

## STUDI EKSPERIMEN PERILAKU STRUKTUR RANGKA BATANG *COLD FORMED STEEL* TERHADAP BEBAN TEKAN

Putu Deskarta<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar

Email: [pdeskarta@yahoo.com](mailto:pdeskarta@yahoo.com)

**Abstrak:** Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku struktur baja ringan (CFS) dan perilaku elemen batangnya serta mendapatkan perbandingan antara kekuatan elemen batang dan sambungan terhadap kekuatan struktur. Tiga jenis benda uji dibuat yaitu; benda uji tekan elemen batang, benda uji geser sambungan 4 skrup dan sambungan 6 skrup, dan benda uji struktur rangka. Baja ringan yang dipakai adalah baja canal C 75-75 dengan tegangan leleh minimum 550 Mpa, dan skrup yang dipakai adalah jenis *self drilling screw gauge 12* dengan kuat geser baut 9 kN dan kuat tarik baut 15,2 kN. Dari uji tekan elemen batang dengan panjang 75 cm didapat kuat tekan nominal sebesar 12 kN. Numerical analisis memakai metode finite strip oleh Schafer memberikan hasil sekitar 80% dari hasil experiment. Nilai yang lebih kecil didapat karena tidak dimodelkan nya tekukan pada pelat badan. Pada pengujian geser sambungan didapat kuat geser nominal per skrup sebesar 3 kN. Formula British BS 5950 memberikan prediksi yang cukup tepat yaitu sekitar 108% dari hasil experiment. Selanjutnya didapat, jarak skrup ke pelat ujung  $2*d$  dan jarak antar skrup  $4*d$  memberikan hasil kuat geser yang sama dengan sambungan yang memakai jarak skrup yang lebih besar dari di atas. Hasil pengujian struktur rangka menunjukkan bahwa struktur rangka yang memakai *joint* 6 skrup memberikan hasil beban ultimit yang sama dengan yang memakai 4 skrup. Saat beban ultimit, gaya batang terbesar terjadi pada batang tekan atas yang telah mencapai kuat tekan elemen batang. Ini menandakan kekuatan batang terpakai sepenuhnya pada struktur tersebut. Program SAP 2000 memberikan Hasil memberikan prediksi beban ultimit yang cukup tepat yaitu sekitar 112,5% dari hasil experiment.

**Kata Kunci:** CFS (*cold formed steel*), struktur baja ringan, kuat tekan nominal, kuat geser

### ***BEHAVIOR OF COLD FORMED STEEL TRUSS DUE TO COMPRESSION LOAD, AN EXPERIMENTAL STUDIES***

**Abstract:** This experiment is to study the behaviors of cold formed steel truss, the structural element and the comparison of element and fastener strength to the structure load capacity. Three specimen types were made which are; compression elements, shear connections of 4 and 6 screw, and trusses. Element section used was cold formed steel C 75-75 with minimum yield strength 550 MPa, and for the screw type is self drilling screw gauge 12 with shear and tensile strength 9 kN and 15.2 kN respectively. Test of 75 cm long element resulted in the nominal compression of 12 kN. The result of numerical analysis developed by Schafer is only 80% of the experimental result. The lower value is due to the cripple formed on the section was not included in the numerical model. While shear test of the connection specimens gives nominal shear strength of the screw of 3 kN. This value is close to prediction value using Formula British code BS 5950 part 5, which is 108% of that experiment results. Furthermore, connections using space screw to end  $2d$  and between screw  $4d$  long gives same results of that using longer space. Finally, test on CFS trusses gives the ultimate load of trusses with 4 screw connections is same as that of 6 screw connections. At the ultimate load, failure is triggered by buckling on compression element on the top side. This shown that the strength of the element was fully used. Numerical analysis using SAP 2000 predicts the ultimate load higher by 12.5% of experiment results.

**Keywords:** CFS (*cold formed steel*), trusses, nominal compression strength, shear strength

**PENDAHULUAN**

**Latar Belakang**

Di Indonesia, pemakaian CFS (*cold formed steel*) untuk struktur kuda-kuda atap mulai berkembang pesat semenjak tahun 2000. Dipilihnya material baja ringan tersebut karena costnya yang berimbang dan bahkan bisa lebih murah dari menggunakan kayu kualitas bagus. Seperti halnya dengan baja biasa, baja ringan juga memiliki berbagai jenis penampang yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan. Hal yang utama dari baja ringan ini adalah ketebalannya yang kecil atau h/t nya 50 s/d 100, jauh lebih besar dari penampang baja biasa dengan h/t-nya < 20.

Struktur baja ringan yang paling banyak dipakai adalah struktur untuk rangka atap atau kuda-kuda. Rangka kuda-kuda merupakan struktur yang lebih mendekati struktur rangka batang yang elemen batangnya hanya mengalami gaya normal saja. Akan tetapi karena elemen batang dari kuda-kuda khususnya batang tepi atas dan batang tepi bawah umumnya dibuat menerus maka dapat terjadi moment pada *joint-joint*nya. Keruntuhan sering terjadi pada *joint* tersebut karena elemen plat nya mengalami tekuk lokal. Untuk memahami perilaku struktur kuda-kuda tersebut dan perilaku elemen elemen batangnya dalam menerima beban maka dilakukan sebuah penelitian tentang perilaku struktur rangka batang cold formed steel (baja ringan) terhadap beban tekan.

**Perumusan Masalah**

Keruntuhan suatu struktur rangka batang akibat beban dapat ditinjau dari besarnya deformasi struktur, atau runtuhnya elemen batang maupun *joint*. Jika kita tinjau suatu struktur rangka batang yang mengalami keruntuhan, tidak semua batang kekuatannya terpakai secara penuh. Hanya batang kritis (yang mengalami gaya terbesar) kekuatannya terpakai maksimal. Permasalahannya adalah seberapa besar gaya pada batang yang paling kritis tersebut pada saat runtuh dibandingkan dengan kapasitas beban dari batang itu, atau dengan kata lain seberapa bagian kekuatan batang yang terpakai. Selanjutnya apa penyebab dari tidak tercapainya kekuatan batang tersebut, bagaimana pola keruntuhan dan dimana keruntuhan terjadi.

**Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui perilaku struktur baja ringan dalam menerima beban dan menganalisis penyebab dari keruntuhan serta mencari berapa nilai besar kapasitas batang yang terpakai pada saat keruntuhan struktur.

**Batasan Masalah**

Perilaku suatu struktur sangat bergantung dari jenis struktur dan penampang yang dipakai. Untuk itu pada penelitian ini batasan struktur yang diteliti

adalah struktur kuda-kuda bentang pendek dengan memakai elemen batang penampang berbentuk C.

**TINJAUAN PUSTAKA**

**Umum**

Baja ringan (*Cold Formed Steel*) adalah produk profil baja yang dibentuk dari lembaran baja pelat tipis dengan ketebalan umumnya berkisar antara 0.5 mm sampai 3,2 mm. Pembentukannya dilakukan dengan menekuk pelat baja strip melalui alat cetak yang berupa roll dalam keadaan tempratur biasa (suhu ruang). Pelat baja yang akan dicetak sebelumnya sudah dilapisi dengan lapisan galvanis atau aluminium untuk mencegah korosi. Pelat baja strip yang dibentuk menjadi batang dengan penampang berbentuk C, U, atau Z tersebut mampu menerima beban seperti batang baja profil umumnya. Penampang berbentuk C dan Z umumnya dipakai untuk elemen batang struktur rangka atap atau rangka kuda-kuda, dengan penyambungan batang atau *joint*nya dengan cara menempelkan badan dari batang-batangnya dan menyatukannya dengan skrup. Sedangkan penampang berbentuk topi yang dinamakan *hat section* dipakai untuk *gording*. Berikut ini adalah gambar dari penampang tersebut di atas.



Penampang C Penampang Z hat section

**Sifat-Sifat Material dan Penampang**

Guna memenuhi efisiensi dalam pemakaian bahan maka diproduksi penampang dengan berbagai jenis ketebalan dan berbagai macam dimensi. Hasil experiment uji tarik menunjukkan bahwa elemen yang lebih tipis memiliki tegangan leleh yang lebih besar dibandingkan dengan yang tebal. Hal ini karena pada proses pendinginan pelat baja, pelat yang lebih tipis mendingin lebih cepat dengan pembentukan struktur yang lebih halus dibandingkan dengan pelat yang tebal. Penelitian yang dilakukan oleh Mahmood et al. (2005) terhadap kuat tarik pelat yang diambil dari penampang dengan tebal 0,6 mm dan 1 mm menunjukkan hasil seperti pada Tabel 1.

**Tabel 1. Hasil uji tarik elemen pelat dari batang CFS**

Tebal Penampang	$\sigma_{yex}$ (Mp a)	$\sigma_{uex}$ (Mp a)	$\sigma_{yn}$ (Mp a)	$\sigma_{un}$ (Mp a)	$\epsilon_y$ (%)	$\epsilon_u$ (%)
0,6mm	344	380	300	324	0,17	16,5
1,0 mm	300	360	250	306	0,15	20

**Kuat Tekan Elemen Batang**

Elemen batang dari struktur rangka baja ringan dalam menerima beban tekan dapat mengalami tekuk lokal, distorsional atau tekuk global. Kwon dan Hancock (1992) melaporkan bahwa penampang canal tipis atau bentuk lain yang memiliki sumbu simetri tunggal, seperti penampang topi dapat mengalami tekuk distorsional ketika menerima gaya normal tekan. Menurut mereka formula Winter (1968) dapat dipakai untuk memprediksi kuat tekan batang canal yang mengalami tekan. Formula Winter itu dinyatakan sebagai berikut.

$$\frac{b_e}{b} = \sqrt{\frac{\sigma_l}{F_y} \left( 1 - 0,22 \sqrt{\frac{\sigma_l}{F_y}} \right)}$$

Dengan;  $b_e$  = bagian efektif dari pelat dengan lebar b

$F_y$  = tegangan leleh dari baja

$\sigma_l$  = tegangan tekuk lokal elastik

Untuk memprediksi kuat tekan elemen yang mengalami tekuk distorsional, tegangan tekuk lokal elastik ( $\sigma_l$ ) pada formula Winter diganti dengan tegangan tekuk distorsional elastic ( $\sigma_{de}$ ) sehingga persamaan 2.1 menjadi

$$\frac{b_e}{b} = \sqrt{\frac{\sigma_{de}}{F_y} \left( 1 - 0,22 \sqrt{\frac{\sigma_{de}}{F_y}} \right)}$$

untuk  $\lambda > 0.673$

untuk  $\lambda < 0.673$

Dengan;  $\frac{b_e}{b} = 1$        $\lambda = \sqrt{\frac{F_y}{\sigma_{de}}}$

**Metode Finite Strip**

Tegangan tekuk kritis dari elemen pelat pada penampang CFS dapat dihitung secara numeric dengan menggunakan metode finite strip. Schafer telah membuat program yang dapat dipergunakan secara bebas (CUFSM4) untuk menghitung tegangan kritis penampang. Dari hasil analisis penampang tersebut didapat grafik antara load factor terhadap panjang elemen. Nilai *load factor* untuk tekuk lokal, distorsional dan global dapat diambil dari grafik sesuai dengan panjang elemen yang ditinjau, selanjutnya besar beban tekuk kritis untuk tekuk lokal, distorsi dan global adalah:

$P_{crit} = \text{load factor tekuk lokal} * P_y$

$P_{crit} = \text{load factor tekuk distorsional} * P_y$

$P_{cre} = \text{load factor untuk tekuk global} * P_y$

Dengan  $P_y = A_g * F_y$

**British code BS 5950**

British code BS 5950 memberikan formula untuk menghitung kapasitas dari suatu elemen

batang dari tegangan leleh material nya ( $\sigma_y$ ) yaitu sebagai berikut:

- Kuat tarik murni

$$P_t = A_t \sigma_y$$

- Kuat tekan murni:

Batang pendek

$$P_c = A_{eff} \sigma_y$$

Batang langsing

$$P'_c = \frac{M_{cy} P_c}{(M_{cy} + P_c e_s)}$$

- Lentur murni

$$M_c = Z_c \sigma_o$$

Kuat tarik, tekan, dan lentur penampang menurut hasil perhitungan serta menurut hasil pengujian elemen penampang diperlihatkan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Hasil pengujian dan hasil perhitungan kapasitas batang CFS**

Kapasitas	Penampang	Hasil pengujian	Hasil perhitungan
Kuat tarik	Penampang C 80x40x38x1,0	26 kN	20,66 kN
Kuat tekan batang pendek	Penampang C 80x40x38x1,0	38 kN	33,70 kN
Kuat tekan batang langsing (1m panjang)	Penampang C 80x40x38x1,0	25 kN	22,84 kN
Kuat lentur	Penampang C 80x40x38x1,0	1,5 kNm	0,97 kNm
Kuat lentur	Penampang topi 40x30x15x0,6	0,38 kNm	0,26 kNm

Sumber; Tahir et al., 2006.

Dari tabel terlihat bahwa hasil eksperimen masih lebih tinggi sekitar 50% dari hasil prediksi dengan formula BS 5950.

**Sambungan**

Alat sambung yang paling umum dipergunakan pada struktur baja ringan adalah *self drilling screw* yaitu skrup yang membuat lubang sendiri sekaligus mengencangkan sambungan. Skrup ini di buat dalam berbagai jenis dan variasi guna memenuhi kerja yang di lakukan. Skrup dengan kepala hexagonal paling umum digunakan karena dapat digabungkan dengan kepala *drill*.

Sebagai gambaran tentang kuat nominal dari skrup, Tabel 3 adalah hasil pengujian terhadap skrup yang menggunakan material baja sesuai dengan AISI C-1022 yang didapat dari Harvestruss.

**Tabel 3. Hasil uji kekuatan skrup**

Tipe Skrup	Diameter ulir (mm)	Panjang (mm)	Kuat tarik (kN)	Kuat geser (kN)	Kuat torsi (kNm)
12-14x20	5,5	20	15,2	9,0	15,0
10-16x16	4,87	16	12,0	6,9	9,0

Keruntuhan pada sambungan pada elemen baja ringan umumnya terjadi pada pelat, bukan pada skrup, karena tebal pelatnya yang kecil. Jadi, kuat sambungan elemen baja ringan bergantung pada elemen yang disambung. Tahir et al. (2006) melakukan pengujian terhadap sambungan geser dan sambungan tarik. Pada sambungan geser, dua elemen batang disambung dengan mempertemukan badannya. Batang tersebut dikenakan uji tekan. Sedangkan pada sambungan tarik, badan kedua batang disatukan kemudian diberikan beban sedemikian sehingga skrup yang disambung pada profil topi tercabut. Hasil dari pengujian tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 4. Hasil uji skrup pada sambungan**

Spesimen	Kuat sambungan	Kapasitas per skrup	Formula BS 5950
<b>Pengujian Geser</b>			
2 skrup – pelat 0,6mm	3,00 kN	1,5 kN	0,85 kN
4 skrup – pelat 0,6mm	7,00 kN	1,75 kN	0,85 kN
2 skrup – pelat 1,0mm	7,5 kN	3,25 kN	1,7 kN
4 skrup – pelat 1,0mm	12,5 kN	3,125 kN	1,7 kN
<b>Pengujian Tarik</b>			
1 skrup-pd sayap C	1,5 kN	1,5 kN	0,73 kN
2 skrup-pd sayap C	3,2 kN	1,6 kN	0,73 kN
1 skrup-profil topi	1,0 kN	1,0 kN	0,53 kN
2 skrup-profil topi	2,2 kN	1,1 kN	0,53 kN

Sumber; Tahir et al. (2006).

British code BS 5950 Part 5 memberikan rumus untuk memprediksi kuat sambungan skrup pada pelat yaitu sebagai berikut:

**Sambungan tarik**

Kuat nominal satu baut pada sambungan adalah yang terkecil dari;

$$P_{nt1} = 1,1 t_3 d_s F_{yp}$$

$$P_{nt2} = 0,65 t_4 d_s F_{yp}$$

**Sambungan geser**

Kuat nominal satu baut pada sambungan adalah nilai terkecil dari

$$P_{ns1} = 3,2 (t_3^3 d)^{1/2} F_{yp}$$

$$P_{ns2} = 2,1 t_3 d F_{yp}$$

dengan;  $t_3$  = tebal pelat yang nempel pada kepala skrup

$t_4$  = tebal pelat yang dekat dengan ujung skrup

$d_s$  = diameter skrup

$d$  = diameter lubang

$$F_{yp} = \text{tegangannya leleh pelat}$$

Hasil perhitungan menggunakan rumus BS 5950 Part 5 tersebut menunjukkan bahwa hasil eksperimen besarnya hampir dua kali dari hasil yang didapat dari rumus BS 5950 (Tabel 4).

**METODE**

**Rancangan Benda Uji**

Untuk mengetahui berapa perbandingan kekuatan elemen batang serta kekuatan sambungan terhadap gaya ultimit yang terjadi pada batang serta sambungan tersebut, maka dibuat benda uji tekan elemen batang, benda uji geser sambungan 4 skrup dan sambungan 6 skrup, dan benda uji struktur rangka. Untuk uji tekan elemen batang dan uji geser sambungan, masing masing dibuat 3 benda uji. Untuk struktur rangka batang dibuat 2 benda uji dengan ukuran yang sama namun dibedakan pada jumlah skrup pada *joint-joint* nya. Struktur pertama menggunakan 4 buah skrup pada setiap sambungannya dan struktur ke dua memakai 6 buah skrup pada setiap sambungannya.

Baja ringan yang dipakai dalam pengujian adalah baja canal C 75-75 dengan jenis material dan ukuran penampang sebagai berikut:

Material jenis Galvanis G550 Z22,

Tegangan leleh  $F_{y \min} = 550 \text{ Mpa}$

Modulus Elastisitas  $E = 2,1 \times 10^5 \text{ Mpa}$

Modulus Geser  $G = 8 \times 10^4 \text{ Mpa}$

Penampang baja canal C75-75 berbentuk C dengan tambahan lips yaitu tekukan ke dalam pada ujung-ujungnya. Bentuk dari baja canal C75-75 ditampilkan dalam Gambar 1. dengan dimensi;

$h = 75 \text{ mm}$ ,

$b = 30 \text{ mm}$ ,

$c = 10 \text{ mm}$ ,

Tebal  $t = 0,75 \text{ mm}$ .

Luas  $A = 109,65 \text{ mm}^2$

$I_x = 95091 \text{ mm}^4$

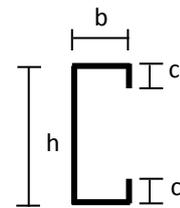
$I_y = 13811 \text{ mm}^4$

$Z_x = 2535,5 \text{ mm}^3 = S_x$

$Z_y = 673,7 \text{ mm}^3 = S_y$

$J = 20,56 \text{ mm}^4$

$r_x = 29,45 \text{ mm}$  ;  $r_y = 11,22 \text{ mm}$



Gambar 1.

Skrup yang digunakan dalam pengujian adalah *self drilling screw gauge 12* dengan kepala hexagonal, dengan spesifikasi material sebagai berikut:

Kuat geser baut = 9 kN

Kuat tarik baut = 15,2 kN

Kuat torsi baut = 15 kNm

**Uji Tekan Elemen Batang**

Rangka batang dengan penampang yang seragam, umumnya mengalami keruntuhan pada batang tekan akibat batang tersebut mengalami tekuk. Untuk itu maka hanya dilakukan pengujian tekan

saja untuk mengetahui kuat tekan dari batang tersebut. Panjang benda uji sangat menentukan kuat tekannya serta keruntuhan yang terjadi. Benda uji dengan batang yang pendek ditujukan untuk mengetahui kuat tekan akibat keruntuhan tekuk lokal atau tekuk plastis, benda uji dengan batang panjang ditujukan untuk mengetahui kuat tekan akibat tekuk global atau tekuk elastis, dan benda uji dengan panjang batang menengah adalah untuk mengetahui kuat tekan akibat tekuk elastoplastis.

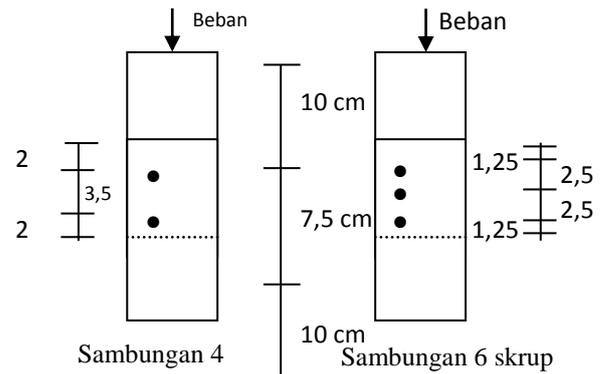
Peraturan memberikan petunjuk untuk batang pendek yaitu batang dengan panjang tiga kali lebar elemen yang terpanjang. Penelitian ini hanya meneliti untuk panjang batang menengah yaitu menggunakan panjang batang 75 cm yang mewakili panjang batang dari elemen rangka batang yang menerima tekan. Tiga buah benda uji dari profil C 75.75 dibuat dan dilakukan pengujian tekan. Untuk menghindari terjadinya clamping (pelipatan) pada ujung yang ditekan maka pada kedua ujung batang diberikan kayu pengisi yang dijepit seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengujian tekan batang

### Uji Geser Sambungan

Pengujian geser sambungan dilakukan untuk mengetahui kuat geser sambungan, dimana perilaku ini terjadi pada *joint-joint* dari rangka batang. Pengujian ini sering disebut dengan istilah *Single Lap Joint Test*. Skrup yang dipakai adalah jenis *self drilling screw gauge 12* dengan diameter ulir 5,5 mm. Pada pengujian ini diuji sambungan kombinasi empat skrup dan enam skrup. Tiap kombinasi skrup dibuat tiga benda uji. Setiap benda uji terdiri dari dua batang jenis C 75.75 masing-masing dengan panjang 15 cm yang disatukan pada bagian badannya dengan kombinasi skrup seperti diatas. Selanjutnya dilakukan uji tekan pada benda uji tersebut untuk mendapatkan kuat geser dari sambungan. Gambar 3.3 memberikan ilustrasi ukuran dan jarak skrup dari benda uji, sedangkan Gambar 3.4 memperlihatkan benda uji sambungan 4 skrup dan 6 skrup.



Gambar 3. Jarak Skrup Pada Sambungan



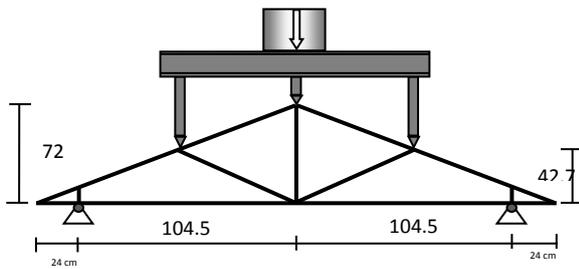
Gambar 4. Benda Uji Sambungan

### Uji Struktur Rangka Batang

Untuk mengetahui perilaku struktur rangka batang dari penampang baja ringan dalam menerima beban maka dilakukan pengujian pada struktur rangka batang. Dibuat dua buah benda uji rangka batang, benda uji pertama memakai sambungan 4 skrup dan benda uji kedua memakai sambungan 6 skrup pada *jointnya*. Elemen batang menggunakan penampang C 75.75 dan skrupnya memakai skrup gauge 12 (diameter 5,5 mm). Struktur diletakkan pada dua tumpuan sendi, dan pada tiga *joint* atas dikerjakan beban yang menekan *joint* tersebut. *Joint-joint* tersebut ditekan secara bersamaan dengan bantuan balok baja I dan batang vertikal. Dengan kondisi seperti ini maka ketiga *joint* tersebut dikerjakan deformasi yang seragam. Selanjutnya dilakukan pengujian dengan memberikan beban tekan pada *joint* dan dilakukan pencatatan deformasi dari *joint* tersebut serta beban yang terbaca pada alat. Gambar 5 memperlihatkan salah satu benda uji struktur rangka batang dan pengujian yang dilakukan, sedangkan Gambar 6 mengilustrasikan sistem pengujian serta ukuran-ukuran dari struktur rangka batang tersebut.



Gambar 5. Pengujian Rangka Batang



Gambar 6. Sistem Pengujian & Ukuran

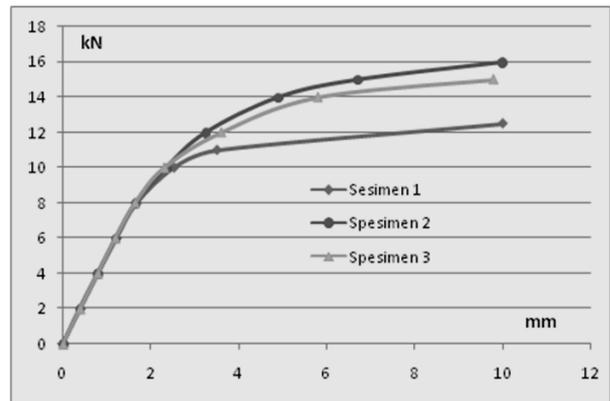
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil Uji Tekan Batang**

Pengujian tekan pada benda uji batang C 75.75 dengan panjang 75 cm menghasilkan data hubungan beban dan deformasi yang ditampilkan dalam bentuk grafik Gambar 7. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa beban maksimum berbeda untuk tiap benda uji namun beban dimana mulai terjadinya deformasi yang sangat besar akibat tekuk distorsional hampir sama yaitu pada beban 11 sampai 12 kN. Benda pertama memberikan beban maksimum 12,5 kN sedangkan benda uji kedua dan ketiga memberikan beban maksimum sampai 15 kN. Dari data ketiga benda uji tersebut diambil rata-rata kuat nominal batang C 75.75 dengan panjang 75 cm sebesar 11 kN.

Analisis secara teoritis berdasarkan metode elemen dengan memakai nilai k untuk elemen sayap dan badan = 4 dan k untuk elemen ujung = 0,425, persamaan (2.10) memberikan nilai tegangan tekuk lokal kritis seperti pada Tabel 4.2. Dari hasil tersebut ternyata tegangan minimum didapat pada elemen web yaitu sebesar 33,6 Mpa. Selanjutnya dari hasil diatas, metode interaksi hanya menghitung k untuk elemen web saja, memakai persamaan 2.11, 2.12 dan 2.10, didapat hasil  $k_{web} = 5,23$  dan  $f_{cr1} = 43,9$  Mpa. Hasil numerical dengan Metode finite strip (program CUFSM4 dari Schafer) dengan memberikan input tegangan awal merata sebesar 345 Mpa, memberikan out put nilai *load factor* = 0,23, sehingga  $f_{cr1} = 0,23 * 345 = 79,4$  Mpa. Dengan luas penampang C-75.57 sebesar 109,6 mm<sup>2</sup>, hasil perhitungan kuat tekan kritis penampang berdasarkan ketiga metode tersebut ditunjukkan pada Tabel 5.

Dari ketiga metode ini, metode elemen memberikan hasil yang paling kecil. Hal ini disebabkan pengaruh kekakuan pelat sayap yang menumpu pada sisi badan tidak diperhitungkan. Sedangkan pada metode interaksi pengaruh kekakuan pelat sayapnya diperhitungkan sehingga memberikan hasil yang lebih besar dari metode elemen. Metode finite strip memberikan hasil yang paling besar dan diyakini sebagai hasil yang paling sesuai karena dua metode lainnya menggunakan banyak pendekatan dan penyederhanaan.



Gambar 7. Beban vs Deformasi batang



Gambar 8 Tekuk Pada Batang

Perbandingan kuat tekan antar hasil teoritis dengan eperimen yaitu; hasil teoritis sebesar 8,69 kN dan hasil experiment sebesar 11 kN. Lebih besarnya nilai experiment dibandingkan nilai teoritis disebabkan karena pelat badan memiliki tekukan sepanjang batang (Gambar 5.) sehingga pelatnya lebih kaku, yang mana tekukan ini tidak diperhitungkan pada analisis teoritis.

**Tabel 5. Kuat Tekan Batang Secara Teoritis**

Metode Elemen	$k$	$f_{cri} (Mpa)$	$P_{cri} (kN)$
Pelat Badan (Web)	4	33,6	3,68
Pelat Sayap (Flens)	4	209,7	
Pelat Ujung (Lips)	0,425	200,5	
Metode Interaksi			
Pelat Badan (Web)	5,23	43,9	4,81
Metode <i>Finite Strip</i>		79,3	8,69

Catatan; luas penampang  $A_g = 109,6 \text{ mm}^2$

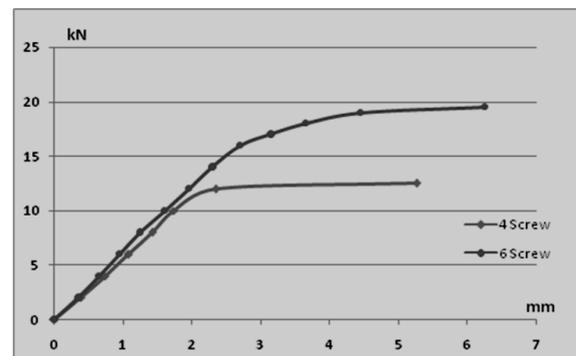
### Hasil Uji Geser Sambungan

Pengujian kuat geser sambungan skrup dilakukan dengan memberikan beban tekan pada sambungan sehingga skrup mengalami geser. Grafik gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara beban dengan deformasi benda uji sambungan dengan 4 skrup. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada beban sampai 10 kN kurva masih linier dan kurva mengalami sedikit penurunan sampai beban 12 kN. Setelah itu kurva mendekati datar yang berarti peningkatan beban sangat kecil diiringi dengan deformasi yang sangat besar. Beban maksimum dicapai pada 12,5 kN dan selanjutnya berkurang seiring dengan bertambahnya deformasi.

Sampai beban 12 kN deformasi skrup masih sangat kecil dan setelah itu mulai terjadi keruntuhan tumpu pada pelat terlihat dari membesarnya lubang skrup. Pelat yang mengalami keruntuhan tumpu adalah pelat yang berada pada skrup ujung, membuat posisi skrup miring. Perilaku yang hampir sama juga didapatkan pada 2 benda uji lainnya. Dari hasil ketiga benda uji tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa kuat ultimit sambungan tersebut 12 kN sehingga kuat geser ultimit per skrup nya adalah 3 kN.

Pada benda uji sambungan dengan 6 skrup, kurva hubungan antara beban terhadap deformasi ditunjukkan pada Gambar 9. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa kurva mendekati linier sampai beban mencapai 18 kN. Menuju beban 19 kN kurva tidak lagi linier dan selanjutnya hampir mendatar sampai beban maksimum 19,5 kN. Keruntuhan yang terjadi pada sambungan 6 skrup juga diakibatkan oleh bertambah besarnya lubang pelat yang terletak pada skrup ujung sama seperti pada sambungan 4 skrup. Namun ada suatu perbedaan yaitu sambungan 6 skrup selain terjadi keruntuhan tumpu juga mengalami keruntuhan lokal pada elemen pelatnya. Perilaku yang hampir sama juga ditemukan pada 2 benda uji lainnya. Dari ketiga benda uji tersebut didapat rata-rata kuat ultimit sambungan 18 kN sehingga kuat geser ultimitnya

per skrupnya 3 kN. Selain itu didapat bahwa memperkecil jarak skrup menjadi 2 kali diameter untuk skrup tepi dan 4 kali diameter untuk skrup tengah tidak mengurangi kuat nominal skrup.



Gambar 4.3 Beban-deformasi 4 dan 6 skrup

Secara teoritis menurut persamaan 2.30 didapat nominal kuat geser skrup 2,44 kN dan persamaan 2.31 menghasilkan 3,03 kN. Nilai kuat nominal secara teoritis ini tidak jauh berbeda dari nilai hasil experiment sebesar 3 kN.

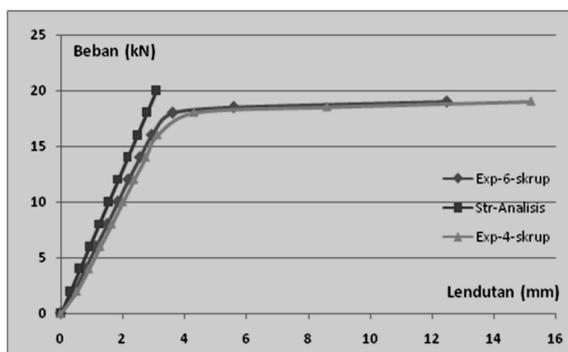
### Hasil Uji Struktur Rangka Batang

Pengujian struktur rangka batang sambungan 4 skrup dan 6 skrup menghasilkan data hubungan antar beban dan deformasi. Data tersebut kemudian disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 9. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa kedua struktur tersebut memiliki perilaku dan beban ultimit yang hampir sama. Dari grafik juga terlihat bahwa struktur berperilaku elastis sampai beban 16 kN dan mulai menjadi plastis pada beban 18 kN. Beban terbesar yang tercatat adalah 19 kN namun dengan deformasi yang sangat besar, sehingga dipakai beban ultimit sebesar 18 kN.

Pada Gambar 10 tersebut juga disertakan hasil analisis statis linier dengan SAP 2000. Dari grafik tersebut terlihat bahwa struktur memakai 4 skrup memiliki kemiringan kurva yang paling kecil kemudian diikuti oleh struktur 6 skrup dan terbesar adalah hasil analisis SAP 2000. Walaupun demikian perbedaannya sangatlah kecil, yang menyatakan bahwa kekakuan strukturnya hampir sama. Struktur dengan *joint* 6 skrup otomatis lebih kaku dari struktur dengan *joint* 4 skrup sehingga memberikan kemiringan grafik yang lebih besar.

Pola keruntuhan yang terjadi pada struktur dengan *joint* 4 skrup hampir sama dengan yang 6 skrup yaitu terjadinya tekuk pada batang tekan atas ke arah sumbu lemah. Kedua struktur ini memberikan beban ultimit yang sama karena keruntuhan tidak terjadi pada sambungan melainkan tekuk lateral pada batang.

Menggunakan kuat tekan batang hasil experiment sebesar 11 kN, prediksi beban ultimit struktur rangka menggunakan program SAP 2000 menghasilkan beban ultimit sebesar 16 kN. Hasil ini mendekati hasil yang didapat dari uji struktur rangka yaitu sebesar 18 kN.



Gambar 10. Beban vs deformasi struktur rangka

### SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan yang didapat dari penelitian struktur rangka baja ringan ini adalah:

1. Kekuatan elemen batang dapat diprediksi dengan cukup tepat memakai metode finite strip, program CUFSM4 yang dibuat oleh Schafer, Hasil numerical analisis sekitar 80% dari hasil experiment. Nilai yang lebih kecil didapat karena numerical analisis tidak memodelkan tekukan pada pelat badan.
2. Keruntuhan yang terjadi pada batang dengan panjang 10 kali lebar badan ternyata diakibatkan oleh terjadinya tekuk lokal pada badan yang kemudian diikuti oleh tekuk distorsi. Hal ini sesuai dengan hasil teoritis yang menunjukkan tekuk lokal memberikan nilai tegangan tekuk kritis yang paling kecil.
3. Formula British code BS 5950 Part 5 memberikan prediksi kekuatan geser baut dengan cukup tepat yaitu sekitar 108% dari hasil experiment. Nilai prediksi sangat ditentukan oleh kuat leleh dari elemen pelat ( $F_{yp}$ ) yang dipakai dalam perhitungan.
4. Sambungan yang memakai jarak skrup ke pelat ujung  $2*d$  dan jarak skrup ke skrup  $4*d$  memberikan hasil kuat geser per skrup yang sama dengan sambungan yang memakai jarak skrup yang lebih besar.
5. Keruntuhan yang terjadi pada sambungan adalah keruntuhan tumpu pada pelat di ujung skrup.
6. Struktur rangka dengan joint 6 skrup memberikan hasil beban ultimit yang sama dengan yang memakai 4 skrup. Ini disebabkan karena pada struktur ini keruntuhan tidak terjadi pada joint melainkan pada batang tekan atas.
7. Pada saat beban ultimit, gaya batang terbesar yang terjadi pada batang tekan atas telah mencapai kuat tekan elemen batang. Ini menandakan

kekuatan batang terpakai sepenuhnya dalam struktur rangka tersebut.

8. Beban ultimit pada struktur rangka dapat diprediksi dengan cukup tepat memakai analisis struktur linier (program SAP 2000), jika diketahui kuat tekan elemen batang-batangnya. Beban ultimit yang didapat dari hasil analisis struktur rangka tersebut adalah sekitar 112.5% dari hasil experiment.

### Saran

Berdasarkan hasil penelitian dapat disarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Keruntuhan struktur baja ringan umumnya diakibatkan oleh terjadinya tekuk lateral pada batang tekan sisi atas, sehingga penambahan pengaku lateral seperti memperpendek jarak reng pada elemen batang tersebut akan meningkatkan kekuatan struktur.
2. Daerah tumpuan merupakan lokasi yang paling kritis karena terjadi gaya tekan paling besar. Karena itu perlu perhatian yang sangat khusus pada daerah ini terhadap tekuk lokal.
3. Untuk keperluan meningkatkan kekuatan sambungan, jumlah baut dapat diperbanyak dengan memakai jarak minimum antar baut 4 kali diameter baut dan jarak minimum baut ke ujung pelat 2 diameter baut.

### DAFTAR PUSTAKA

- Tahir, M.M., Thong, C.M. and Tan C.S., 2005. *Performance of Locally Product Cold Formed Steel Sections For Roof Truss System*, Journal Teknologi Vol 42(B), UTM Malaysia, pp 11-28
- Tahir, M.M., Tan, C.S., and Shek, P.N., 2006. *Typical Test on Cold Formed Steel Structures*, Proceedings of the 6<sup>th</sup> APSEC 2006
- British Standard Institution (BSI), 1987, *BS 5950 Part 5: Code of Practice for Design of Cold Formed Thin Gauge Sections*, British Standard Institution, UK.
- Kwon, Y.B. and Hancock, G.J. 1992. *Strength Tests of Cold-Formed Channel Sections Undergoing Local and Distortional Buckling*, ASCE Journal of Structural Engineering, 118(7).
- Schafer, B.W. 2002. *Progress on the Direct Strength Method*, Proceeding 16<sup>th</sup> Int'l Spec. Conf. on Cold-Formed Steel Structures, Orlando, Florida, 647-662.
- American Iron and Steel Institute (AISI), 2004. *Design of Cold Formed Steel Structural Members Using the Direct Strength Method*, USA
- Schafer, B.W. 2006. *Designing Cold Formed Steel Using Direct Strength Method*, 18<sup>th</sup> International Specialty Conference on Cold Formed Steel Structures, Orlando, Florida