baja ringan; bagian badan sekrup merupakan bagian berulir yang berfungsi sama dengan ulir pada baut. Pada bagian kepala sekrup ditambahkan ring yang menempel secara permanen (Gambar 1). Penggunaan sekrup sangat praktis karena pemboran dan pengencangan dapat dilakukan secara bersamaan. Kekuatan sambungan dengan sekrup sangat ditentukan

oleh pengencangan sekrup dan tahanan antara bidang ulir sekrup dengan lubang penampang. Jika bidang ulir sekrup sudah aus atau lubang penampang membesar, maka akan terjadi kegagalan pada sambungan tersebut akibat hilangnya tahanan antara ulir sekrup dan lubang. Agustinus (2011) menyarankan penambahan sekrup dari jumlah yang dibutuhkan untuk mengantisipasi kegagalan sambungan.



Gambar 1. Detail Alat Sambung Sekrup *Self Drilling Screw* (SDS)

Studi tentang perilaku sambungan sekrup pada struktur baja ringan telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Firmansyah (2014) melakukan penelitian kekuatan sambungan untuk beberapa jenis sekrup. Dua buah profil kanal disambung dengan cara menempelkan bagian badan penampang menggunakan 3 buah sekrup yang disusun secara zig-zag. Anggara (2014) telah meneliti tentang batas jarak tepi *screw* yang optimal dilihat dari jarak spasi *screw* dan jarak *screw* ke tepi serta pengaruh jarak terhadap kekuatan sambungan. Francka dan La Boube (2010) meneliti sambungan sekrup jika dibebani gaya tarik dan geser secara bersamaan. Persamaan interaksi untuk pemeriksaan kekuatan sambungan diusulkan dengan parameter ketebalan pelat, diameter baut, dan tegangan ultimate material. Sementara, Setiyarto (2012a, 2012 b) telah meneliti penggunaan sekrup pada sambungan momen sebidang. Meskipun gaya yang bekerja berupa momen sebidang, sebagian besar sekrup mengalami rotasi dan tertarik keluar bidang sambungan. Sekrup yang memiliki eksentrisitas besar terhadap pusat sambungan dan berlokasi dekat dengan beban memiliki potensi putus yang lebih besar. Kondisi ini menyebabkan terjadinya penurunan kekuatan sambungan yang signifikan.

Peraturan Baja Ringan Australia dan Selandia Baru AS/NZS 4600:2005 yang diadopsi menjadi SNI Baja Canai Dingin 2013 memaparkan bahwa ragam kegagalan sambungan dengan menggunakan sekrup terdiri dari: kegagalan jungkit (*tilting*), keruntuhan tumpu lubang (*hole-bearing*), keruntuhan sobek (*tear-out*), keruntuhan geser (*shear*), dan keruntuhan *pull-out/pull-over*. Ragam keruntuhan ini ditentukan oleh karakteristik material sekrup dan profil yang disambung.

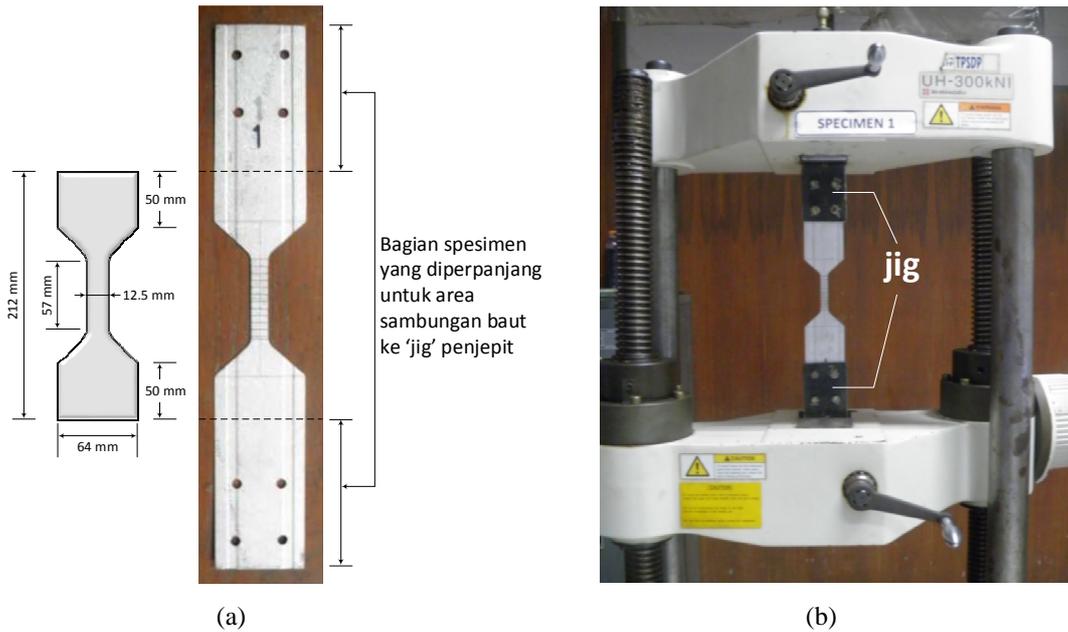
Paper ini membahas hasil penelitian eksperimental perilaku sambungan profil baja ringan yang menggunakan alat sambung sekrup. Pengujian dilakukan untuk material baja ringan dan sekrup yang umum digunakan di daerah Sumatera Barat. Model yang diteliti adalah sambungan pada bagian sayap profil Kanal C dengan masing-masing sayap terdapat 1 buah sekrup. Tipe sambungan seperti ini banyak digunakan terutama untuk menyambung dua buah profil yang disusun secara sejajar. Dari pengujian eksperimental ini diharapkan diperoleh tipikal keruntuhan sambungan sekrup dan besar gaya yang mampu dipikul oleh sambungan. Hasil eksperimental selanjutnya dibandingkan dengan ketentuan dan formulasi yang ada dalam peraturan.

2. METODOLOGI

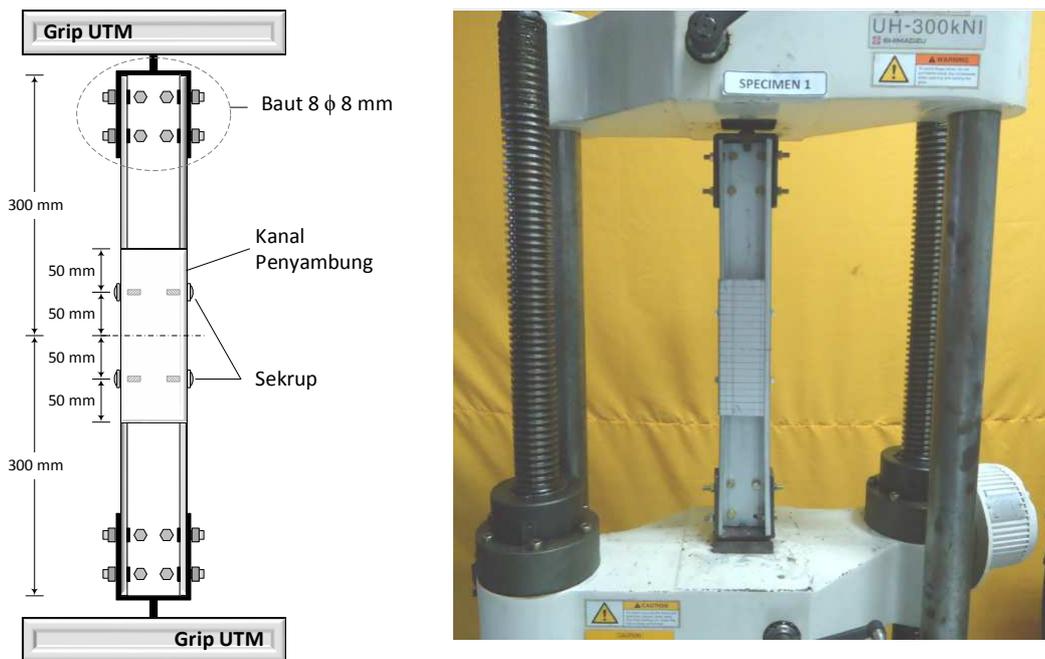
Uji Tarik Material

Uji tarik material dilakukan untuk mendapatkan karakteristik utama material baja ringan, yaitu modulus elastisitas (E), tegangan leleh (f_y), dan tegangan putus (f_u). Dari uji tarik material ini juga akan diketahui apakah material baja ringan berperilaku duktail atau getas. Spesimen dan pengujian mengacu kepada *Annual Book of ASTM Standards: Metal Test methods and Analytical Procedures*, Section 3 (1991). Spesimen uji tarik diambil dari bagian badan profil Kanal C 75x35 yang mempunyai ketebalan nominal 0.75 mm. Untuk menghindari terjadinya slip pada saat uji tarik dengan penjepitan langsung ujung spesimen, bentuk dan ukuran spesimen dimodifikasi dengan cara memperlebar dan memperpanjang kedua ujung spesimen sebagai area untuk sambungan baut. Bagian untuk sambungan baut ini selanjutnya dihubungkan dengan *jig* penjepit yang menjadi media antara spesimen dan alat uji tarik. Bentuk dan dimensi spesimen uji tarik material diberikan pada Gambar 2.

Pengujian tarik dilakukan dengan memberikan beban statik yang meningkat secara bertahap dengan kecepatan 1 mm per menit sampai terjadi kondisi putus pada spesimen. Jumlah spesimen yang diuji sebanyak 6 buah yang berasal dari 3 buah batang baja ringan yang berbeda: Batang-1, Batang-2 dan Batang-3.



Gambar 2. Uji Tarik Material: (a) Detail spesimen, (b) Spesimen terpasang pada alat uji tarik UTM



Gambar 3. Uji Tarik Sambungan: (a) Detail spesimen, (b) Spesimen terpasang pada alat uji tarik UTM

Uji Tarik Sambungan

Spesimen untuk uji tarik sambungan adalah dua buah penampang Kanal C 75x35x0.75 dengan panjang masing-masing 300 mm yang disusun secara seri dan dihubungkan melalui kanal penyambung sepanjang 200 mm (Gambar 3). Penampang yang disambung dan kanal penyambung ditempatkan berhadapan-hadapan sehingga kedua bagian sayap saling berhimpit. Alat sambung sekrup berdiameter nominal 5 mm ditempatkan pada masing-masing bagian sayap kanal dengan jarak tepi sekrup 50 mm. Dengan demikian, transfer gaya pada sambungan antar profil hanya terjadi pada bagian sayap saja; gaya yang bekerja pada satu bagian sayap adalah setengah dari total gaya yang berkerja dalam pengujian tarik.

Pada kedua bagian ujung spesimen, dipasang 'jig' yang menghubungkan spesimen dengan alat uji tarik. Spesimen disatukan dengan 'jig' pada daerah sayap dan badan penampang kanal sehingga diharapkan masalah eksentrisitas gaya tidak terjadi selama proses pengujian. Kapasitas sambungan pada daerah ini

didesain lebih dari sepuluh kali kapasitas sambungan pada daerah yang menjadi objek tinjauan, yaitu sambungan antar penampang kanal pada bagian sayap yang menggunakan sekrup. Dengan demikian, kegagalan spesimen secara keseluruhan memang terjadi pada daerah yang direncanakan.

Jumlah spesimen yang diuji adalah 4 buah dengan konfigurasi sambungan yang identik. Spesimen 1 dan 2 menggunakan Material Batang-1, Spesimen 3 menggunakan Material Batang-2, dan Spesimen 4 menggunakan Material Batang-3. Kecepatan pembebanan dalam pengujian tarik sambungan adalah 1 mm/menit untuk spesimen pertama dan 2 mm/menit untuk 3 spesimen berikutnya. Beban diberikan secara statik monotonik yang meningkat secara bertahap. Selama proses pengujian, kurva beban-perpindahan dengan kondisi *real-time* dapat dimonitor secara langsung. Pola yang tergambar pada kurva beban-perpindahan tersebut menjadi dasar penentuan penghentian proses pengujian tarik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Material Hasil Uji Tarik

Ragam kegagalan material yang terjadi pada semua spesimen uji tarik menunjukkan hasil yang sama bahwa kondisi putus terjadi secara tiba-tiba tanpa didahului oleh pertambahan signifikan panjang spesimen yang bisa dilihat secara kasat mata. Rata-rata pertambahan panjang yang diukur secara eksak dari panjang spesimen pasca tarik adalah $\Delta = 2.92$ mm. Pada bagian yang terputus juga tidak terjadi pengurangan luas penampang (*necking*) seperti yang ditemui pada uji tarik material daktail.

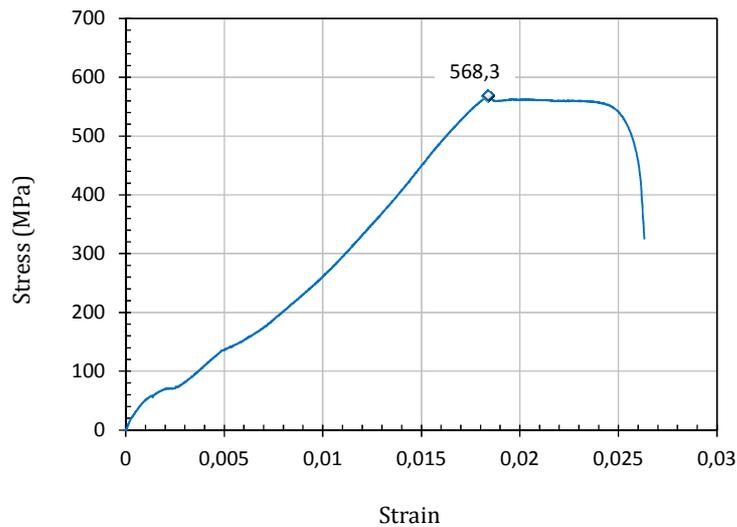
Kurva tegangan-regangan material yang diperoleh dari hasil pengujian tarik semua spesimen menunjukkan pola kurva yang sama. Seperti terlihat pada Gambar 4, pada awal pembebanan tegangan dan regangan meningkat hampir secara linear sampai dengan nilai tegangan 568,3 Mpa; tegangan ini bisa diambil sebagai nilai tegangan leleh material (f_y). Selanjutnya, nilai regangan bertambah pada nilai tegangan yang relatif sama sampai terjadi kondisi putus spesimen. Nilai tegangan terbesar (f_u) dicapai pada kondisi yang sama dengan nilai tegangan lelehnya. Untuk spesimen ini dengan nilai tegangan leleh $f_y = 568,3$ MPa telah memenuhi nilai tegangan leleh minimum 550 MPa yang dipersyaratkan untuk standar material baja ringan sesuai SNI Baja Canai Dingin 2013. Dalam peraturan ini juga ditetapkan bahwa nilai tegangan ultimate (f_u) adalah sama dengan nilai tegangan leleh (f_y) jika mutu baja minimal 550 MPa terpenuhi.

Untuk modulus elastisitas material (E), hasil uji tarik menunjukkan nilai yang lebih rendah dari standar yang ditetapkan oleh SNI Baja Canai Dingin 2013, yaitu $E=200.000$ MPa. Salah satu dugaan penyebab diperolehnya hasil yang demikian adalah masih terjadinya slip selama proses penarikan, ditandai dengan perbedaan nilai perpindahan maksimum dari data uji tarik dengan nilai panjang spesimen yang diukur pasca pengujian. Oleh karena itu, untuk melengkapi hasil uji tarik dalam penelitian ini, hasil uji lentur yang dilakukan oleh Prasetyo (2015) dengan menggunakan material baja ringan yang sama, dijadikan sebagai data pendukung dalam penentuan nilai modulus elastisitas material (E); hasil yang diperoleh mendekati nilai modulus elastisitas standar yang ditetapkan pada peraturan. Rekapitulasi hasil uji tarik material dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Material Hasil Uji Tarik

Identifikasi Spesimen	Material	f_y (MPa)	f_u (MPa)	E^* (MPa)	Δ -max (mm)
Spesimen Tarik-1	Batang-1	541,2	541,2	185 000	2,5
Spesimen Tarik-2	Batang-1	563,2	563,2	185 000	3,0
Spesimen Tarik-3	Batang-2	582,8	582,8	185 000	4,5
Spesimen Tarik-4	Batang-2	470,4	470,4	185 000	4,5
Spesimen Tarik-5	Batang-3	581,9	581,9	180 000	1,5
Spesimen Tarik-6	Batang-3	568,3	568,3	180 000	1,5

*) diperoleh dari data Uji Lentur untuk material yang sama oleh Prasetyo (2015)

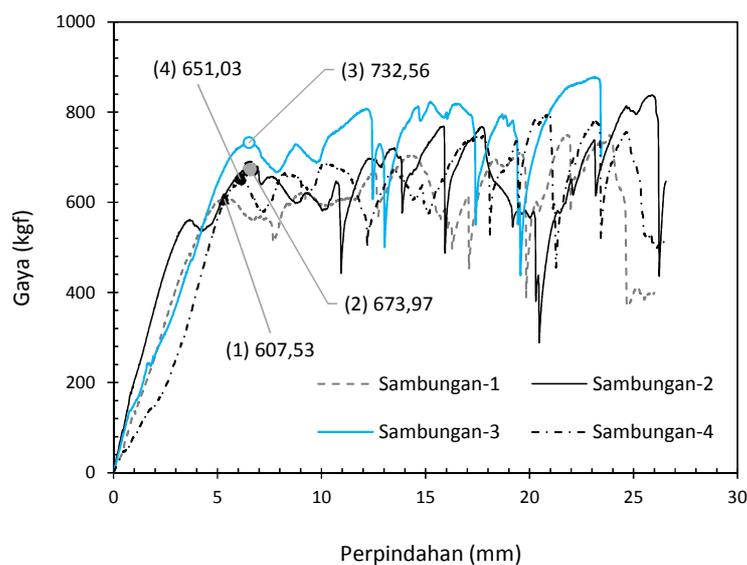


Gambar 4. Hasil Uji Tarik Material Untuk Spesimen Tarik-6

Perilaku Sambungan

Kurva beban-perpindahan untuk 4 spesimen diberikan pada **Gambar 5**. Secara umum pada awal pembebanan diperoleh hubungan yang hampir linear antara beban dan perpindahan. Tidak ada perubahan yang signifikan terjadi pada spesimen termasuk di daerah sekitar sambungan. Posisi sekrup hanya bergeser sedikit dari posisi awal, tetapi masih tegak lurus terhadap bidang sambungan.

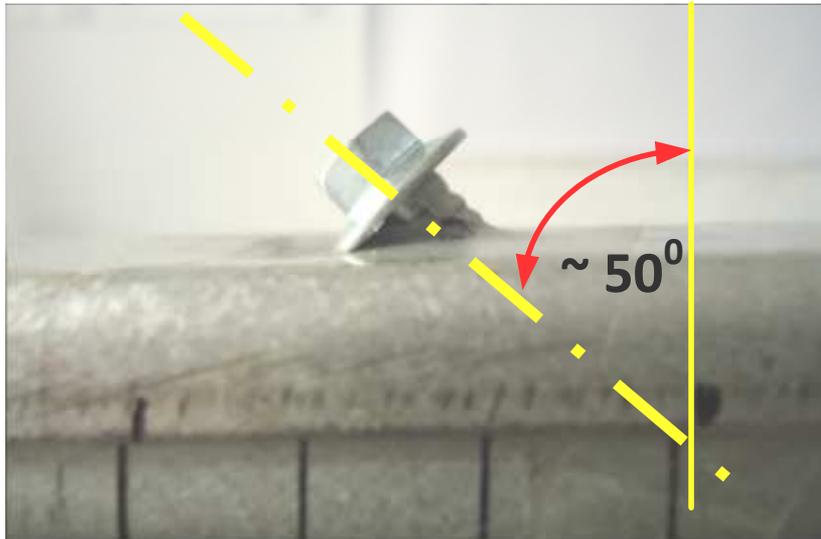
Pada saat nilai perpindahan sekitar 6 mm, sekrup mulai berotasi dalam bidang gaya tarik (*tilting*) mengikuti arah pembebanan. Pola hubungan beban-perpindahan mulai berubah ditandai dicapainya puncak gaya pertama yang dapat dipikul oleh spesimen. Setelah beban puncak pertama dilewati, besar gaya berfluktuasi dalam kisaran yang tidak berbeda jauh dengan nilai beban puncak pertama sampai terjadi penurunan gaya secara tiba-tiba. Setelah penurunan yang tiba-tiba ini, spesimen kembali mengalami kemampuan untuk memikul beban yang terlihat dari peningkatan beban pada kurva beban perpindahan. Setelah mengalami fluktuasi gaya untuk pertambahan perpindahan tertentu, kembali terjadi lagi penurunan gaya secara tiba-tiba. Pola ini terjadi berulang sampai proses pembebanan dihentikan. Besar gaya ultimate yang terjadi pada setiap siklus relatif hampir sama dengan nilai gaya pada saat mulai terjadinya rotasi sekrup.



Gambar 5. Kurva Beban-Perpindahan Hasil Uji Tarik Sambungan

Dari pengamatan terlihat bahwa setelah sekrup mulai berotasi (mengalami *tilting*), lubang sekrup juga turut bertambah besar seiring dengan pertambahan sudut rotasi sekrup. Peningkatan besar gaya yang bisa dipikul spesimen setiap beban puncak terlewati adalah disumbangkan oleh tahanan yang terjadi antara ulir sekrup dengan profil kanal. Setiap transisi antar lingkaran ulir sekrup akan terjadi penurunan gaya yang tiba-tiba, untuk selanjutnya kembali meningkat karena terbentuknya mekanisme tahanan yang baru antara profil kanal dengan lingkaran ulir sekrup yang berikutnya.

Gambar 6 menunjukkan posisi sekrup yang mengalami rotasi pada akhir pembebanan untuk Spesimen Sambungan-1. Sudut rotasi sekitar 50° untuk nilai perpindahan ultimate 26 mm.



Gambar 6. Hasil Uji Tarik Material Untuk Spesimen 6

Perbandingan Hasil Eksperimental dan Perhitungan Analitik

Menurut Peraturan Baja Ringan Indonesia SNI 7971:2013, kekuatan sambungan (V_b) untuk kondisi rotasi sekrup (*tilting*) dihitung sebagai nilai terkecil dari formula-formula berikut ini:

$$V_b = 4,2 \cdot \sqrt{t_2^3 \cdot d_f} \cdot f_{u2} \quad (1.a)$$

$$V_b = C \cdot t_1 \cdot d_f \cdot f_{u1} \quad (1.b)$$

$$V_b = C \cdot t_2 \cdot d_f \cdot f_{u2} \quad (1.c)$$

dengan :

V_b : kapasitas tumpu nominal bagian tersambung

t_1 : tebal lembaran yang kontak dengan kepala sekrup

t_2 : tebal lembaran yang tidak kontak dengan kepala sekrup

d_f : diameter sekrup nominal

f_{u1} : tegangan ultimate lembaran yang kontak dengan kepala sekrup

f_{u2} : tegangan ultimate lembaran yang tidak kontak dengan kepala sekrup

C : faktor tumpu sebagai fungsi perbandingan diameter sekrup nominal dan tebal lembaran

Dalam penelitian ini, untuk satu spesimen sambungan digunakan profil yang sama dengan nilai ketebalan lembaran dan tegangan ultimate yang identik. Ketebalan lembaran profil baja ringan adalah $t = 0.75$ mm dan nilai tegangan ultimate (f_u) diambil dari nilai rata-rata setiap batang hasil uji tarik material yang diberikan pada Tabel 1. Diameter nominal sekrup adalah $d_f = 5$ mm. Nilai C ditentukan dengan formula:

$$C = 3,3 - 0,1 \cdot \frac{d_f}{t} \quad \text{untuk} \quad 6 \leq \frac{d_f}{t} < 3. \quad (2)$$

Pada Tabel 2 diberikan hasil perhitungan analitik untuk setiap spesimen sambungan dan perbandingannya dengan hasil yang diperoleh melalui uji eksperimental. Tiga spesimen menunjukkan hasil uji eksperimental yang lebih kecil dari 9,8 % jika dibandingkan dengan hasil perhitungan analitik. Secara keseluruhan, rata-rata perbedaan hasil perhitungan analitik dan uji eksperimental adalah 7,8 %. Berdasarkan data pada **Tabel 2** terlihat bahwa gaya minimal yang bisa dipikul untuk 1 buah sekrup pada sambungan penampang baja ringan adalah sebesar 303 kgf. Nilai ini setara dengan 90% kekuatan nominal sambungan sekrup untuk kondisi *tilting* jika digunakan nilai tegangan ultimate standar $f_u = 550$ MPa.

Tabel 2. Kekuatan Sambungan Perhitungan Analitis dan Uji Eksperimental

Identifikasi Spesimen	Material	f_u -Exp (MPa)	V_b -Analitik*) (kgf)	P-Exp (kgf)	Perbedaan
Sambungan -1	Batang-1	552,2	673,7	607,5	9,8 %
Sambungan -2	Batang-1	552,2	673,7	674,0	0,0 %
Sambungan -3	Batang-2	526,6	642,4	732,6	14,0 %
Sambungan -4	Batang-3	575,1	701,6	651,0	7,2 %

*) Nilai terkecil berdasarkan Persamaan 1.a, untuk 2 buah baut dalam 1 bagian sambungan

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian eksperimental sambungan profil baja ringan dengan menggunakan alat sambung sekrup telah dipaparkan pada paper ini. Ragam kegagalan yang terjadi untuk 4 spesimen menunjukkan hasil yang sama, yaitu berotasinya sekrup sesuai dengan bidang pembebanan tarik (kondisi *tilting*) yang disertai dengan perbesaran lubang sambungan. Jenis kegagalan ini merupakan salah satu bentuk kegagalan sambungan yang didefinisikan dalam Peraturan Baja Ringan Indonesia SNI 7971:2013. Untuk perbandingan hasil eksperimental dan formula analitik, diperoleh perbedaan rata-rata sebesar 7,8 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustinus, W., 2011. *Panduan Konsumen Memilih Konstruksi Baja Ringan*, Andi, Yogyakarta.
- Anggara, P.D., 2014, *Pengaruh Jarak Screw Terhadap Kekuatan Sambungan Pada Baja Ringan*, Jurnal Rekayasa Teknik Sipil, Volume 3, No 1, hal 149-157, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.
- ASTM, 1991. *Annual Books of ASTM Standards, Section 3, Metals Test Methods and Analytical Procedures*. American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, US.
- Badan Standardisasi Nasional, 2013. *Struktur Baja Canai Dingin*, SNI 7971:2013.
- Firmansyah, L.V., 2014, *Pengaruh Berbagai Jenis Screw Terhadap Kuat Tarik dan Kuat Geser Sambungan Baja Ringan*, Jurnal Rekayasa Teknik Sipil, Volume 3, No 1, hal 44-53, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.
- Francka, R.M., LaBoube R.A., 2010. Screw Connections Subject to Tension Pull-Out and Shear Forces, in *Twentieth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures*, November 3-4, 2010 St. Louis, Missouri, US.
- Prasetyo, A., 2015. *Studi Eksperimental Penampang Kanal Ganda dan Penampang Hollow Baja Ringan yang Memikul Lentur*, Skripsi Sarjana, Universitas Andalas, Padang.
- Setiyarto, Djoko, 2012-a, *Perilaku Sambungan Sekrup (Self Drilling Screw) Pada Sambungan Momen Sebidang untuk Struktur Baja Ringan*, Jurnal Teknik Sipil, Vol 8, No 1, hal 17-32, Universitas Kristen Maranatha, Bandung.
- Setiyarto, Djoko, 2012-b, *Studi Parametrik dan Eksperimental: Pengaruh Tata Letak Baut dengan Sambungan Momen Sebidang Untuk Struktur Baja Cold Formed*, Majalah Ilmiah Bidang Rekayasa, Vol 10, No 1, hal 9-22, Universitas Komputer Indonesia, Bandung.
- Standards Australia Limited/Standards New Zealand, 2005. *Cold Form Steel Structures*, AS/NZS 4600:2005.
- Yu, W.W., 2000. *Cold Formed Steel Design, Third Edition*, John Wiley & Sons, INC., New York.