

**PERILAKU STRUKTUR BATANG TEKAN
TRUSS BAJA RINGAN DENGAN PERKUATAN BAMBU**
*Structural Behavior of Lightweight Steel Truss Compression Member with
Bamboo Strengthening*

Ardiansyah*, Akmaluddin**, Suryawan Murtiadi**

*CV. Astrindo Engineering, Jl. Dr. Soetomo No. 46 Mataram

**Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram, Jl. Majapahit 62 Mataram
email : ardian_eng@yahoo.com, akmaluddin@unram.ac.id, s.murtiadi@unram.ac.id

Abstrak

Konstruksi kuda-kuda umumnya dari bahan kayu atau baja konvensional, namun sejalan perkembangan teknologi dibidang konstruksi tidak dipungkiri kuda-kuda berbahan kayu telah banyak digantikan dengan kuda-kuda dari bahan baja ringan (cold formed steel). Salah satu keunggulan bahan baja ringan adalah mudah dalam perakitan dan pelaksanaan. Dalam praktiknya, sering dijumpai kegagalan rangka atap baja ringan, salah satu penyebabnya terdapat batang tekan yang mengalami tekuk akibat pembebanan yang tidak sesuai atau berlebihan. Bahaya tekuk (buckling) menjadi kelemahan tersendiri dari rangka baja ringan. Kombinasi material baja ringan dengan kayu merupakan hal baru yang diterapkan belakangan ini dengan maksud menutupi salah satu kelemahan elemen baja ringan. Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap elemen dan struktur rangka kuda-kuda baja ringan C.75.75 tanpa dan dengan perkuatan bambu petung. Selanjutnya kapasitas beban hasil eksperimen dibandingkan dengan teori Euler dan permodelan software SAP 2000 Versi 14. Uji tekan elemen dilakukan terhadap 8 benda uji yang terdiri dari 4 buah tanpa perkuatan dan 4 buah dengan perkuatan. Masing-masing empat benda uji tersebut memiliki variasi panjang berturut-turut 400 mm, 600 mm, 800 mm dan 1000 mm. Pengujian struktur dilakukan terhadap 2 rangka kuda-kuda bentang 2400 mm dengan variasi tanpa perkuatan dan dengan perkuatan pada batang tekan. Beban terpusat dilakukan pada 3 titik buhul bagian atas kuda-kuda. Hasil uji tekan (compression test) elemen C.75.75 setelah diberi perkuatan bambu petung pada variasi panjang elemen (L) 400 mm, 600 mm, 800 mm dan 1000 mm mengalami peningkatan kapasitas tekuk (buckling capacity) masing - masing sebesar, 1,223, 1,320, 1,381 dan 1,421 dengan peningkatan kapasitas rata-rata 33,60%, sedangkan pada pengujian struktur kuda-kuda bentang 2400 mm terjadi peningkatan kapasitas dari 15,805 KN menjadi 22,585 KN atau sebesar 42,90% setelah diberi perkuatan dengan bambu petung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan perkuatan batang tekan pada konstruksi kuda-kuda mempunyai peran yang besar dalam meningkatkan kapasitas menahan beban. Sehingga perkuatan bambu ini dapat dipertimbangkan untuk diaplikasikan pada konstruksi bangunan.

Kata kunci : Baja ringan, Bambu petung, Komposit, Kapasitas beban tekuk

PENDAHULUAN

Atap merupakan bagian paling atas dari suatu struktur bangunan yang berfungsi untuk melindungi rumah dan penghuninya dari pengaruh luar seperti angin, hujan, dan sinar matahari. Konstruksi atap terdiri atas dua komponen penting yaitu konstruksi rangka kuda-kuda sebagai memikul beban penutup atap dan konstruksi penutup atap/pelapis atap. Konstruksi rangka kuda-kuda umumnya berbahan kayu atau baja konvensional, namun dengan perkembangan teknologi modern kuda-kuda berbahan kayu banyak tergantikan oleh kuda-kuda (*truss*) baja ringan. Baja ringan merupakan komponen struktur baja dari lembaran atau pelat baja mutu tinggi dengan proses pengerjaan pada keadaan dingin (*cold formed steel*) terdiri dari lapisan *zincalume* dengan komposisi campuran *zinc*, Aluminium dan *silicon*. Kuat tarikanya berkisar antara 500 sampai 550 MPa, dengan ketebalan 0,4 mm – 1,2 mm. Dalam praktik di

lapangan kegagalan konstruksi baja ringan sering terjadi akibat adanya batang rangka baja ringan yang mengalami tekan sehingga mengalami tekuk (*buckling*), bahaya tekuk akibat adanya batang struktur rangka baja ringan yang mengalami tekan memang menjadi kelemahan tersendiri dari struktur rangka baja ringan, sehingga kombinasi material baja ringan dengan perkuatan bambu merupakan alternatif dan merupakan hal yang baru diterapkan dalam konstruksi kuda-kuda rangka baja, dengan maksud untuk menutupi kelemahan rangka baja jika mengalami tekan, Akan tetapi hal tersebut belum sepenuhnya dapat diterima karena belum adanya kepastian perilaku dan kapasitas rangka baja ringan dalam menerima beban tekan sehingga tidak mengalami tekuk, untuk itu perlu dilakukan sebuah penelitian di laboratorium untuk menjawab pertanyaan tersebut. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut : mengetahui hubungan beban aksial dan defleksi dan mengetahui perbandingan kapasitas beban tekan kritis P_{mak} pada elemen sebelum dan setelah diperkuat dengan bambu, baik pada elemen baja ringan maupun penerapannya pada rangka kuda-kuda, mendapatkan perbandingan kapasitas beban tekuk struktur rangka hasil pengujian dan permodelan *software SAP 2000 Versi 14*.

TINJAUAN PUSTAKA

Analisis dan pengujian perilaku baja ringan dengan penambahan bambu sebagai perkuatan terhadap bahaya tekuk belum pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya karena hal ini tergolong baru, namun beberapa peneliti terdahulu melakukan hal serupa seperti Samsulrizal (2002) menganalisis pengaruh tekuk yang dilakukan terhadap penampang berdinding tipis terbuka *Channel cold formed* sebanyak 10 (sepuluh) profil dengan variasi ukuran lebar dan dimensi untuk tinggi yang tetap. Hasilnya profil *C-Channel* mengalami penurunan kapasitas lentur penampang berkisar pada 4% sampai 69% sehingga disarankan agar terjadi perpindahan yang lebih kecil, maka dalam pemilihan penampang sebaiknya dilakukan pemeriksaan rasio I_y / I_x agar diperoleh momen tekuk kritis yang besar.

Pengujian tarik (*tensile test*)

Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan atau material dengan cara memberikan gaya yang berlawanan arah. Uji tarik dilakukan secara kontinu sampai bahan tersebut meregang dan mengalami putus sehingga menghasilkan kurva hubungan antara beban tarikan dan perubahan panjang seperti pada Gambar 1.

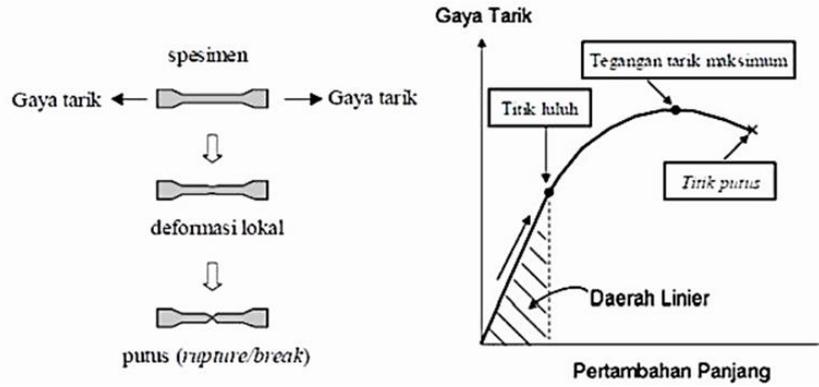
Tegangan (*stress*) merupakan beban dibagi luas penampang bahan dan regangan (*strain*) adalah pertambahan panjang dibagi panjang awal bahan, seperti pada persamaan tegangan dan regangan berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (1)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots (2)$$

Hubungan antara tegangan dan regangan dirumuskan dalam persamaan berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots (3)$$

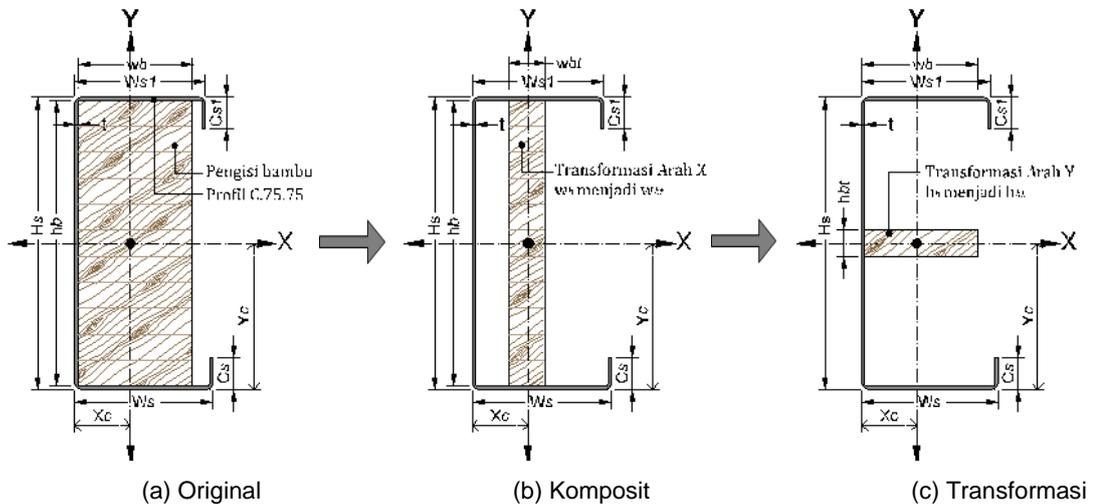


Gambar 1. Kurva Uji Tarik Hubungan Tegangan dan Pertambahan Panjang

Profil C75.75.75 Baja Ringan (Cold Formed Steel)

Material bahan dasar pembentuk baja ringan pada umumnya adalah seng (zink) dan aluminium (AL). Seng merupakan bahan pembentuk yang bersifat kaku tapi lemah terhadap karat (korosi). Bahan ini di padukan dengan aluminium (AL) yang lentur tetapi tahan terhadap karat (korosi) sehingga saling mengisi kekurangan masing-masing. Perpaduan dari kedua bahan tersebut menghasilkan bahan yang kaku sekaligus tahan terhadap korosi. Material baja ringan berupa lembaran (Steel Coil) dengan ketebalan tertentu antara 0,4mm - 1.2mm.

Elemen batang baja ringan dapat merupakan penampang tunggal maupun penampang gabungan. Untuk menahan beban, profil baja ringan dapat dikombinasikan dengan bahan material yang sama (modulus sejenis) maupun dengan material yang berbeda (composite), seperti gambar berikut:



Gambar 2. Metode transformasi dengan 2 (dua) sumbu lentur

Garis netral (titik berat) profil X_o dan Y_o dapat ditentukan seperti berikut:

$$X_o = \left(\frac{A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2 + A_3 \cdot x_3 + A_4 \cdot x_4 + A_5 \cdot x_5}{A_s} \right) \dots\dots\dots (4)$$

$$Y_o = \left(\frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2 + A_3 \cdot y_3 + A_4 \cdot y_4 + A_5 \cdot y_5}{A_s} \right) \dots\dots\dots (5)$$

Dengan x_1, x_2, x_3, x_4 dan x_5 adalah titik berat masing-masing segmen dari sisi kiri profil sedangkan y_1, y_2, y_3, y_4, y_5 adalah titik berat masing-masing segmen dari sisi bawah profil. Titik berat profil baja dari sisi kiri (X_o) mm, titik berat profil baja dari sisi bawah (Y_o) mm, dan luas total penampang profil (A_s) mm².

Momen Inersia I_x dan I_y profil baja terhadap sumbu X dan sumbu Y, ditentukan dengan persamaan berikut:

$$I_{s,x} = \sum_{y=1}^n \left(\frac{1}{12} b \cdot h^3 + A_n (Y_o - y_n)^2 \right) \dots\dots\dots (6)$$

$$I_{s,y} = \sum_{x=1}^n \left(\frac{1}{12} b^3 h + A_n (X_o - x_n)^2 \right) \dots\dots\dots (7)$$

dengan: I_x ($I_{s,x}$) = Momen Inersia baja terhadap sumbu (mm⁴), I_y ($I_{s,y}$) = Momen Inersia baja terhadap sumbu Y (mm⁴), b = Lebar segmen baja yang ditinjau (mm), h = Tinggi segmen baja yang ditinjau pada arah lentur (mm), x_n = Titik berat segmen baja yang ditinjau dari sisi kiri profil (mm), y_n = titik berat segmen baja yang ditinjau dari sisi bawah profil (mm), dan A_n = luas penampang segmen baja yang ditinjau (mm²).

Untuk melakukan transformasi 2 (dua) material yang berbeda, maka titik berat profil pada satu sumbu lentur dipertahankan dan titik berat profil sebelum transformasi (*pra-transformasi*) merupakan basis titik berat salah satu sumbu lentur penampang gabungan setelah transformasi (*post-transformasi*), titik berat *pra-transformasi* ditentukan dengan:

$$X_p = \left(\frac{A_s X_o + A_b \cdot x_b}{A_s + A_b} \right) \dots\dots\dots (9)$$

$$Y_p = \left(\frac{A_s \cdot Y_o + A_b \cdot y_b}{A_s + A_b} \right) \dots\dots\dots (10)$$

Dengan: X_p = Titik berat gabungan *pra-transformasi* dari sisi kiri, Y_p = Titik berat gabungan *pra-transformasi* dari sisi bawah, X_o = Titik berat profil baja dari sisi kiri (mm) dan Y_o = Titik berat profil baja dari sisi bawah (mm), x_b = Titik berat bambu *pra-transformasi* dari sisi kiri (mm), y_b = Titik berat bambu *pra-transformasi* dari sisi bawah (mm). Pendekatan dari persamaan 8 dan 9 dapat ditentukan titik berat penampang gabungan setelah transformasi, dengan persamaan berikut:

$$X_c = \left(\frac{A_s X_o + A_{bt} \cdot x_{bt}}{A_c} \right) \dots\dots\dots (11)$$

$$Y_c = \left(\frac{A_s \cdot Y_o + A_{bt} \cdot y_{bt}}{A_c} \right) \dots\dots\dots (12)$$

dengan: X_c = Titik berat gabungan setelah transformasi dari sisi kiri (mm), Y_c = Titik berat gabungan setelah transformasi dari sisi bawah (mm), A_c = luas penampang gabungan hasil transformasi (mm²), x_{bt} = titik berat bambu setelah transformasi dari sisi kiri (mm), y_{bt} = titik berat bambu setelah transformasi dari sisi bawah (mm).

Jika lebar bambu (w_b) ditransformasikan searah sumbu X, maka lebar transformasi bambu sebagai berikut:

$$w_{bt} = w_b \cdot n \dots\dots\dots (13)$$

$$n = \frac{E_b}{E_s} \dots\dots\dots (14)$$

$$A_c = A_s + w_{bt} \cdot h_b \dots\dots\dots (15)$$

dengan: E_b = Modulus Elastisitas bambu (MPa), E_s = Modulus Elastisitas baja (MPa), A_c = Luas penampang gabungan setelah transformasi (mm^2), A_s = Luas penampang baja (mm^2), A_{bt} = Luas transformasi penampang bambu (mm^2), w_b = Lebar nominal bambu (mm), w_{bt} = Lebar transformasi bambu (mm).

Struktur Rangka (*Truss*)

Struktur rangka atap merupakan bagian struktur bangunan yang menahan atau mendistribusikan beban-beban dari atap, baik berupa beban mati (berat sendiri atap), beban hidup, beban angin, hujan dan beban salju. Menurut Schodek dalam Pratama, dkk (2000):

- a) Rangka atap selalu membentuk segitiga atau kombinasi,
- b) Batang dianggap lurus dan hanya menerima beban aksial berupa gaya tekan dan gaya tarik yaitu gaya batang yang bekerja sepanjang sumbu batang,
- c) Join merupakan penghubung yang dianggap sebagai sendi sehingga cenderung tidak dapat menerima momen,
- d) Beban yang bekerja hanya pada join.

Gaya Tekuk Elastis (*Buckling*)

Buckling merupakan keadaan dimana suatu struktur tidak mampu mempertahankan bentuk aslinya, sedemikian rupa sehingga berubah bentuk dalam rangka menemukan keseimbangan baru. Konsekuensi buckling pada dasarnya adalah masalah geometric dasar, dimana terjadi defleksi besar sehingga akan mengubah bentuk struktur. Beban tekuk kritis atau beban maksimum yang dapat dipikul oleh batang tekan dengan kelangsingan tertentu sebelum terjadi ketidakstabilan (tekuk) ditentukan dengan persamaan Euler sebagai berikut:

$$P_c = \frac{\pi^2 E I}{k L^2} \dots\dots\dots (16)$$

Untuk penampang gabungan dengan 2 (dua) material berbeda dapat ditransformasikan menjadi:

$$P_c = \frac{\pi^2 E_c I_c}{k L^2} \dots\dots\dots (17)$$

dengan: P_c = Beban tekuk kritis Euler (N), E = Modulus Elastisitas lentur (Mpa), E_c = Modulus Elastisitas gabungan (MPa), I = Momen Inersia sumbu lemah (mm^4), I_c = Momen Inersia komposit sumbu lemah (mm^4), k = Faktor panjang tekuk (panjang efektif) (mm), L = Panjang teoritis elemen struktur tekan (mm).

Bambu

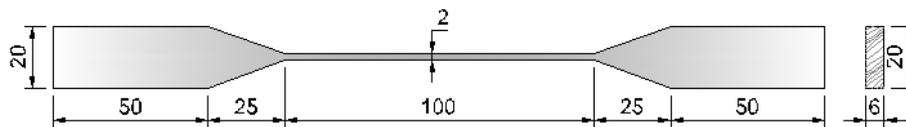
Pada konstruksi, bahan bambu hanya dipakai secara utuh dalam bentuk bulat dengan jenis sambungan konvensional (pasak), dengan perkembangan teknologi bambu diolah menjadi bahan jadi yang bernilai tinggi seperti panel bambu, balok bambu, bambu lapis dalam bentuk yang lebih modern dan praktis. Akan tetapi bambu memiliki kelemahan seperti, rentan terhadap serangan rayap, bubuk dan jamur sehingga usianya pendek, mudah terbakar, ukuran yang tidak seragam, sulit dalam sistem penyambungan konstruksi. Kekurangan tersebut saat ini telah dapat diatasi misalnya dengan pengawetan untuk mencegah hama perusak bambu. Jenis bambu yang sering dipakai sebagai

konstruksi adalah bambu petung aplikasinya pada konstruksi perahu, kursi, dipan, saluran air, penampung air aren hasil sadapan, dinding (gedeg), dan berbagai macam jenis kerajinan.

Sifat mekanis bambu secara teoritis tergantung pada: 1). Jenis bambu yang berkaitan dengan tumbuh-tumbuhan, 2). Umur bambu pada waktu penebangan, 3). Kelembaban pada batang bambu. 4). Bagian batang bambu yang digunakan (bagian kaki, pertengahan, dan kepala), 5). Letak dan jarak ruasnya masing-masing (bagian ruas kurang tahan terhadap gaya tekan dan lentur).

Kuat Tarik Bambu

Kuat tarik bambu adalah kekuatan bambu untuk menahan gaya yang menarik bambu tersebut. Luas penampang keritis menentukan dalam menghitung kuat tarik bambu yaitu luasan tampang bersih (netto), dengan memperhitungkan pengaruh lubang dan cacat yang ada.



Gambar 3. Spesimen Dalam Pengujian Kuat Tarik

Dalam menentukan kuat tarik, dilakukan pengujian tegangan tarik bambu dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_{tr//} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(18)$$

dengan: $\sigma_{tr//}$ = Kuat tarik bambu sejajar serat (N/mm²), P = Beban maksimum (N), A = Luas penampang (mm²)

Kuat Tekan

Kekuatan bambu untuk menahan gaya tekan, tergantung pada bagian ruas dan bagian antar ruas batang bambu yang digunakan sebagai sample. Bagian batang tanpa ruas memiliki kuat tekan antara 8 - 45 % lebih tinggi dari pada batang bambu beruas.

Modulus Elastisitas Bambu

Modulus elastisitas merupakan keteguran lentur pada batas elastis bahan. Keteguran lentur adalah rasio beban terhadap regangan di bawah proporsional. Peningkatan modulus elastisitas seiring dengan peningkatan nilai keteguran lentur suatu bahan.

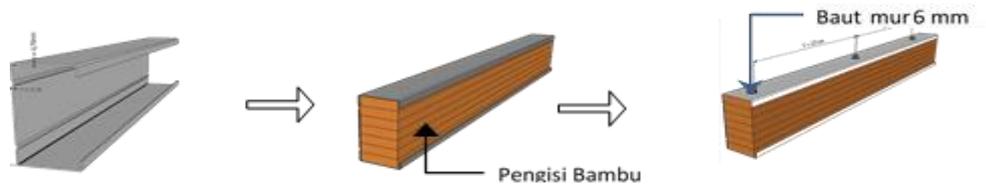
METODE PENELITIAN

Permodelan dan Pembuatan Benda Uji

Pengujian baja ringan yaitu pengujian tekan dengan memberikan beban aksial secara kontinu baik pada batang baja ringan tanpa perkuatan maupun dengan perkuatan bambu.

- a) Elemen Profil Baja Ringan

Jumlah Variasi benda uji 4 buah dengan variasi panjang 400 mm, 600 mm, 800 mm dan 1000 mm baik tanpa perkuatan maupun dengan perkuatan bambu.

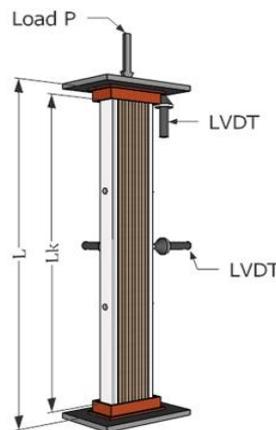


Gambar 4. Kombinasi Baja Ringan Diperkuat Dengan Bambu.

Tabel 1. Daftar benda uji dan cara pengujian tekan

No	Section	Panjang (L) mm	Panjang Efektif (Lk) mm	Jumlah unit	Pengujian Beban Tekan
1	C75.75	400	375	1	sampai tekuk
		600	575	1	sampai tekuk
		800	775	1	sampai tekuk
		1000	975	1	sampai tekuk
2	C75.75+Bambu	400	375	1	sampai tekuk
		600	575	1	sampai tekuk
		800	775	1	sampai tekuk
		1000	975	1	sampai tekuk
Total Benda Uji Elemen				8	

Pengujian tekan dilakukan dengan memberi beban aksial tekan pada setiap elemen baja ringan, dengan memberikan alas sebagai tumpuan pada masing-masing ujung elemen, seperti gambar berikut:

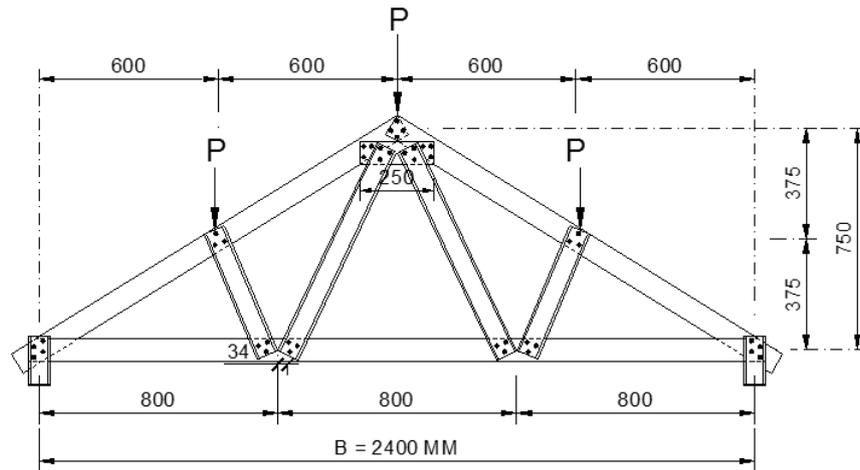


Gambar 5. Metode pengujian beban dan panjang efektif

b) Rangka Baja Ringan (Truss)

Jenis dan tipe kuda-kuda sebagai benda uji diuraikan sebagai berikut:

- Jumlah kuda-kuda : 2 rangka kuda-kuda
- Bentang (L) : 2,40 meter
- Kemiringan : 32 derajat
- Posisi bambu : batang atas utama (batang tekan)
- Tipe kuda-kuda : kuda-kuda simetris



Gambar 6. Permodelan Rangka dan Pembebanan Kuda-Kuda

Pengujian ini adalah pengujian beban pada kuda-kuda dengan memberikan beban secara kontinu, baik pada kuda-kuda baja ringan tanpa perkuatan maupun dengan perkuatan bambu (pada batang tekan), sampai terjadinya kegagalan rangka.



Gambar 7. Permodelan Rangka dan Pembebanan Kuda-Kuda

Pengujian Laboratorium

Sebelum melakukan pengujian terlebih dahulu mempersiapkan alat uji yang dibutuhkan seperti:

- Dial-Gauge (alat yang berfungsi untuk mengukur defleksi secara analog yang terjadi pada benda uji, saat pengujian berlangsung)
- Pompa Hidrolis kapasitas 200 KN (alat yang berfungsi untuk membebani benda uji, saat pengujian berlangsung)
- Proving-ring (alat yang berfungsi untuk mengukur beban secara analog yang diberikan pada benda uji, saat pengujian berlangsung)

Pelaksanaan pengujian laboratorium, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Memberi beban tekan awal 10 div sesuai setting pengujian laboratorium.
- Mencatat besarnya beban dan defleksi (Δ) akibat beban awal.
- Menambah beban secara terus menerus dengan penambahan sebesar 10 Lbs ($P = 10 \text{ Lbs}$, $P = 20 \text{ Lbs}$, $P = 25 \text{ Lbs}$, $P = 30 \text{ Lbs}$, dst.).
- Mencatat kembali secara terus menerus besar beban dan defleksi (Δ) setiap penambahan beban.
- Menghentikan penambahan beban saat benda uji mengalami tekuk (buckling) atau patah.

- f) Mencatat besar beban maksimum (P_{\max}) yang mampu ditahan, besar defleksi (δ) yang terjadi, sesaat setelah benda uji mengalami tekuk (buckling).

Analisis Data

Analisis data dilakukan setelah eksperimen dan properti data-data pengujian laboratorium diperoleh, kemudian melakukan perhitungan analisis beban tekuk Euler dan selanjutnya dilakukan analisis dengan memodelkan pada aplikasi software SAP 2000 versi 14 untuk memperoleh kapasitas beban aksial. Seluruh hasil analisis dan pengujian tekan laboratorium kemudian dibandingkan untuk mengambil kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Mekanik Baja

Pengujian tarik (*tensile test*) material bahan dasar baja ringan dimaksudkan untuk mendapatkan data properti bahan dalam mendukung analisis selanjutnya. Properti data hasil uji tarik bahan profil baja ringan diuraikan sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil pengujian tarik *cold formed steel C.75.75*

No	Kode Benda Uji	Tegangan Leleh (f_y) N/mm ²	Tegangan Ultimate (f_u) N/mm ²	Regangan Max (ϵ_s)%	Keterangan
1	PBR75-1	433,02	448,03	6,7	PBR75 = Pelat Baja Ringan C.75.75
2	PBR75-2	469,73	488,82	3,8	
3	PBR75-3	430,61	525,62	9,5	
Nilai Rata - Rata		444,45	487,49	6,67	

Sumber: Hasil Analisis dan Pengujian.

Sifat Mekanik Bambu

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian beberapa sifat fisik dan sifat mekanik bambu petung yang diperlukan dalam menunjang pembahasan untuk menarik kesimpulan Pengujian sifat fisik dan mekanik bambu didasarkan pada pengujian-pengujian yang pernah dilakukan oleh Ghavami, (1988) dalam Morisco, (1999). Properti data hasil pengujian tarik bahan bambu diuraikan sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil pengujian tarik bambu dengan nodia

No	Kode Benda Uji	Tegangan Leleh (f_y) N/mm ²	Tegangan Ultimate (f_u) N/mm ²	Regangan Max (ϵ_s) %	Keterangan
1	PBDN-1	146,57	152,36	1,7	PBDN = Pengujian Bambu Dengan Nodia
2	PBDN-2	121,08	155,67	7,8	
3	PBDN-3	174,15	191,89	2,1	
Nilai Rata - Rata		147,27	166,64	3,87	

Sumber : Hasil Analisis dan Pengujian.

Tabel 4. Hasil pengujian tarik bambu tanpa nodia

No	Kode Benda Uji	Tegangan Leleh (f_y) N/mm ²	Tegangan Ultimate (f_u) N/mm ²	Regangan Max (ϵ_s) %	Keterangan
1	PBTN-1	245,27	361,48	3,8	PBDN = Pengujian Bambu Tanpa Nodia
2	PBTN-1	307,29	375,79	6,5	
3	PBTN-1	349,77	366,11	4,1	
Nilai Rata - Rata		300,78	367,79	4,80	

Sumber : Hasil Analisis dan Pengujian.

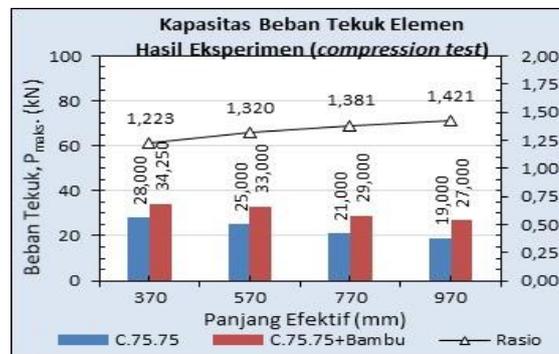
Dari tabel diatas diperoleh tegangan bambu sebesar 166,64 N/mm dan 367,79 N/mm baik dengan nodia maupun tanpa nodia dengan kadar air sebesar 14,24% yang diperoleh dari pengujian laboratorium.

Hasil Pengujian Elemen Dan Rangka

Pengujian kapasitas beban tekan untuk elemen batang baja ringan maupun pengujian kapasitas beban rangka kuda-kuda baik untuk elemen tanpa perkuatan maupun diperkuat dengan bambu diperoleh hasil pengujian tekan sebagai berikut:

a) Hasil Pengujian Elemen.

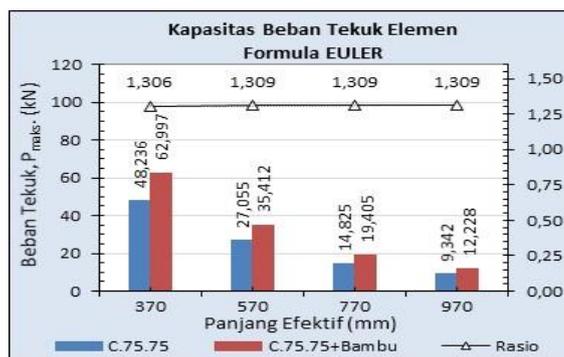
Hasil pengujian tekan untuk elemen baja ringan dengan beberapa varias panjang, termasuk dengan bahan perkuatan bambu diurakan pada Gambar 8. Hasil eksperimen menunjukkan kapasitas beban tekuk meningkat untuk variasi panjang elemen (L) 400 mm, 600 mm, 800 mm dan 1000 mm, dengan rasio 1,223, 1,320, 1,381 dan 1,421. Peningkatan kapasitas rata - rata sebesar 33,60% setelah diperkuat dengan pengisi bambu.



Gambar 8. Grafik kapasitas beban elemen hasil eksperimen

b) Hasil Formula Euler

Hasil analisis kapasitas beban tekuk formula Euler dituangkan dalam grafik 9 berikut:

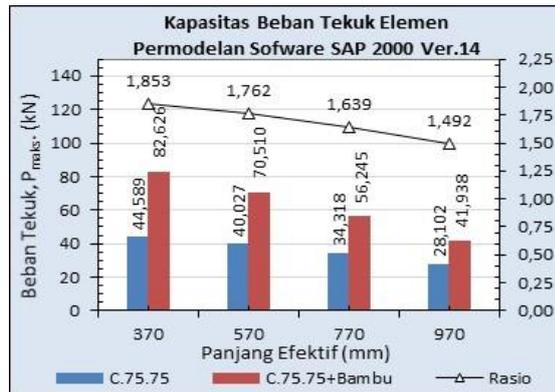


Gambar 9. Grafik kapasitas beban elemen hasil formula Euler (Sumber Hasil Perhitungan)

Melihat Gambar 9 diatas bahwa Hasil formula Euler menunjukkan kapasitas beban tekuk meningkat untuk semua variasi panjang elemen masing-masing dengan rasio 1,306, 1,309, 1,309 dan 1,309. Peningkatan kapasitas rata - rata sebesar 30,800% setelah diperkuat dengan pengisi bambu petung

c) Hasil Permodelan Software SAP 2000 Ver. 14

Hasil analisis kapasitas beban tekuk permodelan SAP 2000 dituangkan dalam gambar 10:

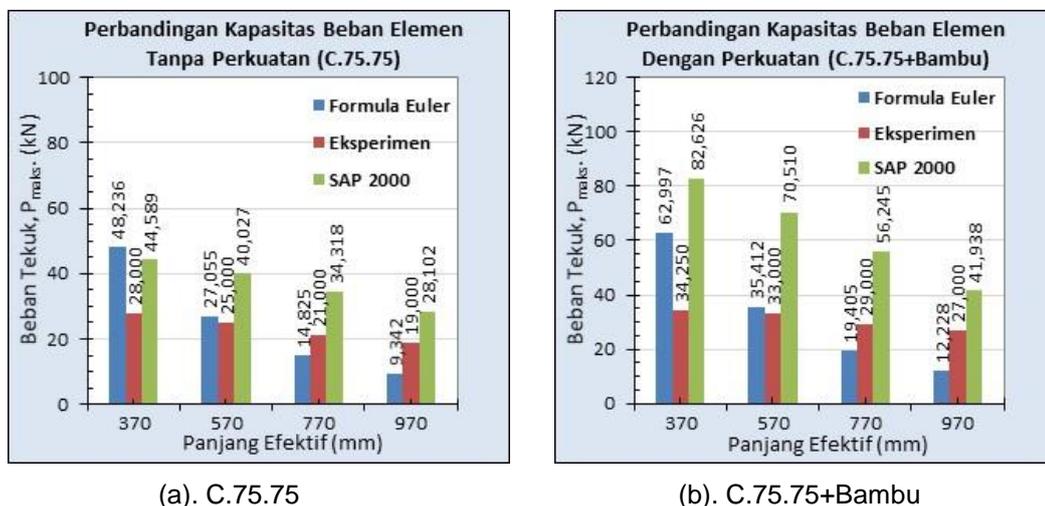


Gambar 10. Grafik kapasitas beban tekuk Permodelan SAP 2000 Ver. 14
(Sumber Hasil Perhitungan)

Melihat Gambar 10, hasil permodelan *SAP 2000 Ver. 14* menunjukkan kapasitas beban tekuk meningkat untuk semua variasi panjang elemen masing-masing sebesar 1,853, 1,762, 1,639 dan 1,492. Peningkatan kapasitas rata-rata sebesar 68,7% setelah diperkuat dengan pengisi bambu. Hasil permodelan *SAP 2000 Ver. 14*.

d) Perbandingan Kapasitas Beban Tekuk

Mengacu pada hasil yang telah diuraikan di atas maka terdapat perbedaan antara hasil uji tekan, hasil analisis Euler dan analisis software *SAP 2000*, maka nilai dan rasio kapasitas beban tekuk diuraikan dalam Gambar 11 sebagai berikut:



Gambar 11. Grafik Perbandingan Kapasitas Beban Elemen
Sumber: Hasil Pengujian dan Analisis

Dari hasil analisis dalam tabel di atas, maka terdapat beberapa kesamaan dan perbedaan hasil ketiga analisis tersebut seperti: Kapasitas beban tekuk semakin berkurang seiring dengan bertambahnya panjang batang atau bergantung pada kelangsingan batang atau elemen. Batas kelangsingan penampang dipengaruhi oleh besarnya beban aksial, dimensi dan panjang elemen. Formula Euler memberikan batasan kelangsingan untuk panjang elemen 400 mm, sedangkan untuk panjang elemen > 400 mm faktor kelangsingan mempengaruhi kapasitas tekuk dengan

mengalami tegangan tekuk sebelum memasuki tegangan leleh f_y (*yield stress*). Kapasitas beban tekuk elemen C.75.75 tanpa perkuatan, formula Euler memberikan hasil yang lebih besar dibandingkan hasil eksperimen dan permodelan SAP 2000. Sedangkan untuk kapasitas elemen C.75.75 dengan perkuatan bambu, permodelan SAP 2000 memberikan hasil lebih besar dibandingkan hasil eksperimen maupun formula Euler.

e) Hasil Uji Beban Rangka Kuda-Kuda (*Frame Loading Test*)

Pengujian beban pada rangka dilakukan untuk mendapatkan kapasitas beban total pada rangka kuda - kuda baja ringan C.75.75 tanpa perkuatan dan dengan perkuatan bambu. Hasil pengujian beban rangka untuk kuda - kuda tanpa perkuatan dan dengan perkuatan bambu diuraikan dalam Tabel 5:

Tabel 5. Hasil pengujian beban rangka baja ringan bentang L = 2,40 m

No	Elemen Kuda-kuda Baja Ringan	Berat Rangka (KN)	Hasil Uji Beban (KN)	Kapasitas Beban (KN)	Defleksi Max (mm)	Rasio Defleksi Thd. Beban (mm/KN)
1	C.75.75	0,31	15,500	15,805	12,74	0,806
2	C.75.75 + Bambu	0,34	22,250	22,585	14,48	0,641
Nilai Rata - Rata						0,72

Sumber : Hasil uji tekan *compression test*

Melihat hasil tersebut menunjukkan bahwa kapasitas beban yang dapat ditahan rangka kuda-kuda baja ringan cukup tinggi, masing-masing sebesar sebesar 15.81 kN untuk rangka baja tanpa perkuatan dan 22.59 kN untuk rangka baja dengan perkuatan bambu, rasio peningkatan bebannya sebesar 1,43. Defleksi pada rangka kuda-kuda tanpa perkuatan sebesar 12,74 mm lebih kecil dibanding dengan kuda-kuda perkuatan bambu sebesar 14,48 mm.

Besarnya rasio defleksi terhadap beban yang bekerja untuk kuda-kuda dengan pengisi bambu sebesar 0,16 mm/kN dan 0,12 mm/kN, sehingga dapat dikatakan bahwa kekakuan struktur mengalami peningkatan sebesar 0,064 mm/kN. Kapasitas beban tekuk batang tekan meningkat rata-rata sebesar 1,43 atau sebesar 42,9,40% setelah diperkuat dengan bahan pengisi bambu.

f) Hasil Permodelan Rangka Kuda-Kuda dengan Software SAP 2000 Ver. 14

Permodelan rangka pada software SAP 2000 dilakukan untuk mendapatkan kapasitas beban total rangka kuda-kuda tanpa perkuatan dan rangka kuda-kuda dengan perkuatan bambu. Hasil permodelan dengan menggunakan Steel Frame Design Preferences, Design Code AISC 360-05/IBC2006, diperoleh kapasitas beban rangka kuda - kuda tanpa pengisi dan dengan pengisi bambu diuraikan dalam Tabel 6 berikut:

Tabel 6. Hasil permodelan rangka kuda-kuda dengan SAP 2000

No	Parameter Pengujian Beban Rangka Kuda-Kuda	Hasil Permodelan SAP 2000 Ver. 14 Kuda-Kuda Bentang 2,40 Meter		Rasio (4)/(3)
		Tanpa Perkuatan C.75.75	Dengan Perkuatan C.75.75 + Bambu	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	Kapasitas Beban Pmaks. (kN)	26,34	37,50	1,424
2	Defleksi Maksimum (mm)	4,31	4,42	1,025

Sumber : Hasil Uji Analisis SAP 2000

Hasil permodelan beban rangka kuda-kuda dengan SAP 2000 v.14 menunjukkan kapasitas beban rangka rata-rata sebesar 1,42 atau dengan prosentase 42,40% setelah diperkuat dengan pengisi bambu petung.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium untuk uji beban aksial dan uji beban rangka kuda-kuda, setelah dilakukan analisis kapasitas pada elemen baja ringan sebelum diperkuat maupun sesudah diperkuat bambu, dapat diambil beberapa simpulan seperti, 1). Hasil pengujian tekan pada elemen baja ringan C75.75.7,5 kapasitas beban tekuk sebelum dan setelah diberi perkuatan berkurang seiring bertambah panjangnya elemen dan kapasitas beban tekuk setelah diberi perkuatan meningkat rata-rata 1.336 atau sebesar 33.60%, 2). Perhitungan dengan formula Euler kapasitas beban meningkat rata-rata sebesar 1.308 atau 30.80% setelah diberi perkuatan dengan bambu dan formula Euler memberikan batasan kelangsingan pada panjang elemen (L) 800 mm baik tanpa perkuatan maupun dengan perkuatan bambu yang ditandai dengan tercapainya tegangan leleh f_y sebelum tegangan tekuk. 3). Permodelan SAP 2000 pada elemen baja ringan menunjukkan peningkatan kapasitas beban 1,686 atau sebesar 68,60% setelah diperkuat dengan bambu. 4). Perhitungan kapasitas tekuk formula Euler pada semua variasi panjang elemen lebih besar dibandingkan hasil uji tekan maupun hasil permodelan SAP 2000 versi 14, 5). Hasil pengujian beban rangka kuda-kuda bentang 2,40 meter memperoleh kapasitas 15,81 kN untuk rangka tanpa perkuatan dan 22,59 kN untuk rangka dengan perkuatan bambu sehingga peningkatan kapasitas beban sebesar 1,429 atau 42,90%. 6). Hasil permodelan SAP 2000 pada rangka kuda-kuda mengalami peningkatan kapasitas beban 1,424 atau sebesar 42,40% setelah diberi perkuatan bambu.

Saran

Perlu dilakukan penelitian yang lebih spesifik untuk baja ringan dengan variasi penampang dan bahan pengisi bambu lainnya. Penelitian dengan berbagai macam profil baja ringan (selain profil kanal) dan jumlah benda uji yang lebih banyak dapat memberikan gambaran peningkatan kapasitas yang realistis dan menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

- Awaludin Ali, (2015), "**Development of cold formed steel - timber composite for roof structures compression members**", ScienceDirect, Procedia Engineering 125, 850 – 856
- Hafid, A. N. (2011), "**Modul Konstruksi Kayu**", Universitas Sebelas Maret - Surakarta.
- Hanggarsari, K. (2012), "**Analisis Dan Pengujian Model Baja Ringan Dengan Variasi Cover Plat**", Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Maulana, T.R, (2011), "**Identifikasi Faktot-faktor Benefit yang Berpengaruh Pada Penggunaan Rangka Atap Baja Ringan Di Wilayah DKI Jakarta**", Tesis, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.
- Morisco, (1999), "**Rekayasa Bambu**", Nafiri Offset, Yogyakarta
- Pratama, B.S., Saggaff, A. dan Muliawan, S. (2000), "**Analisis Beban Ultimate Struktur Rangka Atap Sentris dan Non Sentris Menggunakan Profile Baja Ringan**", Eprints.unsri.ac.id/4236/1/Analisis_Beban.pdf

Samsulrizal (2002), "**Pengaruh Tekuk Terhadap Kapasitas Lentur Pada Penampang Berdinding Tipis Terbuka**", Institut Teknologi Bandung, Bandung

SAP 2000 (2009), "**Basic Analysis Reference Manual Linear and Nonlinear Static and Dynamic Analysis and Design of Three-Dimensional Structures**", ISO#SAP041709M2 Rev. 0 Version 14 Berkeley, California, USA

Siagian, J.O (2008), "**Analisa Tekuk Kolom Baja Ringan (Zincalume) dan Baja Konvensional**", Repository.usu.ac.id/bitstream/.../1/09E00069.pdf

SNI 1729 (2002), "**Tata Cara Perencanaan Struktur Baja**", Badan Standarisasi Nasional Indonesia.