

Uji Eksperimental Sambungan Pelat Baja Perantara dengan Sekrup Kunci pada Hubungan Balok-Kolom Kayu Meranti Merah

Experimental Test of Intermediate Steel Plate Connections with Lag Screws in Red Meranti Wood Beam-Column Connections

Theresia Agustina, Johannes Adhijoso Tjondro, David Setiawan

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Indonesia

Article Info

Article history:

Received 25, Januari, 2024

Revised 28, Oktober, 2024

Accepted 29, Oktober, 2024

Kata Kunci

Daktilitas

Meranti merah

Pelat perantara

Sekrup kunci

Sendi plastis

Abstrak

Kayu merupakan salah satu material yang sering digunakan sebagai konstruksi gedung khususnya untuk bangunan dengan ketinggian menengah (*mid-rise building*). Sifat kayu yang getas memberikan keterbatasan dalam penggunaannya sebagai elemen struktural yang tahan terhadap beban gempa, sehingga harus dikombinasikan dengan elemen baja sebagai *fuse* untuk meningkatkan daktilitasnya. Penelitian ini dilakukan dengan menguji sambungan balok dan kolom kayu solid meranti merah menggunakan pelat baja perantara dengan bantuan sekrup kunci sebagai pengencang dengan harapan menghasilkan daktilitas yang cukup besar dan menjadi sistem rangka penahan momen. Sampel sambungan yang diuji adalah sebanyak 3 sampel dan diuji menggunakan pembebanan monotonik. Pengujian properti kayu meranti merah, pengujian kekuatan tarik baja dan pengujian kekuatan lentur leleh sekrup telah dilakukan untuk mendesain sambungan sesuai dengan ASTM D143-22, ASTM D1761-20, ASTM D5764-24, ASTM E8/E8M-22, dan ASTM F1575/F1575M-21. Perilaku yang dikaji pada penelitian ini adalah kapasitas momen, rotasi sambungan, dan daktilitas sambungan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sambungan B-1, B-2, dan B-3 memiliki kekakuan awal berkisar dari 10,17 N/mm – 19,05 N/mm serta adanya degradasi kekakuan rata-rata sebesar 11,25 N/mm. Sambungan mengalami sendi plastis dengan beban sendi plastis sebesar 1617,37 N pada saat mencapai pembebanan ultimit. Sendi plastis terjadi di daerah pengencangan sekrup kunci yang ditandai dengan kelelahan pada daerah-daerah tersebut. Daktilitas sambungan yang dihasilkan dari sambungan berkisar 4,0097 – 4,7642. Kesimpulan yang diperoleh bahwa sambungan pelat baja perantara dengan sekrup kunci pada hubungan balok-kolom kayu meranti merah menghasilkan daktilitas yang cukup besar sehingga dapat digunakan sebagai rangka penahan momen.

Abstract

Timber is a material that is often used as building construction, especially for mid-rise buildings. The brittle nature of wood limits its use as a structural element resistant to earthquake loads, so it must be combined with steel elements as a fuse to increase its ductility. This research was conducted by testing the connection of meranti merah solid wood beams and columns using intermediate steel plates with the help of lock screws as fasteners in the hope of producing considerable ductility and becoming a moment resisting frame system. Three connection samples were tested and tested using monotonic loading. Meranti merah wood property testing,

Keywords:

Ductility

Meranti merah

Intermediate plate

Lag screws

Plastic hinge

steel tensile strength testing and screw yield flexural strength testing were conducted to design the connection in accordance with ASTM D143-22, ASTM D1761-20, ASTM D5764-24, ASTM E8/E8M-22, and ASTM F1575/F1575M-21. The behaviors studied in this study are moment capacity, joint rotation, and joint ductility. The test results showed that joints B-1, B-2, and B-3 had initial stiffness ranging from 10,17 N/mm – 19,05 N/mm and an average stiffness degradation of 11,25 N/mm. The joints experienced plastic joints with a plastic joint load of 1617,37 N when reaching the ultimate loading. Plastic joints occurred in the lock screw fastening areas characterized by yielding in these areas. The resulting joint ductility of the joints ranged from 4,0097 – 4,7642. It is concluded that the connection of intermediate steel plates with lock screws in the beam-column connection of meranti merah wood produces considerable ductility so that it can be used as a moment resisting frame.

Corresponding Author: Agustina, theeresia@gmail.com

A. PENDAHULUAN

Hubungan balok-kolom merupakan salah satu elemen kritis pada saat bangunan menerima beban gempa. Pendetailan yang memadai diperlukan untuk memastikan struktur atau bangunan mampu menerima beban gempa tanpa mengalami keruntuhan khususnya untuk bangunan gedung di Indonesia yang rawan terhadap gempa. Pendetailan dan prosedur perancangan sambungan balok-kolom tahan gempa untuk bangunan yang terbuat dari kayu belum terdefinisi dengan baik. Selain itu, material kayu merupakan material ortotropik yang memiliki sifat yang tidak sama di segala arah, sehingga diperlukan pendetailan sambungan balok-kolom yang baik.

Kayu merupakan material yang memiliki daktilitas yang sangat rendah dan kayu cenderung bersifat getas sehingga perlu dipadukan dengan sambungan atau komponen material lain seperti *screwed rod* untuk memberikan kekakuan dan tahanan kapasitas momen (Liu, dkk., 2023). Sambungan berupa *glued-in rod* pada umumnya menghasilkan kekakuan dan kapasitas momen yang besar (Yang, dkk., 2016). Namun, terdapat keterbatasan jika digunakan sambungan *glued-in rod* yaitu mengenai kualitas dan durabilitas yang

menjadikan struktur dengan sambungan tersebut menjadi dibatasi (Yang, dkk., 2022). Keterbatasan pada sambungan *glued-in rod* di atas dapat diatasi dengan mengganti sambungan tersebut menjadi sambungan *screwed-in threaded rod joints* yang dapat memberikan kekakuan dan kapasitas momen yang besar (Yang, dkk., 2016).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Kawecki, (2024) secara umum kegagalan fraktur terjadi pada arah sejajar serat kayu akibat tumpu dari baut. Sambungan dengan *steel bracket* dapat menghasilkan kekakuan yang tinggi, kapasitas tahanan momen dan disipasi energi (Liu, dkk., 2023). Sambungan pelat baja yang diletakkan di antara balok dan kolom kayu dapat menghasilkan daktilitas yang cukup tinggi dan mencegah terjadinya desakan pada sisi kolom yang berdekatan dengan ujung balok (Li & Wang, 2018).

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian menggunakan sambungan pelat baja dengan sekrup kunci pada balok dan kolom kayu meranti merah menggunakan pengujian monotonik berdasarkan ASTM E2126-19 untuk mendapatkan perilaku sambungan seperti moda kegagalan, kekakuan awal, kapasitas momen, rotasi sambungan, dan

daktilitas sambungan serta dapat dijadikan sebagai sistem rangka penahan momen.

B. TINJAUAN PUSTAKA

Hubungan balok-kolom yang dapat memikul beban gempa atau sistem rangka penahan momen harus dirancang dengan detail sehingga dapat menghasilkan kapasitas momen dan geser serta kekakuan yang besar. Pada umumnya, sistem rangka penahan momen dapat menghasilkan daktilitas yang besar karena pada sistem struktur tersebut terdapat material daktil seperti baja. Pada sistem rangka beton penahan momen digunakan tulangan baja supaya sistem struktur tersebut bersifat daktil. Hal tersebut dapat diterapkan pada sistem rangka kayu penahan momen dengan memadukan elemen baja.

Pada umumnya suatu struktur dikatakan daktil jika struktur tersebut mampu mengalami deformasi besar tanpa adanya kehilangan kekuatan. Sifat daktil sering ditemukan pada elemen baja karena terbentuk dari senyawa besi (Fe) yang memiliki elastisitas dan plastisitas yang tinggi. Baja akan mengalami fase plastis atau sering disebut fase kelelahan pada saat tegangan yang terjadi tepat atau melebihi dari kekuatan lelehnya (F_y). Pada saat itulah daktilitas baja mulai bekerja dengan cara meredam energi melalui pertambahan regangan dari fase elastis ke fase plastis tanpa adanya penambahan tegangan yang signifikan. Pada batas tertentu setelah daktilitas baja tercapai, tegangan akan meningkat sampai dengan tegangan ultimit (F_u) dengan ditandai adanya kegagalan pada elemen baja. Pada struktur kayu, daktilitas yang dimiliki bernilai sangat kecil sehingga tidak dapat dijadikan sebagai struktur tahan gempa dan tidak berbeda jauh dengan material beton.

Penelitian terkait dengan sambungan kayu telah diteliti oleh

Petrycki & Salem, (2020); Luo, dkk., (2022); Reboucas, dkk., (2023); Li, dkk., (2024). Pada penelitian yang dilakukan oleh Mehra, dkk., (2022), daktilitas yang dihasilkan dari sambungan menggunakan dowel kayu berkisar dari 1,5 – 2,5 dan ditandai dengan karakteristik kurva beban – perpindahan yang mirip dengan kurva beban – perpindahan beton yang bersifat getas. Penelitian dilakukan oleh Fang, dkk., (2022a) dan Fang, dkk., (2022b) pada sambungan balok-kolom menggunakan sekrup kunci sebagai sambungan tahanan momen dan didapatkan daktilitas sambungan berkisar 2,16 – 2,98 dengan kategori sambungan dengan daktilitas rendah. Penelitian dilakukan oleh Kang, dkk., (2022) pada sambungan balok-kolom glulam dengan *brace* dan pelat profil L dengan baut dihasilkan daktilitas yang rendah berkisar 1,15 – 2,24 dikarenakan tahanan awal yang kecil oleh baut pada saat awal pengujian dan adanya *slag* ketika beban mencapai beban leleh sehingga kekakuan yang dihasilkan tidak cukup besar dan menghasilkan daktilitas yang kecil.

Sifat kayu yang getas juga menjadi kekurangan dalam penggunaannya sebagai struktur tahan gempa, sehingga diperlukan komponen lain seperti sambungan dengan material baja yang dijadikan sebagai *fuse* (sendi plastis) untuk memberikan efek daktil pada suatu struktur. Konsep sendi plastis memanfaatkan sifat daktil dari elemen baja yang bertujuan untuk meredam energi akibat beban yang cukup besar seperti beban gempa. Letak sendi plastis sendiri dapat direncanakan pada titik-titik tumpuan yang kritis. Konsep perhitungan sendi plastis secara sederhana menggunakan balok model 2 dimensi dengan peletakan *fix-end moment*. Penelitian yang dilakukan oleh Yang, dkk., (2016) pada sambungan tahanan momen menggunakan *steel bracket* dan *glued-in steel rod* menghasilkan daktilitas yang cukup besar berkisar 3 – 3,5 akibat

adanya *steel bracket* di antara sisi kolom dan ujung balok sehingga pada penelitian ini menggunakan pelat baja perantara sebagai sambungan dengan harapan menghasilkan daktilitas yang sama ataupun lebih besar dari penelitian yang terdahulu.

Kekuatan kayu dan sekrup kunci juga mempengaruhi daktilitas sehingga perlu didesain dengan baik sesuai standar yang mengacu pada peraturan pembebanan struktur tahan gempa. Pada penelitian ini digunakan [SNI 7973 – 2013](#) untuk mendesain kekuatan kayu dan sambungan yang digunakan. Kekuatan kayu yang digunakan adalah kekuatan lentur kayu (F_b), kekuatan tumpu kayu (F_e), kapasitas lateral acuan sekrup kunci (Z), kekuatan cabut sekrup kunci (W), kekuatan lentur leleh sekrup kunci (F_{yb}) dan kekuatan tarik pelat baja (F_y) yang direncanakan sesuai dengan [ASTM D143-22](#), [ASTM D1761-20](#), [ASTM D5764-24](#), [ASTM E8/E8M-22](#), dan [ASTM F1575/F1575M-21](#).

C. METODE PENELITIAN

1. Material

Pengujian material dilakukan di Laboratorium Struktur Universitas Katolik Parahyangan. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah kayu meranti merah, pelat baja dan sekrup kunci. Pengujian *small clear spesimen* dilakukan pada kayu meranti dengan menguji kadar air (MC), *specific gravity* (G), kekuatan lentur (F_b) dan modulus elastisitas (E). Pengujian kekuatan tarik baja dan kekuatan lentur leleh sekrup kunci dilakukan untuk mendapatkan tegangan leleh baja (F_y), tegangan ultimit baja (F_u), dan kekuatan lentur leleh sekrup kunci (F_{yb}) yang dapat dilihat pada Tabel 1.

2. Studi Kasus Hubungan Balok-Kolom

Hubungan balok-kolom pada penelitian ini menggunakan sambungan pelat baja perantara yang dikencangkan menggunakan sekrup kunci pada sisi balok dan kolom.

Tabel 1. Pengujian properti kayu meranti merah, baja, dan sekrup kunci

Material	Properti Pengujian	Satuan	Jumlah Sampel	Dimensi Sampel ^(a)	Hasil Pengujian
Kayu	Kadar Air, MC	%	12	50×50×50	13,72
	Berat Jenis, G	kg/cm ³	12	50×50×50	0,67
	Kekuatan Lentur, F_b	MPa	3	50×50×800	72,632
	Modulus Elastisitas, E	MPa	3	50×50×800	8663,83
Baja	Kekuatan Leleh, $F_y^{(b)}$	MPa	3	Sesuai	-
	Kekuatan Ultimit, F_u	MPa	3	ASTM E8	286,18
Sekrup Kunci	Kekuatan Cabut, W	N/mm	3	50×50×50 ^(c)	116,23 ^(d)
			3	50×50×50 ^(c)	157 ^(e)
			4	50×50×100 ^(c)	186,7 ^(f)
	Kekuatan Tumpu, F_e	MPa	6	4D×4D×2D ^(g)	150
	Kekuatan Lentur Leleh, F_{yb}	MPa	6	6,35×101,6 ^(h)	966,65
	Modulus Elastisitas Sekrup Kunci, E_{sk}	MPa	6	6,35×101,6 ^(h)	182235,55

Keterangan :

- a : Semua dimensi dalam satuan milimeter (mm)
- b : Baja tidak mengalami fase plastis sehingga nilai $F_y = 0$
- c : Dimensi kayu sampel kekuatan cabut
- d : Kekuatan cabut sejajar serat sekrup (L = 50,8 mm) penetrasi 25,8 mm
- e : Kekuatan cabut tegak lurus serat sekrup (L = 50,8 mm) penetrasi 25,8 mm
- f : Kekuatan cabut sejajar serat sekrup (L = 101,6 mm) penetrasi 51,6 mm
- g : D = 6,35 mm (diameter sekrup kunci)
- h : Dimensi sekrup kunci (sekrup panjang)

3. Geometri Hubungan Balok-Kolom

Ukuran balok dan kolom yang digunakan berukuran 50×100×700 mm dan 50×100×900 mm dengan jumlah sampel sambungan balok-kolom sebanyak 3 sampel. Ukuran pelat baja perantara yang digunakan berukuran 50×3×204 mm. Lubang sambungan pada pelat baja sebesar 7 mm sedangkan lubang penuntun untuk sekrup kunci pada balok dan kolom berdiameter 5 mm dengan kedalaman 50 mm pada kolom dan 100 mm pada pangkal balok.

Perakitan sambungan dilakukan dengan cara memberikan lubang penuntun berdiameter 5 mm pada lokasi sekrup kunci yang akan dipasang, lalu pada daerah kolom diberi lubang setebal ±6 mm dengan diameter 16 mm sebanyak sekrup kunci yang dikencangkan pada pangkal balok supaya tidak ada celah antara pelat perantara dan tepi kolom. Perakitan sambungan diawali dengan memasang pelat perantara pada pangkal balok lalu dikencangkan dengan sekrup kunci ukuran 6,35×101,6 mm sebanyak 6 buah menggunakan kunci pas No. 10 dan selanjutnya dilakukan pemasangan sekrup kunci ukuran 6,35×50,8 mm

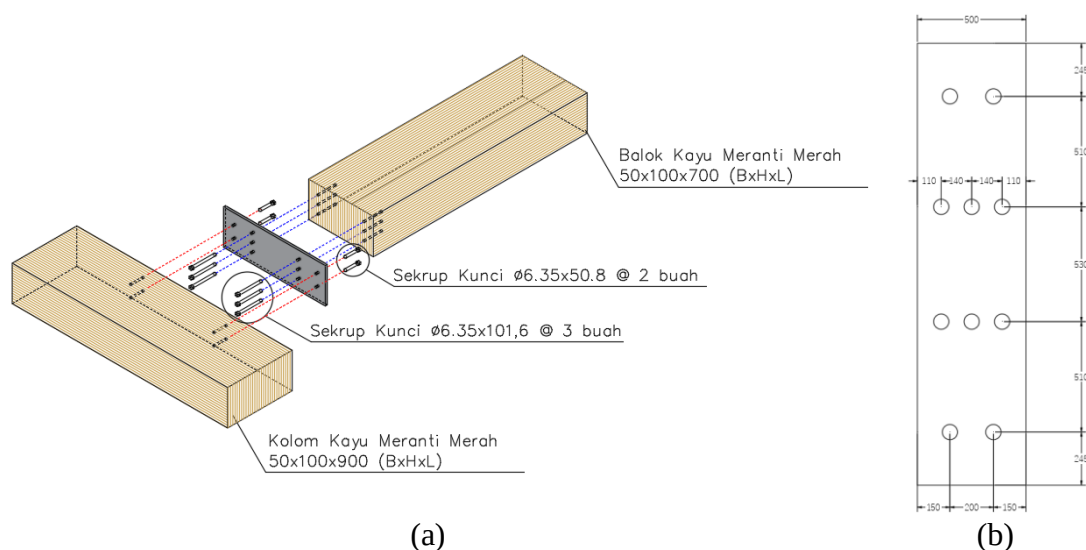
sebanyak 4 buah masing-masing 2 buah pada bagian atas dan bawah pada sisi kolom. Ilustrasi sampel sambungan balok-kolom dapat dilihat pada Gambar 1.

4. Pengaturan Pengujian

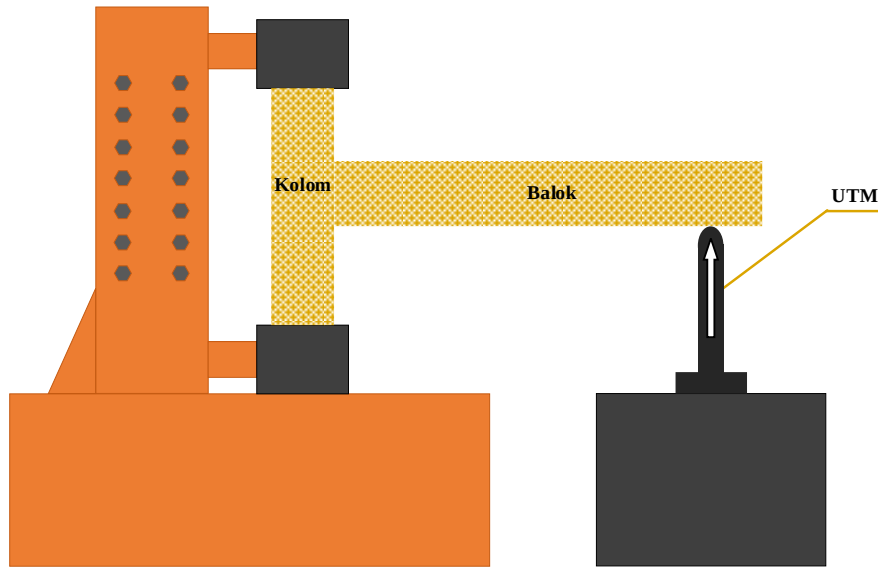
Hubungan balok-kolom diuji menggunakan beban monotonik dengan bantuan mesin UTM (*Universal Testing Machine*) dengan balok menjadi elemen horizontal dan kolom menjadi elemen vertikal. *Set up* pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.

Pada kedua ujung kolom diberi lubang untuk mengikat balok dengan perilaku sebagai sendi dengan ilustrasi seperti pada Gambar 3.

Jarak pembacaan perpindahan UTM (Δ) adalah 660 mm diukur dari muka kolom. Kecepatan pembebanan pada pengujian ini adalah 6 mm/menit. Struktur sambungan balok-kolom dihitung menggunakan kapasitas balok sebesar 60% dengan alasan agar tidak terjadi kegagalan pada balok pada saat pengujian.



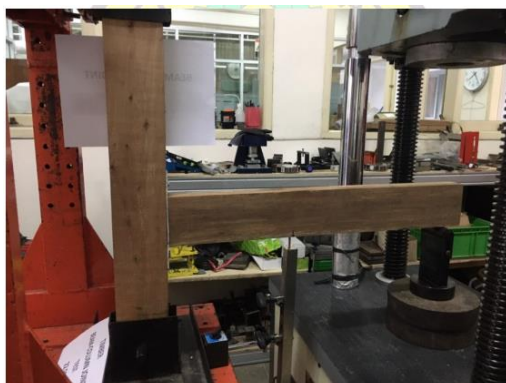
Gambar 1. Ilustrasi sampel sambungan balok-kolom
 (a). sambungan balok-kolom (b). pelat baja perantara (ukuran dalam mm)



Gambar 2. Set up pengujian



(a)



(b)

Gambar 3. Pengujian kayu
(a). pengujian kekuatan lentur
(b). pengujian sambungan balok-kolom meranti merah

Analisis sendi plastis akan menghasilkan momen plastis yang dapat dihitung menggunakan persamaan (1) :

$$M_p = \frac{P \cdot b \cdot \theta_2}{2\theta_1 + 2\theta_2} \quad (1)$$

Keterangan :

- M_p = Momen plastis (Nmm)
- b = Jarak titik beban P ke peletakan B (mm)
- θ_1 = Rotasi di titik A (rad)
- θ_2 = Rotasi di titik B (rad)

Analisis rotasi sambungan dan daktilitas dapat dihitung menggunakan persamaan (2) dan persamaan (3), yaitu :

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta}{e} \right) \quad (2)$$

$$\mu = \frac{\theta_u}{\theta_y} \quad (3)$$

Keterangan :

- θ = Rotasi (rad)
- Δ = Peralihan vertikal akibat pembebanan (mm)
- θ_u = Rotasi ultimit (rad)
- θ_y = Rotasi leleh (rad)

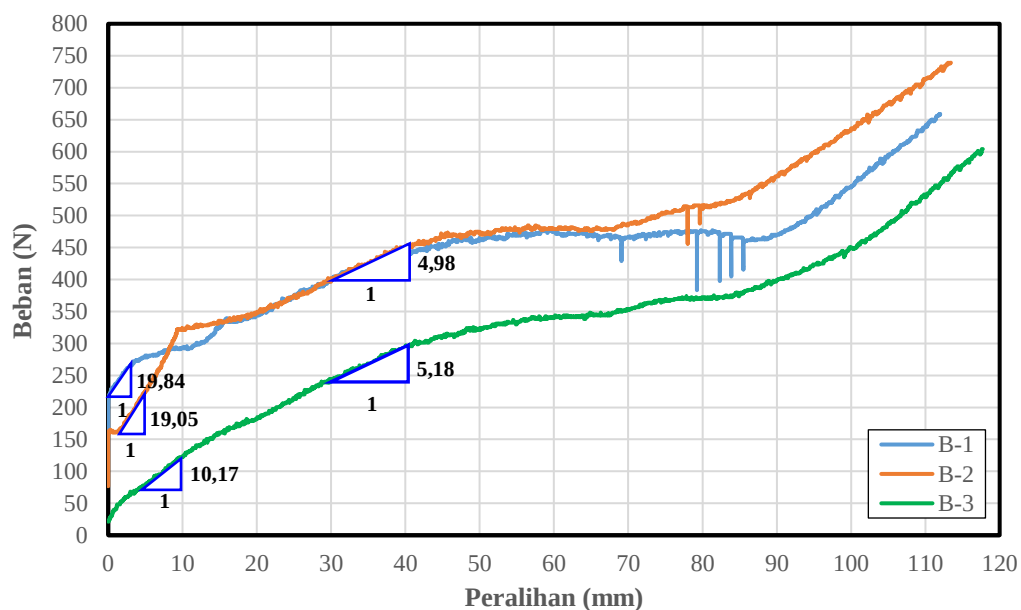
D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hubungan Beban dengan Peralihan

Hubungan beban dan peralihan didapatkan dari pengujian sambungan balok-kolom B-1, B-2 dan B-3 yang dapat dilihat pada Gambar. Beban terbesar pada sampel B-1, B-2 dan B-3 diambil dari grafik pada saat pelat baja mengalami sendi plastis yaitu berturut-turut sebesar 472,8 N, 514,46 N, dan 370,93 N dengan peralihan berturut-turut sebesar 82,28 mm, 80,98 mm, dan 81,37 mm. Beban leleh pada sampel B-1, B-2, dan B-3 berturut-turut sebesar 352,87 N, 341,08 N dan 159,17 N. Peralihan pada saat terjadi kelelahan pada sampel B-1,

B-2 dan B-3 berturut-turut sebesar 17,79 mm, 17,9 mm dan 15,65 mm. Kekakuan awal dari sampel B-1, B-2 dan B-3 sebesar 19,84 N/mm, 19,05 N/mm dan 10,17 N/mm. Hubungan antara beban dengan perpindahan dapat dilihat pada gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan kurva beban-perpindahan dari hasil pengujian. Kemiringan kurva beban-perpindahan pada saat kondisi leleh dari sambungan B-1, B-2, dan B-3 menunjukkan kekakuan sambungan dengan nilai 4,98 N/mm sampai dengan 5,17 N/mm. Rata-rata degradasi kekakuan sambungan adalah sebesar 11,25 N/mm.



Gambar 4. Kurva beban-perpindahan

2. Ragam Kegagalan

Ragam kegagalan yang terjadi pada saat pengujian sampel sambungan B-1, B-2, dan B-3 adalah terjadi kelelahan pada pelat perantara di daerah sekrup kunci pada kolom dan pada balok yang dapat dilihat pada Gambar 5. Kegagalan tersebut menyebabkan terjadinya sendi plastis pada daerah tersebut dan pada pangkal balok mengalami rotasi sebesar 10,204°.

Berdasarkan pada persamaan (1), maka pada pelat perantara yang mengalami deformasi terbesar terjadi sendi plastis dengan momen plastis sebesar 27672,75 Nmm. Beban P yang menyebabkan sendi plastis adalah sebesar 1617,37 N. Konsep perhitungan sendi plastis secara sederhana menggunakan balok model 2 dimensi dengan peletakan *fix-end* moment yang dapat dilihat pada Gambar 6 dengan persamaan (1).

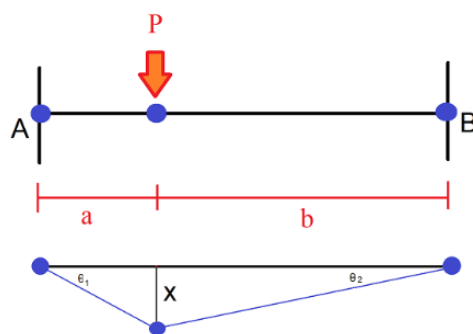
3. Daktilitas Sambungan

Daktilitas sambungan didapatkan dengan cara membagi rotasi sambungan saat ultimit dengan rotasi sambungan saat

terjadi kelelahan pertama. Rotasi sambungan dan daktilitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2) dan persamaan (3).



Gambar 5. Ragam kegagalan sambungan B-1, B-2, dan B-3



Gambar 6. Sendi plastis pada pelat perantara

Pada pengujian sambungan B-1, B-2, dan B-3 didapatkan momen leleh (M_y) dengan penanda lingkaran warna hijau adalah berturut-turut sebesar 236148,3 Nmm, 229803 Nmm, dan 222299,2 Nmm dengan rotasi leleh (θ_y) berturut-turut sebesar 0,0339 rad, 0,0305 rad, 0,0246 rad. Momen ultimit (M_u) dengan penanda lingkaran warna merah untuk sambungan B-1, B-2, dan B-3 berturut-turut sebesar 315801,5 Nmm, 340483,6 Nmm, dan 398637,9 Nmm dengan rotasi ultimit (θ_u) berturut-turut sebesar 0,1327 rad, 0,1223 rad, dan 0,1172 rad. Momen leleh dan momen ultimit sambungan B-1, B-2, dan B-3 dapat dilihat pada Tabel 2.

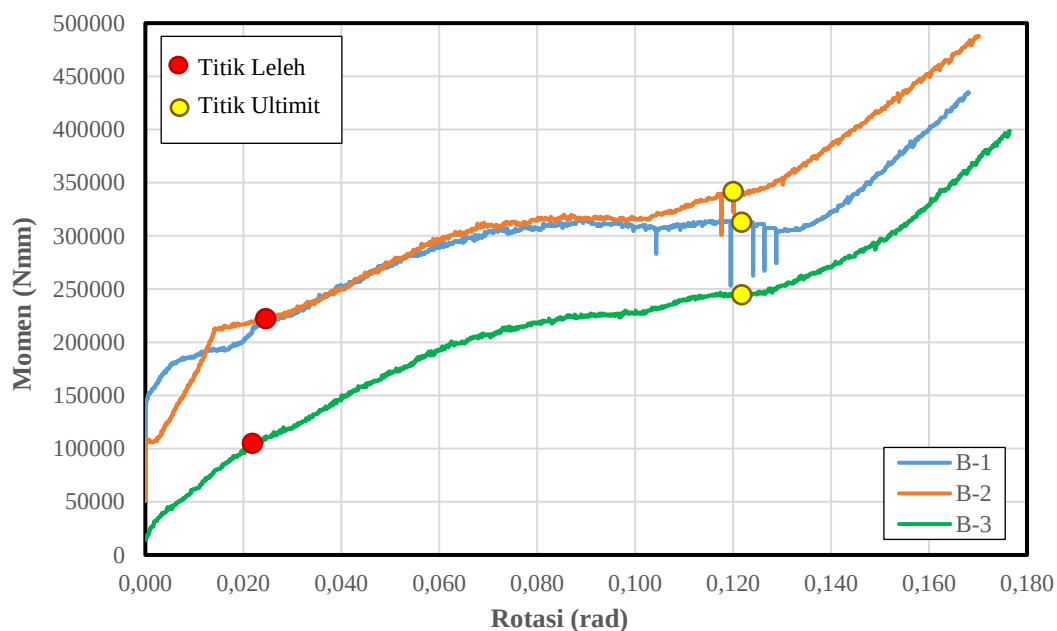
Daktilitas dari sambungan B-1, B-2, dan B-3 berturut-turut sebesar 3,9192; 4,0097 dan 4,7642 yang dapat dilihat pada Tabel 3 dan grafik dapat dilihat pada Gambar 7. Nilai daktilitas yang diperoleh lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian dilakukan oleh Fang, dkk., (2022a) yang menggunakan sekrup kunci pada sambungan balok-kolom yang memperoleh daktilitas sambungan berkisar 2,16 – 2,98 serta penelitian dilakukan oleh Kang, dkk., (2022) pada sambungan balok-kolom glulam dengan brace dan pelat profil L dengan baut dihasilkan daktilitas yang rendah berkisar 1,15 – 2,24.

Nilai daktilitas yang diperoleh juga lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian Yang, dkk., (2016) pada sambungan tahanan momen menggunakan *steel bracket* dan *glued-in steel rod* menghasilkan daktilitas yang cukup besar berkisar 3 – 3,5.

Sehingga penggunaan sambungan pelat baja perantara dengan sekrup kunci pada hubungan balok-kolom kayu meranti merah menghasilkan daktilitas yang cukup besar sesuai dengan yang direncanakan.

Tabel 2. Momen leleh dan momen ultimit sambungan B-1, B-2, dan B-3

Sambungan	θ_y (rad)	θ_u (rad)	M_y (Nmm)	M_u (Nmm)	μ
B-1	0,0339	0,1327	236148,3	315801,5	3,9193
B-2	0,0305	0,1223	229803	340483,6	4,0097
B-3	0,0246	0,1172	108804,7	244810,5	4,7642



Gambar 7. Kurva hubungan momen-rotasi

Tabel 3 Momen plastis dan beban pada saat kondisi leleh dan ultimit pada sambungan

Sambungan	P_y (N)	P_u (N)	$M_{p, yield}$ (Nmm)	$M_{p, ultimate}$ (Nmm)
B-1	352,87	472,8	76234,36	101948,3
B-2	341,08	514,46	74185,95	109916,3
B-3	159,17	370,93	35124,78	79030,73

Pada Gambar 7 menunjukkan kurva momen-rotasi dari sambungan B-1, B-2, dan B-3 dengan besarnya momen ultimit berturut-turut sebesar 315801,5 Nmm, 340483,6 Nmm, dan 244810,5 Nmm. Pada kurva Gambar 7 terlihat bahwa terjadi peningkatan kapasitas momen dan rotasi yang disebabkan oleh sambungan

baja yang sedang memasuki fase *strain hardening*. Namun pada penelitian ini hanya dibatasi sampai dengan 60% kapasitas sambungan supaya pola kegagalan tidak terjadi pada elemen kayu, melainkan pada sambungan pelat baja perantara.

E. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dikembangkan suatu sistem sambungan balok dan kolom menggunakan pelat baja perantara yang dikencangkan menggunakan sekrup kunci. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kekakuan awal sambungan B-1, B-2 dan B-3 berkisar dari 10,17 N/mm sampai dengan 19,05 N/mm dan mengalami degradasi kekakuan rata-rata sebesar 11,25 N/mm pada saat sambungan baja mengalami kelelahan yang ditandai dengan adanya sendi plastis. Kegagalan yang terjadi adalah kelelahan pada pelat baja perantara sehingga membentuk sendi plastis dengan beban sendi plastis sebesar 1617,37 N. Pada saat terjadinya sendi plastis pertama dan sampai dengan kondisi ultimit, daktilitas yang dihasilkan dari sambungan B-1, B-2 dan B-3 berkisar dari 4,0097 – 4,7642. Dari hasil yang diperoleh dapat dinyatakan bahwa sambungan pelat baja perantara dengan sekrup kunci pada hubungan balok-kolom kayu meranti merah menghasilkan daktilitas yang cukup besar sehingga dapat digunakan sebagai rangka penahan momen.

DAFTAR PUSTAKA

American Society for Testing and Materials. (2019). *ASTM E2126-19 Standard Test Method for Cyclic (Reserved) Load Test for Shear Resistance of Vertical Elements of the Lateral Force Resisting Systems for Building*.
<https://www.astm.org/e2126-19.html>

American Society for Testing and Materials. (2000). *ASTM D1761-20 Standard Test Method for Mechanical Fasteners in Wood and Wood-Based Materials*.
<https://www.astm.org/d1761-20.html>

[20.html](#)

American Society for Testing and Materials. (2021). *ASTM F1575/F1575M-21 Standard Test Method for Determining Bending Yield Moment of Nails*.
<https://www.astm.org/f1575-03r13.html>

American Society for Testing and Materials. (2022). *ASTM E8/E8M-22 Standard Test Method for Tension Testing of Metallic Materials*.
https://www.astm.org/e0008_e0008m-13.html

American Society for Testing and Materials. (2022). *ASTM D143-22 Standard Test Method for Small Clear Specimens of Timber*.
<https://www.astm.org/d0143-22.html>

American Society for Testing and Materials. (2024). *ASTM D5764-24 Standard Test Method for Evaluating Dowel-Bearing Strength of Wood and Wood-Based Products*.
<https://www.astm.org/d5764-24.html>

Badan Standarisasi Nasional. (2013). *SNI 7973-2013 Spesifikasi Desain Untuk Konstruksi Kayu*.
<https://shorturl.at/GBA0v>

Fang, L., Wang, L., Qu, W., & Zhang, S. (2022a). Mechanical Performance of Glulam Beam-Column Moment-Resisting Connections with Self-Tapping Screws as Fasteners. *Journal of Building Engineering*, 54, 1-17.
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104586>

Fang, L., Qu, W., & Zhang, S. (2022b). Rotational Behaviour of Glulam Moment-Resisting Connections with Long Self-Tapping Screws.

- Construction and Building Materials*, 324, 1-11.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126604>
- Kang, S. B., Xiong, G., Feng, S. Y., Zhu, H., & Zhou, S. R. (2022). Behaviour of Glulam Timber Frames with Different Beam-Column Connections and Braces under Reversed Cyclic Loads. *Journal of Building Engineering*, 49, 1-16.
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104031>
- Kawecki, B. (2024). Experimental Study on Wood-Adhesive-Steel-Bolts Hybrid Connections with Slotted-in Steel Plates. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 18(4), 76-88.
<https://doi.org/10.12913/22998624/188326>
- Li, Y., Wang, Y., Zhong, Y., Wei, W., Su, H., & Gao, T. (2024). Finite Element Modeling of Beam-to-Column Steel Timber Composite Joints with Different Parameters. *Buildings*, 14, 1-19.
<https://doi.org/10.3390/buildings14092858>
- Li, Z., He, M., & Wang, K., (2018). Hysteretic Performance of Self Centering Glulam Beam-to Column Connections. *Journal of Structural Engineering*, 144(5), 1-12.
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0002012](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0002012)
- Liu, J., Shi, B., & Yang, H. (2023). Numerical Analysis on Seismic Behaviour of Timber Frame Structure with Hybrid Screwed-in Rod Connections. *World Conference on Timber Engineering* (pp. 2745-2751). Oslo, Norway.
<https://doi.org/10.52202/069179-0359>
- Luo, J., He, M., Tao, D., & Li, Z. (2022). Analytical Investigation on The Glulam Beam to Column Connections Reinforced with Knee Braces. *Journal of Architectural Engineering*, 28(2), 1-7.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000523](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000523)
- Mehra, S., Ceallaigh, C. O., Sotayo, A., Guan, Z., & Harte, A. M. (2022). Experimental Investigation of The Moment-Rotation Behaviour of Beam-Column Connections Produced Using Compressed Wood Connectors. *Construction and Building Materials*, 331, 1-10.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127327>
- Petrycki, A., & Salem, O. S. (2020). Structural Integrity of Bolted Glulam Frame Connections Reinforced with Self-Tapping Screws in a Column Removal Scenario. *Journal of Structural Engineering*, 146(10), 1- 13.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0002792](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002792)
- Reboucas, A. S., Branco, J. M., Laurencio, P. B., & Diogenes, H. J. F. (2023). Component Method in Timber Connections: End Plate Compressing Timber Parallel to Grain Component Strength. *World Conference on Timber Engineering* (pp. 276-284). Oslo, Norway.
<https://doi.org/10.52202/069179-0038>
- Tao, H., Mao, M., Yang, H., & Liu, W. (2020). Theoretical and Experimental Behaviour of a Hybrid Semi-Rigid Glulam Beam to Column Connection with Top and Seat Angles. *Advances in Structural Engineering*, 23(10), 1-13.
<https://doi.org/10.1177/1369433220906920>

- Wang, M., Song, X., Gu, X., & Tang, J. (2019). Bolted Glulam Beam-Column Connections Under Different Combinations of Shear and Bending. *Engineering Structure*, 181, 281-292.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.12.024>
- Yang, H., Liu, W., & Ren, X. (2016). A Component Method for Moment-Resistant Glulam Beam-Column Connections with Glued-in Steel Rods. *Engineering Structure*, 115, 42-45.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.02.024>
- Yang, H., Ji, J., Tao, H., Shi, B., Hu, J., & Wen, B. (2022). Pull-out Behaviour of Axially Loaded Screwed-in Threaded Rods Embedded in CLT elements: Experimental Study. *Journal of Renewable Materials*, 10(1), 105-117.
<https://doi.org/10.32604/jrm.2021.016118>



© 2024 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)