

STUDI ANALISIS DAN EKSPERIMENTAL PENGARUH PERKUATAN SAMBUNGAN PADA STRUKTUR JEMBATAN RANGKA CANAI DINGIN TERHADAP LENDUTANNYA

Roland Martin S^{1*)}, Lilya Susanti²⁾, Erlangga Adang Perkasa³⁾

^{1,2)}Dosen, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

³⁾Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
martin_smtpng@yahoo.com

ABSTRAK

Penggunaan baja *hot-rolled* semakin tergeser dengan material baru yaitu baja ringan (*cold-formed*), yang mempunyai keunggulan berupa beratnya yang kecil dan mudah dibentuk serta memiliki kekuatan yang tinggi. Pada penelitian ini, struktur rangka baja ringan difungsikan sebagai jembatan pejalan kaki dengan lantai kendaraan atas. Penelitian ini menggunakan profil baja ringan C-75 tipe G-550. Dilakukan dua macam analisis yaitu analisis secara numerik dan eksperimen. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa jembatan hasil analisis numerik secara umum mempunyai kekuatan yang lebih tinggi dan lendutan yang lebih kecil dibandingkan dengan hasil eksperimen. Penambahan profil sebagai perkuatan pada bagian sambungan terbukti dapat meningkatkan kekuatan struktur maupun memperkecil lendutan secara signifikan.

Keywords : *canai dingin, jembatan rangka, lendutan, perkuatan sambungan, sekrup*

1. PENDAHULUAN

Seperti yang kita ketahui bahwa di Indonesia banyak digunakan konstruksi baja *hot-rolled* karena semakin menipisnya ketersediaan material kayu yang dulunya umum digunakan sebagai bahan utama pembuatan konstruksi jembatan. Namun seiring berjalannya waktu, baja *hot-rolled* semakin tergeser dengan material baru yaitu baja ringan (*cold-formed*). Dengan keunggulan beratnya yang kecil dan mudah dibentuk serta memiliki kekuatan yang tinggi, baja ringan mampu mengalahkan eksistensi baja *hot-rolled*. Baja ringan sendiri dibuat dari lembaran baja yang dipotong kemudian dibentuk dengan mesin *roll-forming* dalam kondisi dingin. Pemakaian baja ringan sendiri biasanya digunakan sebagai rangka atap, rangka *plafond* dan rangka bangunan. Pada penelitian ini, struktur rangka baja ringan difungsikan sebagai jembatan pejalan kaki dengan lantai kendaraan atas.

Bila suatu konfigurasi rangka baja ringan menahan beban kerja, maka bagian sambungan adalah salah satu bagian yang paling rawan mengalami kegagalan terlebih dulu. Salah satu mekanisme yang dapat digunakan untuk memperkuat bagian sambungan adalah memperkaku daerah sambungan. Penambahan pelat penyambung pada daerah sambungan merupakan upaya untuk menambah kekakuan daerah sambungan karena memperluas luasan penampang melintang daerah sambungan sehingga diharapkan dapat memperkecil nilai lendutan bila konfigurasi struktur rangka menerima beban kerja. Namun masih perlu dilakukan penelitian mengenai seberapa panjang pelat penyambung yang paling efektif digunakan sebagai pengaku daerah sambungan namun tetap mempertimbangkan aspek ekonomis mengingat penambahan material memberikan efek pada penambahan biaya yang dikeluarkan. Untuk itu penelitian ini membahas pengaruh perkuatan sambungan

dengan menggunakan variasi panjang pelat penyambung pada struktur rangka jembatan canai dingin (*cold-formed*) terhadap nilai lendutan strukturnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Material baja ringan yang tersedia di pasaran memiliki ketebalan antara 0,1 sampai dengan 1 mm. Material baja ringan ini dilapisi oleh dua komposisi bahan yang berfungsi sebagai lapisan anti karat. Galvanis dengan komposisi 98% *zinc* dan 2% aluminium dan *zincalume* dengan komposisi 55% aluminium, 43,5% *zinc* dan 1,5% silikon merupakan dua komposisi bahan tersebut. Galvanis yang sebagian besar dibentuk oleh *zinc* (seng) tahan terhadap korosi air adukan semen namun tidak tahan terhadap air garam. Sedangkan *zincalume* tahan terhadap korosi air garam namun lemah bila terkena air adukan semen. Untuk mencapai taraf ketahanan yang relatif setara, ketebalan lapisan *zinc* yang dipakai harus lebih tebal daripada aluminium *zinc*. Standar umum untuk bahan struktural (menanggung beban) adalah ketebalan lapisan aluminium *zinc* tidak boleh kurang dari 150 gram/m² (AZ 150) sedangkan untuk lapisan *zinc* (galvanis) tidak kurang dari 200 gram/m² (Z 200). Ketahanan baja ringan tergantung pada ketebalan lapisan anti karatnya³⁾.

Konsep dari struktur baja ringan *cold-formed* telah meluas akibat dari banyaknya penelitian untuk mengetahui karakteristik strukturnya. Sambungan merupakan salah satu elemen yang penting untuk struktur baja ringan untuk mencapai kestabilan struktur. Dibandingkan dengan baja *hot-rolled*, baja ringan *cold-formed* mempunyai perilaku yang berbeda akibat dari adanya pengaruh *thin-walled* pada bentuk penampangannya¹⁾.

Penggunaan sekrup sebagai pengencang sambungan momen perlu diteliti karena mekanisme tumpu pada sekrup dapat pula disertai dengan mekanisme tarik yang menyebabkan sekrup tertarik keluar dari bidang sambungan

karena sekrup tidak menggunakan mur. Menurut AISI, bentuk keruntuhan yang mungkin terjadi pada sambungan sekrup adalah keruntuhan geser ujung pelat, keruntuhan tumpu berupa pemanjangan lubang searah gaya dan lipatan pada bidang tumpu, keruntuhan tarik pada penampang bersih pelat, kehancuran geser pada sekrup dan sekrup berotasi miring dan merusak permukaan sambungan. Berdasarkan bentuk keruntuhan tersebut maka perhitungan desain kekuatan nominal sambungan sekrup yang harus ditinjau yaitu kekuatan sambungan akibat gaya geser dan gaya tarik⁴⁾.

Penelitian numerik tentang sambungan momen semi rigid dengan memperhitungkan rotasi batang yang terletak di garis sambungan baut juga telah dilakukan sehingga dapat dipergunakan untuk memperkirakan besarnya kekakuan aktual dari sambungan momen. Model yang dipakai menggunakan balok tumpuan sederhana yang pada tengah bentangnya disambung menggunakan baut dengan sistem sambungan momen. Bagian tengah bentang yang disambung diberi selongsong tambahan berupa profil batang penyambung yang sama dengan properti batang yang disambung. Model disusun menurut aturan dari *Eurocode*. Dengan memvariasikan panjang profil penyambung tersebut, didapatkan grafik hubungan beban dan deformasi pada tengah bentang. Hasil dari simulasi numerik ini membuktikan bahwa tidak satu konfigurasi model pun yang disimulasi mampu mencapai kekakuan balok menerus seperti perhitungan teoritisnya sehingga sambungan pada model berperilaku semi-rigid. Setelah dibebani, kegagalan sambungan terjadi pada garis baut yang dekat dengan garis tengah bentang dimana terdapat momen lentur terbesar di lokasi tersebut²⁾.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Tipe baja ringan yang digunakan adalah tipe C-75 yang terbuat dari baja

ringan mutu tinggi (*Light Gauge High Tensile Steel*) G-550. Material properti dari baja ringan tersebut dapat dilihat pada **Tabel 1**. Sedangkan penyambung yang digunakan adalah sekrup (self-driving screw). Model perkuatannya adalah dengan menggunakan gabungan dua profil C-75 pada titik buhul, yang bertujuan untuk mengurangi lendutan. Profil C-75 bersudut banyak (polygon) digunakan untuk membuat struktur yang lebih kaku.

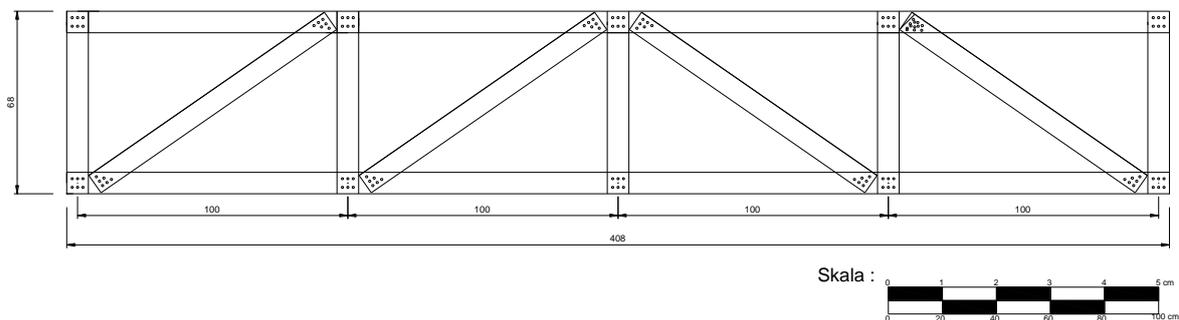
Tabel 1 Profil C-75 G-550

Mutu	G-550
Tegangan leleh minimum	550 MPa
Tegangan tarik ultimate	550 MPa
Modulus elastisitas	200.000 MPa
Modulus geser	80.000 MPa

Penelitian ini menggunakan tiga buah benda uji jembatan rangka canai dingin dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Benda uji 1 dengan tanpa perkuatan di daerah sambungannya.
2. Benda uji 2 dengan perkuatan pelat penyambung pada daerah sambungan sepanjang 50 cm.
3. Benda uji 3 dengan perkuatan pelat penyambung pada daerah sambungan sepanjang 70 cm.

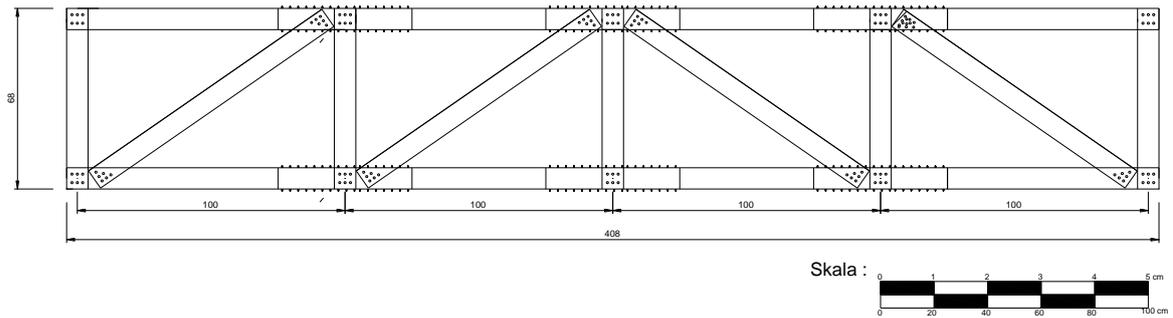
Konfigurasi jembatan rangka beserta dimensi jembatan dan pelat penyambung disajikan pada **Gambar 1**.



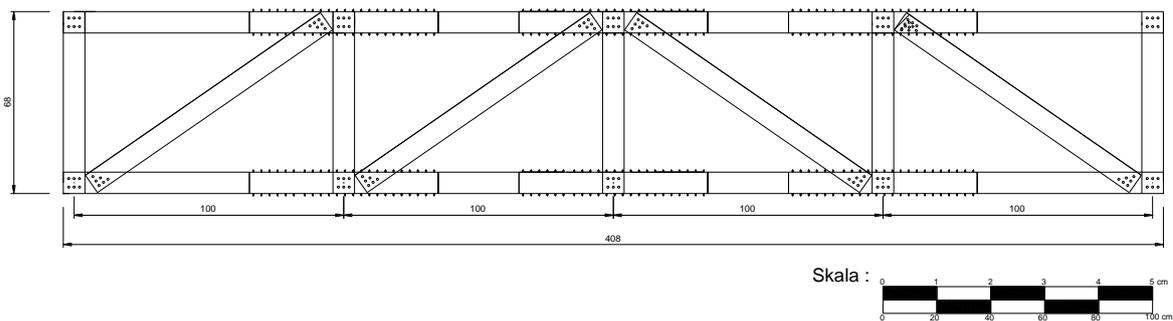
(a) Benda uji 1

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengujian tarik pada material benda uji untuk mengetahui tegangan leleh dan tegangan putus nya.
2. Membuat benda uji yang berjumlah 3 buah sesuai spesifikasi masing-masing benda uji.
3. Melakukan perhitungan kapasitas sambungan berdasarkan analisa teoritis.
4. Melakukan analisa numerik pada masing-masing benda uji untuk mengetahui nilai beban maksimum jembatan dan nilai lendutan yang terjadi. Pada penelitian ini, analisa numerik dilakukan menggunakan software SAP 2000.
5. Melakukan pengujian secara eksperimental terhadap masing-masing benda uji di laboratorium untuk mengetahui nilai beban maksimum dan lendutan jembatan.
6. Melakukan analisa dengan membandingkan hasil analisa numerik menggunakan software SAP 2000 dan analisa hasil pengujian eksperimental di laboratorium.
7. Mengambil kesimpulan dari perbandingan hasil masing-masing analisa yang dilakukan.



(b) Benda uji 2



(c) Benda uji 3

Gambar 1. Konfigurasi dan dimensi benda uji jembatan rangka

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Uji Tarik Baja

Uji tarik material baja canai dingin digunakan untuk mengetahui nilai tegangan leleh dan tegangan putus material baja. Lima benda uji digunakan ada uji tarik ini. Dari hasil pengujian tarik bahan didapatkan nilai rata-rata tegangan putus sebesar 463,332 N/mm².

4.2 Perhitungan Kapasitas Sambungan

Perhitungan kapasitas sambungan dilakukan pada masing-masing daerah sambungan pada benda uji jembatan.

Berdasarkan analisa perhitungan secara teoritis, didapatkan nilai kapasitas profil, kapasitas sambungan 6 sekrup, sambungan 18 sekrup, sambungan 26 sekrup dan sambungan 6 sekrup miring sesuai dengan gambar konfigurasi jembatan pada bab sebelumnya. Nilai kapasitas yang ditinjau meliputi nilai kapasitas tarik dan tekan profil, kapasitas tarik sekrup, kapasitas tumpu sekrup, kapasitas geser sambungan yang dibatasi jarak ujung dan kapasitas sambungan dalam tarik. Hasil perhitungan nilai kapasitas tersebut disajikan pada **Tabel 2**.

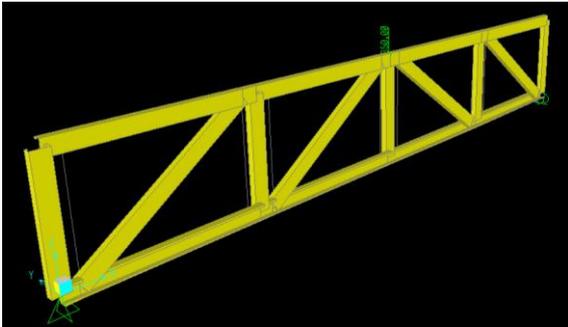
Tabel 2. Hasil perhitungan kapasitas profil dan sambungan

No	Jenis Kapasitas		Kapasitas (kg)
1	Profil	Kapasitas Tarik	4240.58
		Kapasitas Tekan	4503.39
2	Sambungan 6 sekrup	Kapasitas tarik	3696.94
		Kapasitas tumpu sekrup	905.04
		Kapasitas geser sambungan yang dibatasi jarak ujung	545.14
		Kapasitas sambungan dalam tarik	463.37
3	Sambungan 18 sekrup	Kapasitas tarik	3844.59
		Kapasitas tumpu sekrup	2539.76
		Kapasitas geser sambungan yang dibatasi jarak ujung	1135.71
		Kapasitas sambungan dalam tarik	1216.34
4	Sambungan 26 sekrup	Kapasitas tarik	3844.59

		Kapasitas tumpu sekrup	3668.54
		Kapasitas geser sambungan yang dibatasi jarak ujung	1135.71
		Kapasitas sambungan dalam tarik	1756.94
5	Sambungan 6 sekrup miring	Kapasitas tarik	3588.66
		Kapasitas tumpu sekrup	905.04
		Kapasitas geser sambungan yang dibatasi jarak ujung	545.14
		Kapasitas sambungan dalam tarik	463.37

4.3 Analisis Numerik

Analisis numerik dilakukan menggunakan bantuan software SAP 2000. Dimensi dan konfigurasi yang digunakan sesuai dengan gambar benda uji pada bab sebelumnya. Pembebanan pada analisis numerik ini disajikan pada **Gambar 2**. Analisis ini menggunakan tipe balok 3 dimensi dengan tumpuan sendi dan rol.



Gambar 2. Pembebanan di SAP 2000

Model 1 (tanpa perkuatan sambungan) berdasarkan hasil analisis numerik menghasilkan lendutan sebesar 4,467 mm dengan beban sebesar 850 kg. Model 2 (dengan perkuatan sambungan sepanjang 50 cm) berdasarkan hasil analisis numerik menghasilkan lendutan sebesar 3,78 mm dengan beban sebesar 850 kg. Model 3 (dengan perkuatan sambungan sepanjang 70 cm) berdasarkan hasil analisis numerik menghasilkan lendutan sebesar 3,54 mm dengan beban sebesar 850 kg.

4.4 Analisis Eksperimen

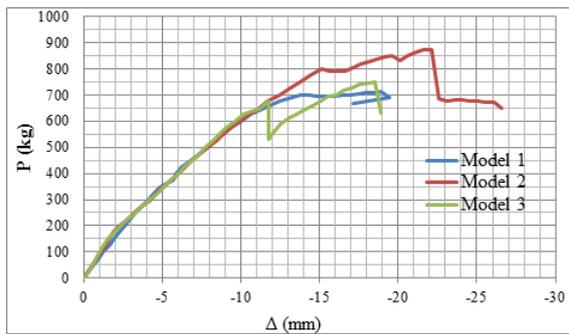
Pengujian jembatan secara eksperimental dilakukan di laboratorium. Dengan menggunakan beban terpusat di bentang tengah atas jembatan, dapat diketahui nilai beban maksimum dan lendutan untuk masing-masing benda uji.

Nilai beban maksimum dan lendutan benda uji 1,2 dan 3 disajikan pada **Gambar 3**.

Dari hasil pengujian model 1 didapatkan beban yang mampu ditahan hingga lendutan ijin adalah 350 kg. Sedangkan lendutan maksimum 19,41mm dengan beban maksimum 709 kg. Model 1 mengalami keruntuhan pada flens profil dahulu sebelum terjadi keruntuhan pada sambungan tarik. Keruntuhan yang terjadi diakibatkan karena model tidak memiliki perkuatan sambungan. Sehingga beban yang bekerja hanya ditahan didaerah pembebanan.

Hasil pengujian lendutan model 2 didapat beban yang mampu ditahan hingga lendutan ijin adalah 325 kg. Sedangkan beban maksimum yang bisa ditahan model 2 adalah 874 kg, dengan lendutan maksimum 26,61mm. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil model keruntuhan pada model 2, yaitu model 2 mengalami keruntuhan tekuk lokal flens. Dimana, hal tersebut terjadi karena profil yang terlalu tipis. Hasil tersebut berbeda dengan analisa dimana seharusnya model 2 mengalami keruntuhan pada sambungan tarik. Namun, model 2 adalah model yang paling mendekati ideal dengan hasil analisa.

Hasil pengujian lendutan model 3 didapat beban melewati lendutan ijin pada nilai 350 kg. Sedangkan beban maksimum yang bisa ditahan adalah 748 kg dengan lendutan maksimum 18,93mm. Namun jika dilihat dari bentuk grafik yang terjadi, model 3 tidak bisa di analisis lebih lanjut. Hal ini disebabkan karena adanya penurunan beban di tengah tengah pengujian tersebut. Padahal jika suatu sistem struktur mengalami penurunan beban seperti hal tersebut berarti struktur tersebut sudah mengalami keruntuhan.



Gambar 3. Beban-lendutan model 1,2 dan 3

Ditinjau dari ketiga model, lendutan ijin 5 mm dicapai pada beban 350 kg. Analisis lebih lanjut hanya bisa dilakukan kedua model yaitu model 1 dan 2. Pada model 1 dan 2 jika ditinjau pada beban yang sama yaitu pada beban 700 kg. Jika ditinjau dari beban yang sama yaitu 700 kg, penambahan kekuatan sambungan dapat mereduksi lendutan sebesar 10,5%.

Persentase peningkatan kekuatan dapat ditinjau pada model akibat pengaruh kekuatan sambungan dengan menggunakan lendutan yang sama terhadap nilai beban maksimum. Karena lendutan yang diinginkan 18,5 mm tidak terjadi pada kedua model, maka hasil beban yang didapat dilakukan dengan cara interpolasi. Pada lendutan 18,5 mm peningkatan kekuatan adalah sebesar 15%.

5. KESIMPULAN

Dari hasil kedua analisis yang telah dilakukan, terlihat bahwa model hasil analisis numerik menghasilkan lendutan yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan hasil eksperimen. Taraf pembebanan model hasil analisis numerik pun lebih tinggi dibandingkan dengan eksperimen. Hal ini dikarenakan model hasil analisis numerik merupakan model yang bisa dikatakan mendekati sempurna, tanpa ada cacat karena analisis numerik tidak memperhitungkan faktor ketidak sempurnaan material dan struktur. Titik berat pada masing-masing titik buhul pun dianggap bertemu di satu titik sehingga tidak ada eksentrisitas. Pada model

eksperimental, akibat proses pembuatan dan cacat awal profil mengakibatkan kekuatan awal struktur berkurang. Selain itu, pada sambungan, titik pusat masing-masing batang tidak bisa bertemu di satu titik. Proses pemasangan sekrup pun membuat kekuatan profil berkurang.

Bila ditinjau secara umum, struktur yang dibentuk dari analisis numerik dianggap terlalu ideal sehingga perhitungan efisiensi struktur didasarkan pada model eksperimen karena lebih mencerminkan keadaan aktual yang terjadi di lapangan. Namun karena model 3 (dengan kekuatan sambungan 70 cm) tidak bisa dianalisis, maka perhitungan efisiensi dan pengaruh kekuatan struktur akibat penambahan kekuatan pada sambungan hanya dilakukan pada model 1 (tanpa kekuatan sambungan) dan model 2 (dengan kekuatan sambungan 50 cm). Perkuatan sambungan dapat memberikan kontribusi pada struktur yaitu mengurangi lendutan sebesar 10,5% dan meningkatkan kemampuan menahan beban sebesar 15%. Panjang perkuatan 50 cm dianggap efisien bila dibandingkan dengan tanpa menggunakan perkuatan. Namun perlu diteliti lagi pengaruh panjang perkuatan yang lebih besar sebagai bahan pembandingan untuk panjang perkuatan yang telah ada.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Lee, H. L. et. al. 2014. Review on Cold-Formed Steel Connections. The Scientific World Journal Vol 2014 article ID 951216.
- Liu, J. et. al. 2015. Lapped Cold-formed Steel – shaped Purlin Connections with Vertical Slotted Holes. Journal of Constructional Steel Research, Vol.107 (1), pp.150-161.
- Nugroho F. 2014. Baja Ringan Sebagai Salah Satu Alternatif Pengganti Kayu pada Struktur Rangka Kuda-Kuda Ditinjau dari Segi Konstruksi. *Jurnal Momentum*, Vol.16 (2), pp.108-118.
- Setiyarto D.Y. 2012. Perilaku Sambungan Sekrup (*Self Drilling Screw*) pada Sambungan Momen Sebidang untuk Struktur Baja Ringan. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol.8 (1), pp.17-32.