

# Kuat Tarik dan Pola Kegagalan Kombinasi Sambungan Baut dan Sekrup pada Baja Canai Dingin

Muhammad Nur Ikhsan<sup>1</sup>, Ali Awaludin<sup>2</sup>, Andreas Triwiyono<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta  
Email: nurikhsan053@gmail.com

## ABSTRAK

Saat ini, material *Cold Formed Steel (CFS)* lebih umum digunakan karena kekuatannya yang diketahui daripada material *Hot Rolled Steel (HRS)*. Bahan konstruksi CFS tidak hanya digunakan untuk fungsi struktur atap, tetapi juga banyak digunakan sebagai struktur bangunan. Perilaku koneksi kombinasi baut dan sekrup CFS diidentifikasi untuk mengetahui jenis kegagalan dan kapasitas sambungan. Beban maksimum pengujian tarik diterapkan pada dua jenis bahan CFS. Spesimen dalam kajian ini terdiri dari dua variasi ukuran lembar CFS 40 mm x 340 mm dan 40 mm x 360 mm. Lembar pertama digunakan untuk sambungan sekrup, baut dilengkapi ring, dan baut tanpa ring. Lembar kedua digunakan untuk sambungan kombinasi sekrup dengan baut tanpa ring dan sambungan kombinasi sekrup dengan baut dilengkapi ring. Hasil kajian menunjukkan bahwa nilai slip spesimen sambungan baut dilengkapi ring lebih besar daripada spesimen sambungan baut tanpa ring. Nilai kapasitas tarik yang diperoleh dari koneksi kombinasi baut dengan washer dan sekrup lebih besar daripada yang tanpa ring dengan sekrup. Pola kegagalan pengujian tarik adalah kegagalan sobek dan kegagalan patah.

**Kata kunci:** kombinasi, sambungan, baut, sekrup, CFS

## ABSTRACT

Nowadays, *Cold Formed Steel (CFS)* materials is more commonly used because of its known tensile strength than *Hot Rolled Steel (HRS)* material. CFS construction material is not only used for roof structures function, but also widely used as building structures. The behavior of bolt and screw combination connections of CFS was identified to know the type of failure and connection capacity. A maximum load of tensile testing was applied to two type of CFS materials. The specimens in this study consisted of two variations CFS sheet sizes 40 mm x 340 mm and 40 mm x 360 mm. The first sheet is used for screw connectors, bolt with washers, and bolt without washers. The second sheet is used for screw connectors combined with bolts without washer and screw connectors combined with bolts and washer. The results showed that the slip value of the bolt connection specimens with washers was greater than the bolt connection specimens without washer. The tensile capacity value obtained by the bolt combination connection with washer and screw was more rodust than the one without washer and screw. The failure patterns of tensile testing were a pull-through and fracture failures.

**Keywords:** combination, connection, bolt, screw, CFS

## PENDAHULUAN

Baja canai dingin saat ini sudah menjadi material konstruksi yang dipilih oleh masyarakat. Baja canai dingin memiliki kekuatan yang lebih baik dari baja konvensional. Selain kekuatannya yang lebih baik baja canai dingin memiliki bentuk yang lebih tipis dan ringan dari baja konvensional.

Baja canai dingin biasanya sering digunakan untuk struktur atap. Selain digunakan untuk struktur atap, baja canai dingin juga dapat digunakan sebagai rangka utama bangunan, kerangka dinding/partisi, rangka lantai, jembatan pejalan kaki dan dapat digunakan sebagai pengganti kayu

### **Kuat Tarik dan... (Muhammad/ hal 144-157)**

yang mahal, mulai langka dan mudah dimakan rayap.

Pemakaian baja canai dingin di Amerika untuk struktur bangunan sudah berkembang sejak lama. Bahkan baja canai dingin sudah banyak dijadikan sebagai struktur bangunan, baik itu struktur bangunan sekunder maupun struktur bangunan primer. Maka dari itu baja canai dingin dapat menjadi alternatif yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan bahan konstruksi. Hal ini dikarenakan pekerjaannya yang mudah, baja canai dingin dapat digunakan untuk rekonstruksi bangunan pada daerah yang mengalami bencana alam. Dalam masa rekonstruksi bangunan umumnya dituntut pembuatan bangunan rumah dalam jumlah yang banyak dan selesai dalam waktu cepat, agar korban tidak terlalu lama berada di pengungsian.

Selama ini, alat sambung yang sering digunakan pada baja canai dingin yaitu menggunakan sekrup. Selain menggunakan sekrup alat sambung yang dapat digunakan yaitu dengan baut. Sambungan menggunakan sekrup dan baut sering mengalami kegagalan sobek. Kegagalan ini terjadi karena jarak antar alat sambung terlalu dekat dan jarak antara alat sambung dengan jarak tepi.

Kegagalan seperti ini tidak boleh terjadi pada suatu struktur, karena jika terjadi hal tersebut maka struktur tidak dapat menahan beban atau runtuh. Salah satu langkah untuk mengurangi kegagalan tersebut dengan menggunakan rings pada sambungan baut, serta harus memperhatikan jarak tepi minimum dan jarak antar spasi.

Jarak tepi dan jarak spasi yang cukup besar untuk menghindari kegagalan, bantalan kegagalan lembaran bisa terjadi. Akibat dari kegagalan sering terjadi perengangan pada lubang di salah satu sisi baut. Penggunaan ring di bawah kepala baut dan mur dapat meningkatkan resistensi koneksi terhadap kegagalan bearing.

Sambungan baut menggunakan ring dan baut tanpa ring pada baja cold-formed geser ganda dan tunggal yang mengalami kegagalan pada plat (Wallace, 2001). Sedangkan Carril dkk (1994) membahas kapasitas tarik dan bantalan yang terjadi pada sambungan baut dengan ring dan baut tanpa ring serta mengetahui kegagalan yang terjadi. Mode kegagalan sambungan baut, parameter standar untuk pengujian sambungan baut dan faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan dan kekakuan sambungan (Zadanfarrokh, 1992).

Serrete dan Peyton (2009) menguji dan mengevaluasi kekuatan pengencangan pada sekrup, serta menghitung kekuatan sambungan sekrup. Kekuatan geser dan tarik pada sambungan sekrup tergantung pada parameter dan faktor yang mempengaruhi kekuatannya (Pekoz, 1990). Sedangkan pengembangan sambungan geser tunggal menggunakan sekrup self-drilling dalam konstruksi cold-formed steel, tergantung pada kepada parameter yang digunakan (Laboube dan Sokol, 2002).

Berdasarkan permasalahan yang telah dipaparkan, menginspirasi peneliti untuk melakukan kajian mengenai kombinasi sambungan menggunakan baut dan sekrup pada sambungan baja canai dingin.

## METODE

Dalam kajian ini baja canai dingin dalam bentuk lembaran yang berukuran 40 mm x 340 mm dengan variasi alat sambung sekrup, baut tanpa ring, dan baut dilengkapi ring. Sedangkan lembaran ukuran 40 mm x 360 mm dengan variasi alat sambung kombinasi baut tanpa ring dengan sekrup dan kombinasi baut dilengkapi ring dengan sekrup. Setiap benda uji terdiri dari 3 lembar baja canai dingin dan satu alat sambung, seperti pada Gambar 1. Jumlah benda uji yang menggunakan alat sambung sekrup, baut tanpa ring dan baut dilengkapi ring masing-masing berjumlah 3 buah, sedangkan benda uji yang menggunakan alat sambung kombinasi baut tanpa ring dengan sekrup dan kombinasi baut dilengkapi ring dengan sekrup masing-masing berjumlah 10 buah. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian tarik hingga mencapai beban maksimum. Perhitungan kapasitas sambungan sekrup dan sambungan baut mengacu pada SNI 7971:2013.

Pengujian benda uji dilakukan di Laboratorium, setelah alat sambung terpasang sesuai dengan rencana pengujian, tahap selanjutnya melakukan pengujian tarik. *Set-up* pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.

Tahap awal dalam kajian ini adalah menghitung kapasitas sambungan berdasarkan SNI 7971:2013, setelah itu membuat design dan membuat benda uji. Pengujian benda uji dilakukan setelah masing-masing benda uji dibuat sesuai dengan rencana design. Hasil yang dipeloreh dari pengujian ini yaitu kurva hubungan beban dan *slip*.

Grafik pengujian tarik sambungan CFS terdiri dari beban P dan *slip*  $\delta$ . *Slip* yang diijinkan untuk sambungan CFS

menggunakan alat sambung sekrup sebesar 3,2 mm (AC261, 2011), sedangkan untuk yang menggunakan alat sambung baut sebesar 6,35 mm (Laboube, 1996).

### Kapasitas Sambungan Baut

Perhitungan kapasitas nilai sambungan baut pada CFS berdasarkan SNI 7971:2013 yaitu pada sobek (Persamaan 1), tarik penampang neto (Persamaan 2), tumpu (Persamaan 3) dan baut dalam tarik (Persamaan 4).

$$V_f^* \leq \phi V_f \quad (1)$$

dengan  $V_f^*$  = gaya geser desain,  $V_f$  = kapasitas geser nominal bagian tersambung, dan  $\phi$  = faktor reduksi kapasitas sambungan baut 0,7 untuk  $\frac{f_u}{f_y} \geq 1,08$  sedangkan 0,60 untuk  $\frac{f_u}{f_y} < 1,08$ .

$$N_f^* \leq \phi N_f \quad (2)$$

dengan  $N_f^*$  = gaya tarik desain,  $N_f$  = kapasitas tarik nominal penampang neto dari bagian tersambung (dapat dihitung berdasarkan pemasangan ring pada baut dan mur) , dan  $\phi$  = faktor reduksi kapasitas sambungan baut 0,65 untuk sambungan geser ganda dan 0,55 untuk sambungan geser tunggal.

Jika dipasang ring di bawah kepala baut dan mur, untuk baut tunggal atau satu baris tegak lurus arah gaya (Persamaan 2.1) dan baut majemuk sejajar arah gaya (Persamaan 2.2). Jika tidak dipasang ring di bawah kepala baut dan mur atau hanya satu ring di bawah kepala baut atau mur (Persamaan 2.3).

$$N_f = [0,1 + (3 d_f/s_f)]A_n f_u \leq A_n f_u \quad (2.1)$$

$$N_f = A_n f_u \quad (2.2)$$

$$N_f = (2,5 d_f/s_f)A_n f_u \leq A_n f_u \quad (2.3)$$

### Kuat Tarik dan... (Muhammad/ hal 144-157)

dengan  $d_f$  = diameter baut,  $A_n$  = luasan neto bagian tersambung, dan  $s_f$  = jarak baut tegak lurus arah gaya.

$$V_b^* \leq \phi V_b \quad (3)$$

dengan  $V_b^*$  = kapasitas tumpu desain,  $V_b$  = kapasitas tumpu nominal dan  $\phi = 0,60$ .

$$V_b = \alpha C d_f t f_u \quad (3.1)$$

dengan  $\alpha$  = faktor modifikasi untuk tipe sambungan tumpu,  $C$  = faktor tumpu,  $t$  = tebal logam dasar,  $d_f$  = diameter baut nominal, dan  $f_u$  = kekuatan tarik lembaran.

$$N_{ft}^* \leq \phi N_{ft} \quad (4)$$

dengan  $N_{ft}^*$  = gaya tarik desain,  $N_{ft}$  = kapasitas tarik nominal baut dan  $\phi$  = faktor reduksi kapasitas baut.

### Kapasitas Sambungan Sekrup

Perhitungan kapasitas nilai sambungan sekrup pada CFS berdasarkan SNI 7971:2013 yaitu pada tarik pada bagian tersambung (Persamaan 5), jungkit dan tumpu lubang (Persamaan 6), cabut dan tembus (Persamaan 7).

$$N_t^* \leq \phi N_t \quad (5)$$

dengan  $N_t^*$  = gaya tarik desain,  $N_t$  = kapasitas tarik nominal penampang neto bagian tersambung dan  $\phi$  = faktor reduksi kapasitas sambungan sekrup.

Untuk sekrup tunggal atau satu baris tegak lurus gaya (Persamaan 5.1) sedangkan untuk sekrup majemuk segaris dengan gaya (Persamaan 5.2).

$$N_t = (2,5 d_f / s_f) A_n f_u \leq A_n f_u \quad (5.1)$$

$$N_t = A_n f_u \quad (5.2)$$

dengan  $d_f$  = diameter sekrup nominal,  $A_n$  = luasan neto bagian tersambung, dan  $s_f$  = jarak sekrup tegak lurus arah gaya.

$$V_b^* \leq \phi V_b \quad (6)$$

dengan  $V_b^*$  = gaya tumpu desain,  $V_b$  = kapasitas tumpu nominal penampang neto bagian tersambung dan  $\phi$  = faktor reduksi kapasitas sambungan sekrup (0,50).

Untuk  $t_2/t_1 \leq 1,0$ ,  $V_b$  harus diambil nilai yang terkecil dari Persamaan 6.1-6.3. Untuk  $t_2/t_1 \geq 2,5$ ,  $V_b$  harus diambil nilai yang terkecil dari Persamaan 6.4-6.5.

$$V_b = 4,2 \sqrt{(t_2^3 d_f) f_{u2}} \quad (6.1)$$

$$V_b = C t_1 d_f f_{u1} \quad (6.2)$$

$$V_b = C t_2 d_f f_{u2} \quad (6.3)$$

$$V_b = 2,7 t_1 d_f f_{u1} \quad (6.4)$$

$$V_b = 2,7 t_2 d_f f_{u2} \quad (6.5)$$

dengan  $t_2$  = tebal lembaran yang tidak kontak dengan kepala sekrup,  $t_1$  = tebal lembaran yang kontak dengan kepala sekrup,  $d_f$  = diameter sekrup nominal,  $f_{u2}$  = kekuatan tarik lembaran yang tidak kontak dengan kepala sekrup,  $f_{u1}$  = kekuatan tarik lembaran yang kontak dengan kepala sekrup, dan  $C$  = faktor tumpu.

$$N_t^* \leq \phi N_t \quad (7)$$

dengan  $N_t^*$  = gaya tarik desain,  $N_t$  = kapasitas tarik nominal penampang neto bagian tersambung dan  $\phi = 0,50$ .

Nilai  $N_t$  diambil dari nilai terkecil  $N_{out}$  (Persamaan 7.1) dan  $N_{ov}$  (Persamaan 7.2).

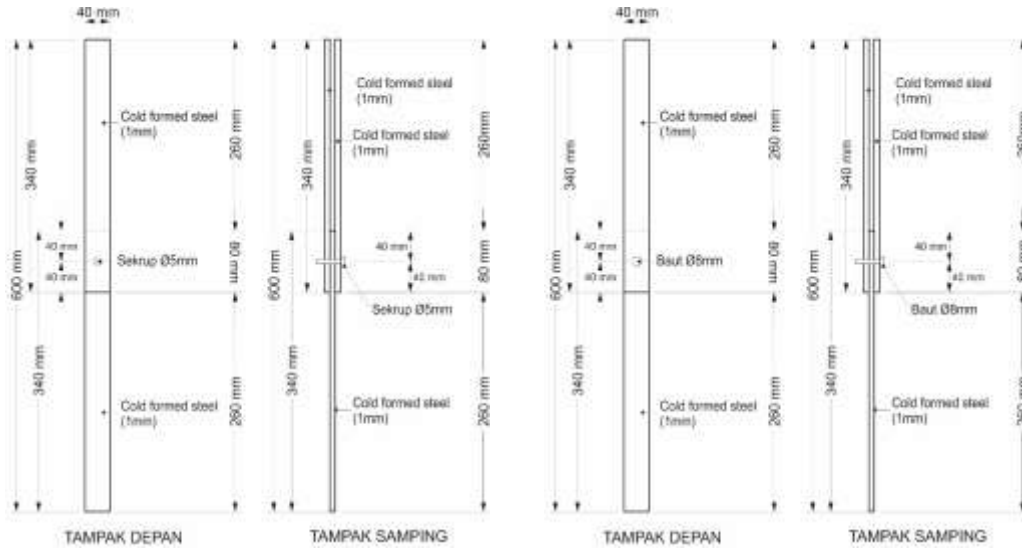
Untuk  $t_2 > 0,9$  mm

$$N_{out} = 0,85 t_2 d_f f_{u2} \quad (7.1)$$

Untuk  $0,5 < t_1 < 1,5$  mm

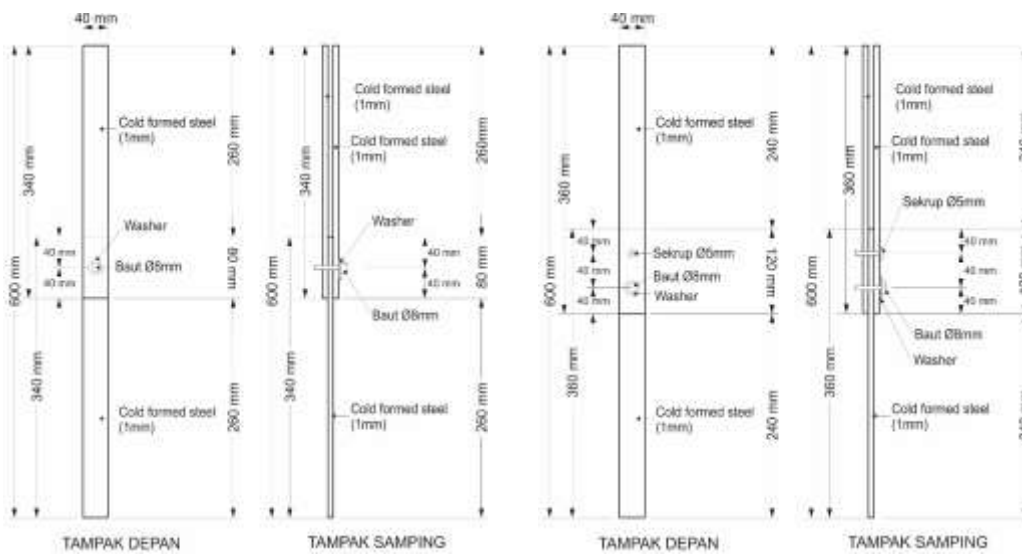
$$N_{ov} = 1,5 t_1 d_w f_{u1} \quad (7.2)$$

dengan  $d_w$  = diameter kepala baut dan diameter ring yang lebih besar tetapi tidak lebih besar dari 12,5 mm.



(a)

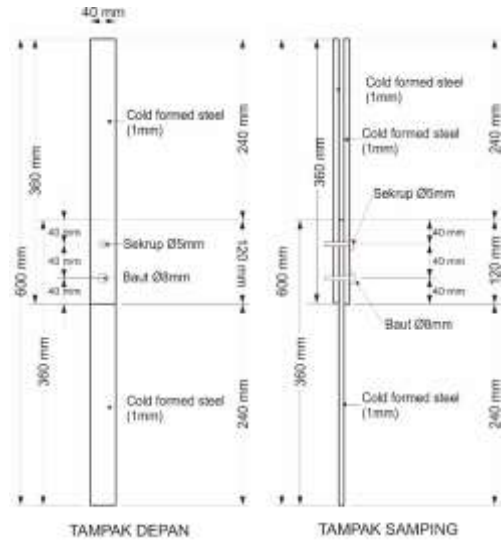
(b)



(c)

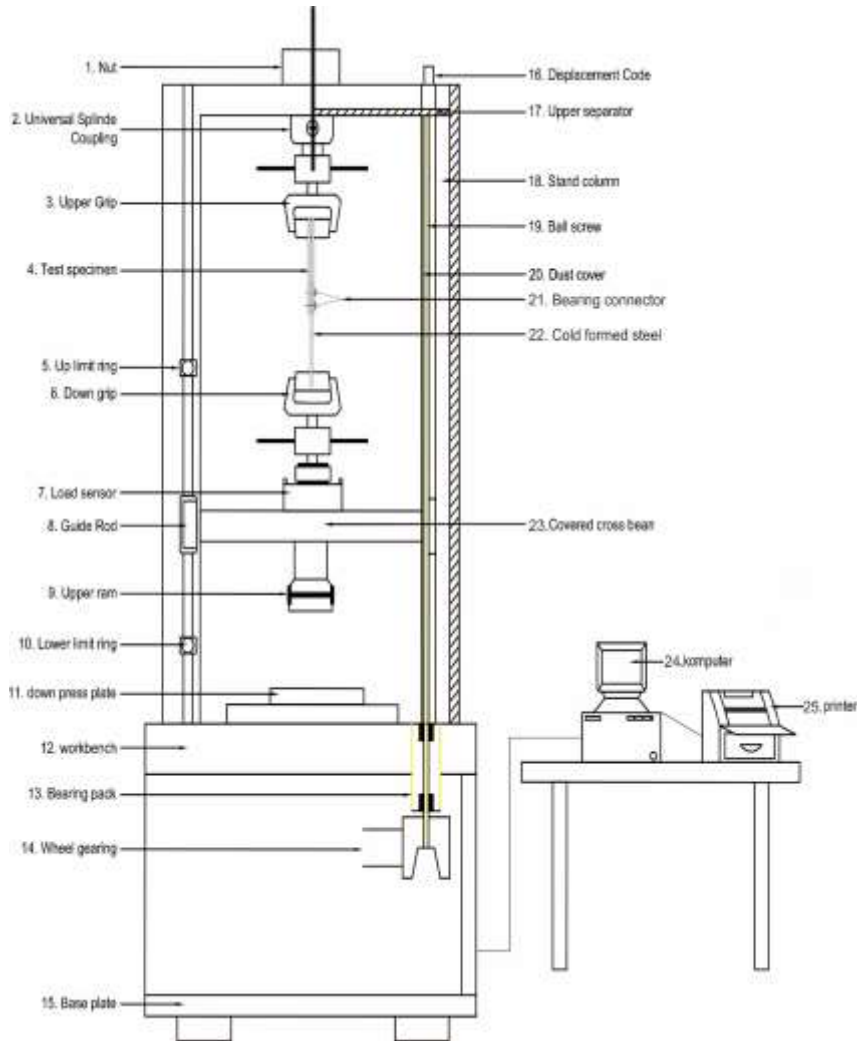
(d)

**Kuat Tarik dan... (Muhammad/ hal 144-157)**



(e)

Gambar 1. Detail Sambungan CFS (a) Sekrup (b) Baut Tanpa Ring (c) Baut Dilengkapi Ring (d) Kombinasi Sekrup dengan Baut Tanpa Ring (e) Kombinasi Sekrup dengan Baut Dilengkapi Ring



Gambar 2. Set-up Pengujian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kuat Tarik Sambungan CFS

Hasil kuat tarik maksimum pada benda uji yang menggunakan alat sambung sekrup adalah 9,06 kN, rata-rata nilai kuat tarik sambungan sekrup sebesar 8,50 kN. Nilai *slip* rata-rata pada sambungan sekrup yaitu sebesar 11,41 mm. Nilai maksimal *slip* yang diizinkan pada sambungan CFS sebesar 3,2 mm (AC261). Nilai *slip* yang diperoleh pada beban puncak lebih besar dari nilai *slip* yang ditentukan berdasarkan AC261. Nilai kuat tarik dan *slip* pada masing-masing benda uji yang menggunakan sambungan sekrup dapat dilihat pada Tabel 1. Tabel 2

menampilkan nilai kuat tarik saat *slip* 3,2 mm untuk benda uji yang menggunakan alat sambung sekrup.

Gambar 4a menampilkan hasil pengujian kuat tarik sambungan CFS menggunakan alat sambung sekrup, masing-masing benda uji memiliki beberapa puncak. Hal ini disebabkan karena saat terjadi peningkatan beban sebelum ulir benar-benar rusak, saat pemanjangan lubang terjadi penumpukan material pada bagian depan, sehingga meningkatkan area kontak dan beban (Pham, 2015).

Tabel 1. Hasil Pengujian Kuat Tarik Sambungan Sekrup.

No	Benda Uji	$\Delta L$ (mm)	$P_{max}$ (kN)	$\Delta L_{rata-rata}$ (mm)	$P_{max rata-rata}$ (kN)
1	S1	15,39	9,06	11,41	8,50
2	S2	5,63	7,91		
3	S3	13,22	8,52		

Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Tarik Sambungan Sekrup pada *Slip Limit*.

No	Benda Uji	$\Delta L$ (mm)	$P_{limit}$ (kN)	$\Delta L_{rata-rata}$ (mm)	$P_{limit rata-rata}$ (kN)
1	S1	3,20	3,50	3,2	5,17
2	S2	3,20	5,86		
3	S3	3,20	5,34		

Pengujian kuat tarik sambungan baja canai dingin menggunakan alat sambung baut dibagi menjadi 2 variasi yaitu baut tanpa ring (B) dan baut dilengkapi ring (BW). Masing-masing variasi alat sambung diuji sebanyak 3 benda uji. Nilai maksimum pada benda uji yang menggunakan alat sambung B sebesar 17,12 kN, sedangkan yang menggunakan alat sambung BW sebesar 16,03 kN. Nilai kuat tarik dan *slip* masing-masing benda uji dapat dilihat pada Tabel 3.

menggunakan alat sambung B sebesar 16,34 kN, sedangkan rata-rata nilai kuat tarik pada alat sambung BW sebesar 15,01 kN. Nilai *slip* pada alat sambung BW lebih besar dibandingkan benda uji yang menggunakan alat sambung B. Hal ini terjadi karena kepala baut tidak mengalami kontak langsung dengan *coil* plat, sehingga gaya yang terjadi di sekitar area sambungan lebih kecil dibandingkan dengan gaya yang terjadi pada benda uji yang menggunakan alat sambung B.

Berdasarkan Tabel 3 dapat disimpulkan nilai kuat tarik rata-rata benda uji yang

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tarik Sambungan Baut.

No	Benda Uji	$\Delta L$ (mm)	$P_{max}$ (kN)	$\Delta L_{rata-rata}$ (mm)	$P_{max rata-rata}$ (kN)
1	B1	17,03	16,70	15,27	16,34
2	B2	13,36	15,22		
3	B3	15,43	17,12		
4	BW1	22,58	16,03	17,46	15,01
5	BW2	17,37	13,63		
6	BW3	12,44	15,36		

### Kuat Tarik dan... (Muhammad/ hal 144-157)

Nilai kuat tarik ketika mencapai batas *slip* yang diizinkan sebesar 6,35 mm (laboube dkk, 1996). Berdasarkan Tabel 4 dapat disimpulkan nilai kuat tarik untuk benda uji yang menggunakan sambungan BW lebih

besar dibandingkan dengan nilai kuat tarik pada benda uji yang menggunakan sambungan B. Selisih nilai kuat tarik pada sambungan B dan sambungan BW sebesar 13,11%.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tarik Sambungan Baut pada *Slip Limit*.

No	Benda Uji	$\Delta L$ (mm)	$P_{max}$ (kN)	$\Delta L_{rata-rata}$ (mm)	$P_{max rata-rata}$ (kN)
1	B1	6,35	6,42		
2	B2	6,35	7,17	6,35	6,99
3	B3	6,35	7,39		
4	BW1	6,35	5,28		
5	BW2	6,35	3,88	6,35	6,18
6	BW3	6,35	9,38		

Berdasarkan Gambar 4b grafik hubungan beban-*slip* benda uji sambungan B saat awal pembebanan mengalami *slippage* akibat torsi pada baut, setelah itu mengalami perilaku linier dan nonlinier hingga mencapai beban maksimum. Benda uji mengalami kegagalan setelah mencapai beban ultimit. Kegagalan yang terjadi pada benda uji sambungan baut yaitu kegagalan patah.

Berdasarkan Gambar 4c awal pembebanan mengalami *slip* akibat torsi pada baut. Benda uji BW1 mengalami perilaku linier setelah pembebanan awal lalu terjadi perilaku nonlinier dan mengalami perilaku linier kembali hingga mencapai beban ultimit. Kegagalan yang terjadi pada benda uji BW1 yaitu kegagalan patah. Benda uji BW2 memiliki perilaku yg sama dengan benda uji BW1 namun saat mencapai beban ultimit tidak langsung runtuh. Hal ini disebabkan terjadi penumpukan material pada bagian bawah kepala baut. Kegagalan yang terjadi pada benda uji BW2 yaitu kegagalan sobek. Benda uji BW3 mengalami perilaku linier setelah pembebanan awal serta mengalami perilaku non linier hingga mencapai beban ultimit. Kegagalan terjadi setelah mencapai beban ultimit. Kegagalan yang terjadi pada benda uji BW3 yaitu kegagalan patah.

Pengujian kuat tarik sambungan CFS menggunakan alat sambung kombinasi baut dengan sekrup terbagi menjadi 2 variasi yaitu baut tanpa ring dengan sekrup (SB) dan baut dilengkapi ring dengan sekrup (SBW), masing-masing variasi diuji sebanyak 10 benda uji. Rata-rata nilai kuat tarik benda uji SB sebesar 18,91 kN, sedangkan rata-rata nilai kuat tarik benda uji SBW sebesar 19,07 kN. Masing-masing nilai kuat tarik benda uji SB dan SBW dapat dilihat pada Tabel 5.

Berdasarkan Tabel 5 dapat disimpulkan rata-rata nilai *slip* benda uji SB sebesar 8,93 mm, sedangkan rata-rata nilai *slip* benda uji SBW sebesar 8,88 mm. Selisih *slip* antara benda uji SB dan SBW sebesar 0,05 mm. Nilai maksimum kuat tarik benda uji SB sebesar 19,75 kN dengan nilai *slip* 9,60 mm, sedangkan nilai kuat tarik maksimum benda uji SBW sebesar 19,49 kN dengan nilai *slip* 9,47 mm. Nilai kuat tarik rata-rata pada benda uji SBW lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kuat tarik benda uji SB. Hal ini disebabkan karena adanya penambahan ring dibawah kepala baut pada benda uji SBW. Penambahan ring pada benda uji sambungan kombinasi dapat menambah kuat tarik sambungan, karena kepala baut tidak kontak langsung dengan *coil* plat.

*Slip* yang diizinkan berdasarkan sebesar 6,35 mm. Nilai kuat tarik pada *slip* yang



diizinkan untuk benda uji sambungan kombinasi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tarik Sambungan Kombinasi Sekrup dan Baut.

No	Benda Uji	$\Delta L$ (mm)	$P_{max}$ (kN)	$\Delta L_{rata-rata}$ (mm)	$P_{max rata-rata}$ (kN)
1	SB1	9,94	18,39		
2	SB2	8,58	18,52		
3	SB3	9,89	19,33		
4	SB4	8,47	18,39		
5	SB5	8,80	19,65		
6	SB6	9,60	19,75	8,93	18,91
7	SB7	8,50	19,11		
8	SB8	8,26	18,87		
9	SB9	8,98	18,51		
10	SB10	8,24	18,57		
11	SBW1	9,11	19,58		
12	SBW2	8,80	18,43		
13	SBW3	8,49	18,78		
14	SBW4	8,59	19,45		
15	SBW5	9,01	18,78		
16	SBW6	9,47	19,49	8,88	19,07
17	SBW7	9,17	19,12		
18	SBW8	8,48	18,95		
19	SBW9	8,48	19,18		
20	SBW10	9,22	18,97		

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tarik Sambungan Kombinasi Sekrup dan Baut pada *Slip Limit*.

No	Benda Uji	$\Delta L$ (mm)	$P_{limit}$ (kN)	$\Delta L_{rata-rata}$ (mm)	$P_{limit rata-rata}$ (kN)
1	SB1	6,35	13,00		
2	SB2	6,35	14,64		
3	SB3	6,35	12,24		
4	SB4	6,35	14,74		
5	SB5	6,35	15,73		
6	SB6	6,35	13,19	6,35	14,44
7	SB7	6,35	15,27		
8	SB8	6,35	15,61		
9	SB9	6,35	13,83		
10	SB10	6,35	16,41		
11	SBW1	6,35	14,38		
12	SBW2	6,35	14,09		
13	SBW3	6,35	15,17		
14	SBW4	6,35	15,66		
15	SBW5	6,35	14,32		
16	SBW6	6,35	14,27	6,35	15,09
17	SBW7	6,35	15,14		
18	SBW8	6,35	15,68		
19	SBW9	6,35	16,23		
20	SBW10	6,35	15,94		

Berdasarkan Tabel 6 dapat disimpulkan nilai kuat tarik yang terjadi pada *slip* 6,35 mm pada sambungan SBW lebih besar dibandingkan dengan nilai kuat tarik pada sambungan SB. Hal ini disebabkan karena pada sambungan SBW kepala baut tidak kontak langsung dengan *coil* plat, sehingga nilai kuat tariknya menjadi lebih besar. Nilai kuat tarik rata-rata pada sambungan SB sebesar 14,44 kN, sedangkan nilai kuat tarik

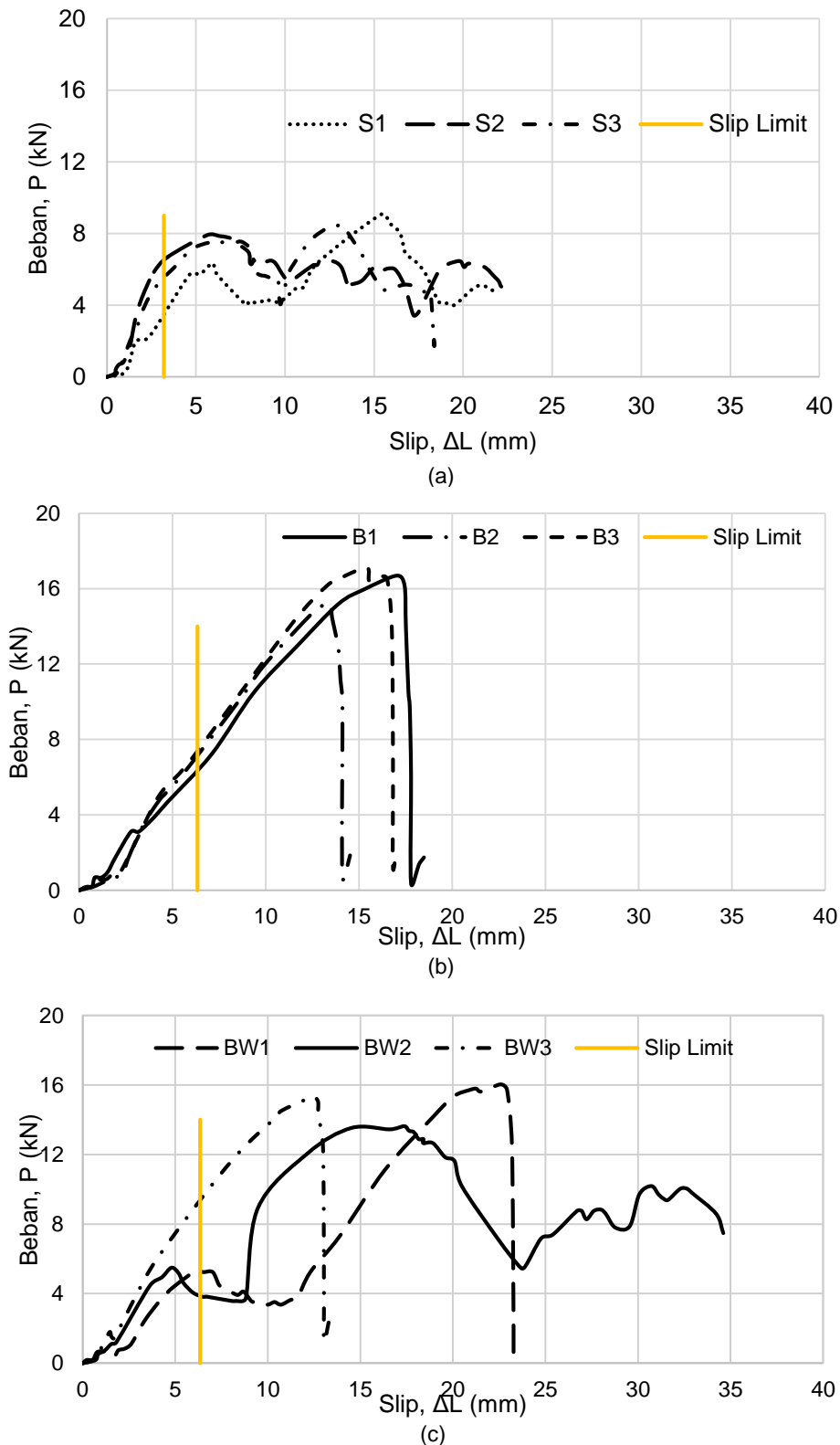
rata-rata pada sambungan SBW sebesar 15,09 kN. Selisih nilai kuat tarik dari sambungan SB dan sambungan SBW sebesar 11,34%.

Gambar 5 menjelaskan pola grafik pengujian beban-*slip* benda uji SB dan SBW dimana saat awal pembebanan mengalami *slip*, setelah itu mengalami perilaku linier dan nonlinier hingga mencapai beban

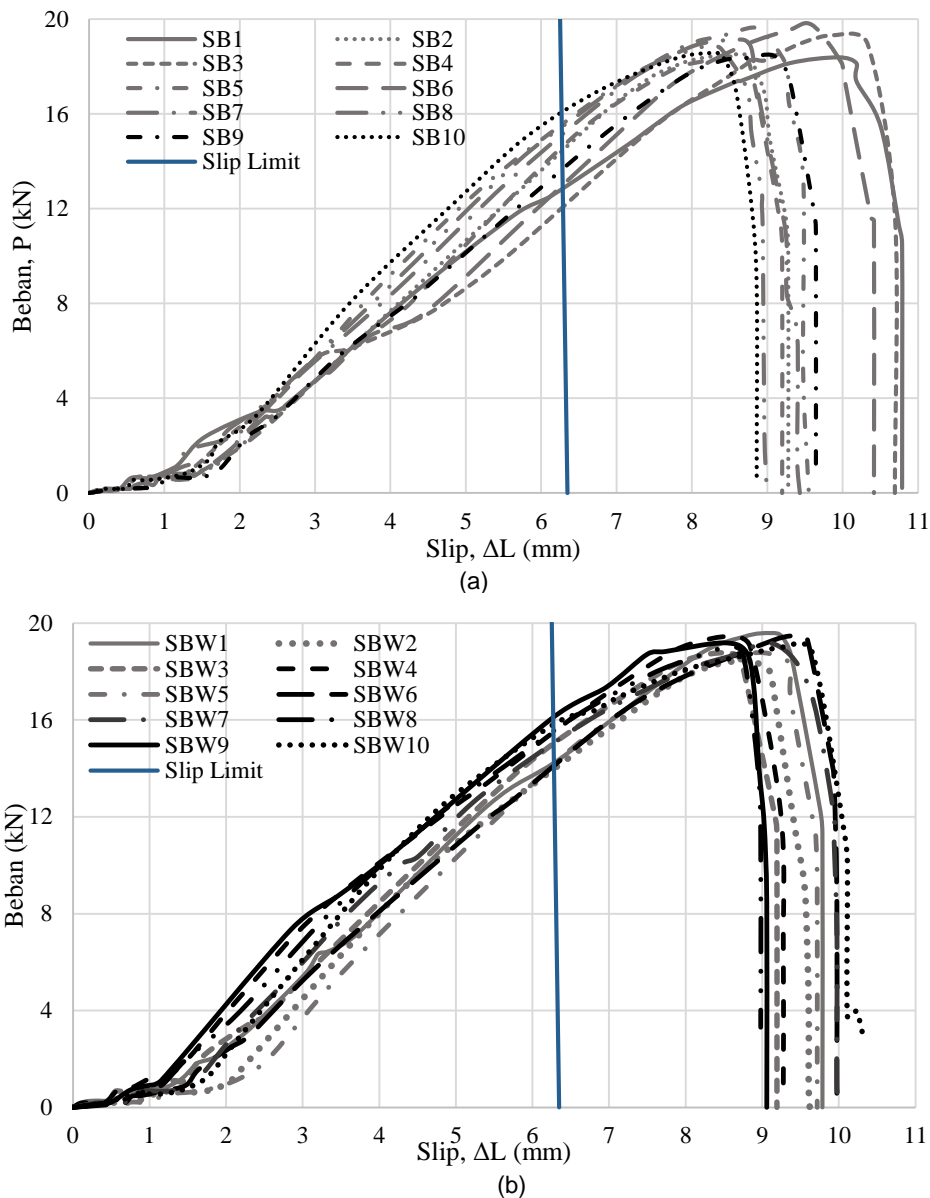
**Kuat Tarik dan... (Muhammad/ hal 144-157)**

ultimit. Kegagalan sambungan terjadi setelah benda uji mencapai beban ultimit. Pola kegagalan benda uji SB dan SBW yaitu kegagalan patah. Kegagalan ini terjadi pada

sambungan yang menggunakan alat sambung sekrup, dimana pada alat sambung sekrup *coil* plat patah menjadi 2 bagian.



Gambar 3. Grafik Beban-Slip Sambungan CFS (a) Sekrup (b) Baut Tanpa Ring (c) Baut Dengan Ring



Gambar 4. Grafik Beban-Slip Sambungan CFS Alat Sambung Kombinasi Sekrup dan Baut (a) Sambungan Kombinasi Sekrup dan Baut Tanpa Ring (b) Sambungan Kombinasi Sekrup dan Baut Tanpa Ring

### Pola Kegagalan

Gambar 5 menjelaskan pola kegagalan yang terjadi saat pengujian kuat tarik sambungan CFS pada alat sambung sekrup, baut dan kombinasi sekrup dan baut. Pola kegagalan yang terjadi pada benda uji yang menggunakan alat sambung sekrup mengalami kegagalan sobek. Pola kegagalan yang terjadi pada benda uji B dan BW yaitu kegagalan patah, namun pada benda uji BW2 mengalami

kegagalan sobek. Benda uji SB dan SBW mengalami pola kegagalan patah dan kegagalan sobek. Kegagalan patah yang terjadi pada sambungan kombinasi hanya pada bagian alat sambung sekrup, sedangkan kegagalan sobek terjadi pada bagian alat sambung baut. Kegagalan sobek yang terjadi pada sambungan kombinasi tidak terlalu besar.

**Kuat Tarik dan... (Muhammad/ hal 144-157)**

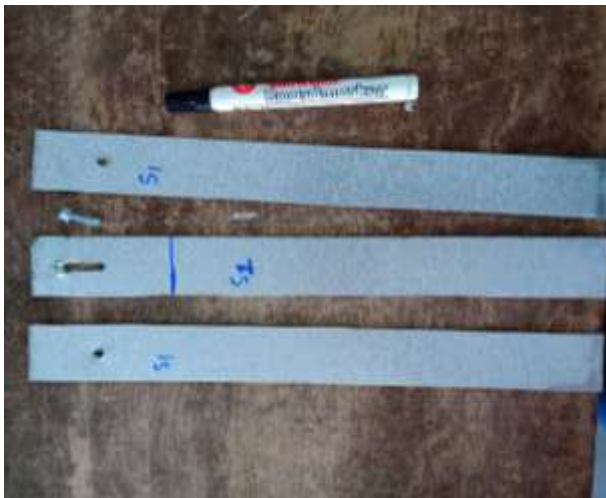
**Perbandingan Hasil SNI dengan Pengujian**

Dari hasil perhitungan kapasitas sambungan berdasarkan SNI 7971:2013 didapat sebagai berikut. Sambungan menggunakan alat sambung sekrup sebesar 2,34 kN, sedangkan yang menggunakan alat sambung baut sebesar 11,55 kN untuk baut tanpa ring dan 8,25 kN untuk baut dilengkapi ring.

Nilai kuat tarik yang diperoleh sambungan CFS menggunakan alat sambung sekrup sebesar 8,5 kN, sedangkan nilai kuat tarik yang dihitung berdasarkan SNI 7971:2013 yaitu sebesar 2,34 kN. Selisih nilai kuat tarik yang diperoleh dari SNI 7971:2013 dengan hasil pengujian sambungan sekrup sebesar 6,16 kN atau 263,25%.

Nilai kuat tarik yang diperoleh sambungan CFS menggunakan alat sambung baut tanpa ring sebesar 16,34 kN, sedangkan nilai kuat tarik yang dihitung berdasarkan SNI 7971:2013 yaitu sebesar 11,55 kN. Selisih antara nilai kuat tarik yang diperoleh dari hasil pengujian dengan perhitungan SNI 7971:2013 yaitu sebesar 4,79 kN atau 41,47%.

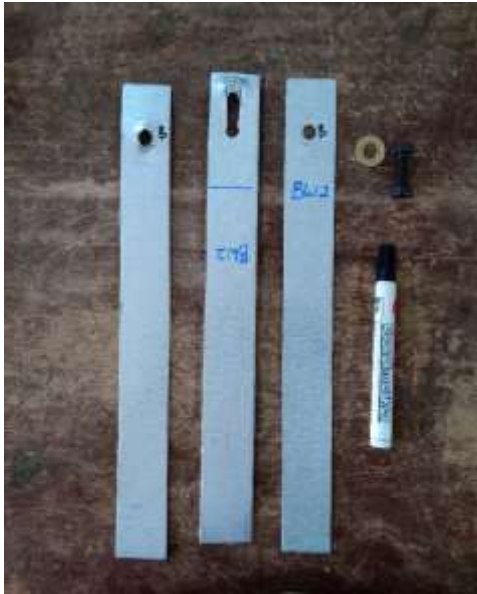
Nilai kuat tarik hasil pengujian sambungan CFS menggunakan alat sambung baut dilengkapi ring sebesar 15,01 kN, sedangkan nilai kuat tarik yang diperoleh dari perhitungan SNI 7971:2013 sebesar 8,25 kN. Selisih antara nilai kuat tarik yang didapat dari pengujian dengan nilai kuat tarik hasil perhitungan SNI 7971:2013 sebesar 6,76 kN atau 81,94%.



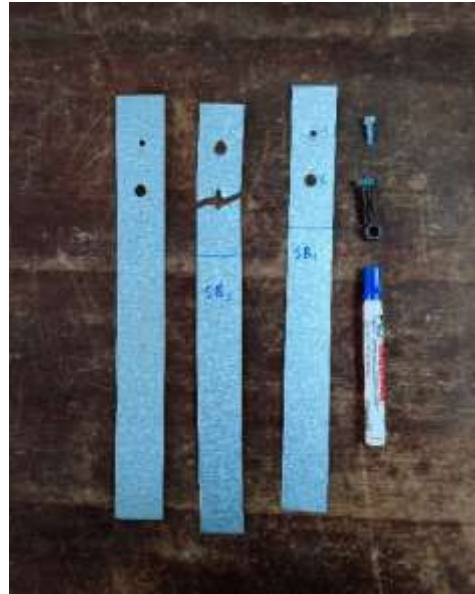
(a)



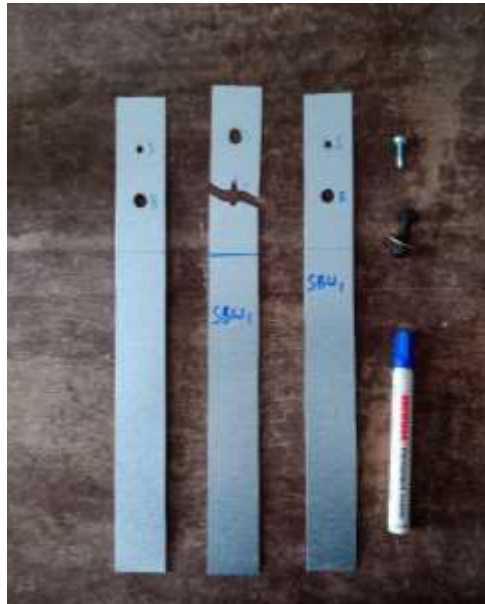
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 5. Pola Kegagalan Sambungan CFS (a) Alat Sambung Sekrup (b) Alat Sambung Baut Tanpa Ring (c) Alat Sambung Baut Dilengkapi Ring pada Benda Uji BW2 (d) Alat Sambung Kombinasi Sekrup dan Baut Tanpa Ring

### SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan hasil pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut: Pertama nilai kuat tarik pada sambungan baut tanpa ring (16,34 kN) lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kuat tarik pada sambungan baut dilengkapi ring (15,01 kN), sementara nilai kuat tarik pada sambungan sekrup (8,5 kN) masih lebih rendah daripada jenis

sambungan baut. Kedua nilai kuat tarik pada sambungan kombinasi sekrup dengan baut dilengkapi ring (19,09 kN) lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kuat tarik pada sambungan kombinasi sekrup dengan baut tanpa ring (18,91 kN). ketiga Pola kegagalan yang terjadi pada eksperimen sambungan CFS antara lain: (a) Tipe kegagalan pada sambungan sekrup adalah

### Kuat Tarik dan... (Muhammad/ hal 144-157)

kegagalan sobek, (b) Tipe kegagalan pada sambungan baut tanpa ring dan sambungan baut dilengkapi ring adalah kegagalan patah, (c) Tipe kegagalan pada sambungan kombinasi sekrup dengan baut tanpa ring dan kombinasi sambungan sekrup dengan baut dilengkapi ring adalah kombinasi kegagalan patah dengan kegagalan sobek. Keempat model sambungan kombinasi baja canai dingin yang baik digunakan yaitu sambungan sekrup, karena pada sambungan tersebut keagalannya tidak langsung terjadi seperti halnya pada sambungan baut.

Simpulan adalah ringkasan dari hasil dan pembahasan. Simpulan disajikan dalam bentuk paragraf.

### DAFTAR RUJUKAN

Badan Standardisasi Nasional. (2013). *SNI 7971:2013 Struktur Baja Canai Dingin*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).

Corner, Sebastien Marc Wiliam. (2014). *Screw-Fastened Cold-Formed Steel-to-Steel Shear Connection Behaviour and Models*. Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University.

International Code Council Evaluation Service, (2011). *International Code Council Evaluation Service (ICC-ES) AC261 Acceptance Criteria for Connectors Used dilengkapi Cold-Formed Steel Structural Members*. ICC-ES AC261. Brea, CA, USA.

Laboube, R.A. dan Sokol, M.A. (2002). *Behaviour of Screw Connections in Residential Construction*. J. Struct. Eng 128(1): (pg.115-118).

Laboube, R.A dkk., (1996). *Serviceability limit state bolted connections*. Connections in Steel Structures III, 403-411.

Pekoz, Teoman. (1990). *Design of Cold-formed Steel screw Connections*. International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures.

Pham, Hong s dan Moen, Christopher D., (2015). *Stiffness and Strength of Single Shear Cold-Formed Steel Screw-Fastened Connection*. Structural Engineering and Material. Blacksburg, Virginia.

Pratama, G. N. I. P. P., & Najihan, H. F. (2020, September). The Effect of Beach Sands to Replacement of Fine Aggregate with Addition Filler of Ash Cane on the Asphalt Mixture on Marshall Characteristics. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1625, No. 1, p. 012032). IOP Publishing.

Pratama, G. N. I. P., & Sumarjo, H. (2018). Aksesibilitas Tata Letak Elevator Penumpang Gedung Kantor Pusat Layanan Terpadu (KPLT) Fakultas Teknik UNY. *INformasi dan Ekspose hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur*, 14(1), 26-35.

Serrette, Reynaud dan Peyton, Dean. (2009). *Strength of Screw Connections in Cold-Formed Steel Construction*. J. Struct. Eng, 135(8), (pg.951-958).

Wallace, James A., (2001). *Testing of Bolted Cold Formed Steel Connections In Bearing (Dilengkapi and Tanpa Rings)*. Canada: University of Waterloo.

Zadanfarrokh, F dan Bryan, E.R. (1992). *Testing and Design of Bolted Connections in Cold Formed Steel Sections*. International Specialty Conferencen on Cold-Formed Steel Structures.