

Pengembangan Sambungan Hubungan Join Balok-Kolom Kayu dengan Ring-Modifikasi dan Perkuatan-Paku

Yosafat Aji Pranata

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha
Jalan Suria Sumantri 65 Bandung 40164, Jawa Barat, E-mail: yosafat.ap@gmail.com

Anang Kristianto

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha
Jalan Suria Sumantri 65 Bandung 40164, Jawa Barat, E-mail: anang.kristianto@gmail.com

Olga Catherina Pattipawaej

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha
Jalan Suria Sumantri 65 Bandung 40164, Jawa Barat, E-mail: olga.pattipawaej@gmail.com

Abstrak

*Sambungan antar komponen struktur, khususnya hubungan join balok-kolom memberikan kontribusi yang dominan terhadap perilaku struktur bangunan gedung. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perilaku kekuatan dan kekakuan sambungan kayu dengan alat sambung baut, yaitu hubungan join balok-kolom. Dalam penelitian ini dikembangkan model perkuatan sambungan dengan adanya ring-modifikasi dan perkuatan-paku (selanjutnya disebut sambungan PRP) untuk meningkatkan tingkat daktilitas sambungan. Ruang lingkup penelitian antara lain jenis kayu yang digunakan yaitu Meranti (*Shorea spp.*), Rengas (*Gluta spp.*), dan Keruing (*Dipterocarpus spp.*) dengan rentang berat jenis berkisar antara 0,47-0,72. Pengujian eksperimental dilakukan di laboratorium dengan tipe pembebanan monotonik. Model benda uji yang digunakan mengacu pada metode uji baut pada sambungan kayu ASTM D5652-95. Penggunaan ring-modifikasi dan perkuatan paku memberikan kontribusi positif terhadap hasil pengujian sambungan khususnya perilaku kinerja kekuatan dan kekakuan sambungan kayu, yaitu beban batas proporsional yang dapat dicapai sambungan PRP meningkat berkisar 3,09-19,89% lebih tinggi dibandingkan dengan sambungan standar (tanpa perkuatan), beban batas ultimit yang dapat dicapai sambungan PRP 3,47-28,94% lebih tinggi dibandingkan dengan sambungan standar. Secara umum tingkat daktilitas yang dapat dicapai sambungan PRP adalah 3,69-11,03% lebih tinggi dibandingkan dengan sambungan standar.*

Kata-kata Kunci: Sambungan kayu, Join balok-kolom, Ring-modifikasi, Perkuatan-paku, Daktilitas.

Abstract

*The connection between the structural members, especially the beam-column joints provide a dominant contribution to the behavior of the building structure. The aim of this research is to study the behavior of strength and stiffness of timber connection with a bolt connection, which are the beam-column joints. In this study is developed a reinforcement connection model with the ring-modification and nail-strengthening (hereinafter referred to as the PRP connection) to improve the connection ductility. The scope of the study is the types of timber used such as Meranti (*Shorea spp.*), Rengas (*Gluta spp.*), and Keruing (*Dipterocarpus spp.*) with Specific Gravity ranged from 0.47 to 0.72. Experimental tests are performed in the laboratory using the monotonic loading type. The use of specimens are based on a standard test method for bolts connections in wood ASTM D5652-95. The use of ring-modification and nail-strengthening give a positive contribution to the test results, especially the connection strength and stiffness performance behavior of timber connections, i.e., the proportional limit load can be achieved the PRP connection ranged from 3.09 to 19.89% that increases higher than the standard connection (without reinforcement), ultimate limit loads that can be achieved the PRP connection from 3.47 to 28.94% which is higher compared to the standard connection. In general, the level of ductility can be achieved the PRP connection between 3.69 and 11.03% which is higher compared to the standard connection.*

Keywords: Timber connection, Beam-column joint, Modified-washer, Nail-strengthening, Ductility.

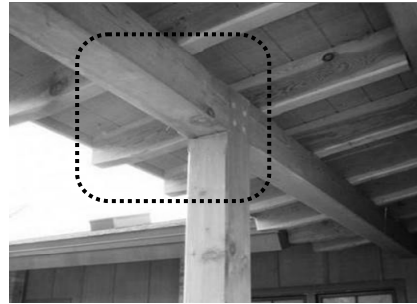
1. Pendahuluan

Desain struktur bangunan gedung kayu terhadap beban lateral (gempa) sangat penting mengingat sebagian besar wilayah Indonesia termasuk dalam kategori intensitas gempa moderat hingga berat berdasarkan peta pembagian wilayah gempa Indonesia (Badan Standardisasi Nasional, 2012). Salah satu aspek penting untuk mengkaji perilaku kinerja struktur bangunan kayu adalah perilaku sambungan elemen-elemen strukturnya, yaitu antara lain hubungan join antara balok dengan kolom yang berfungsi menahan momen (sambungan momen), dan sambungan antar batang yang menahan beban lateral atau sambungan yang berfungsi menyalurkan gaya-gaya dalam tarik (batang tarik). Apabila perilaku sambungan-sambungan tersebut dapat diketahui dan dipelajari, sebagai contohnya kapasitas beban batas proporsional yang dapat ditahan dan juga tingkat daktilitas sambungan, maka dapat diketahui pula prediksi kekuatan struktur bangunan tersebut. Informasi mengenai besarnya beban batas proporsional bermanfaat dalam desain sambungan kayu, dalam hal ini dalam perhitungan tahanan lateral (Z) sesuai SNI 7973:2013 (Badan Standardisasi Nasional, 2013).

Informasi mengenai kurva hubungan beban-slip sambungan kayu, kurva hubungan momen-kurvatur sambungan kayu, maupun pendekatan model idealisasinya, juga merupakan data empiris yang penting dalam kaitannya dengan pemodelan numerikal struktur bangunan gedung kayu. Tingkat keakuratan pemodelan numerikal sangat bergantung pada parameter-parameter pemodelan/idealisasi pada sambungan-sambungan elemen strukturnya, selain tentu saja parameter properti sifat mekanika material dan dimensi ukuran penampang elemen strukturnya.

Gambar 1.a memperlihatkan contoh sambungan join antara kolom dengan dengan balok atap (balok ring). Sedangkan **Gambar 1.b** memperlihatkan rumah panggung yang berfungsi sebagai kantor, dengan salah satu jenis sambungan yang digunakan adalah sambungan join kolom-balok lantai. Kedua contoh sambungan join tersebut menggunakan alat sambung mekanis yaitu baut. Dalam studi kasus ini, sambungan join tersebut memegang peranan penting terhadap kinerja struktur terutama jika terkena beban lateral.

Penelitian dalam tulisan ini bertujuan untuk melakukan pengujian eksperimental di laboratorium untuk mempelajari pengaruh penggunaan *washer* (ring) yang



(a) Sambungan kayu pada hubungan join balok ring dan kolom (<http://www.vermonttimberworks.com>)

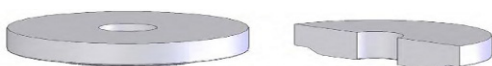


(b) Sambungan kayu pada hubungan join balok lantai dan kolom pada rumah kayu panggung yang berfungsi sebagai untuk kantor (<http://www.rumahkayu-industrial.com>)

Gambar 1. Contoh sambungan kayu pada hubungan join balok-kolom

dimodifikasi (ring-modifikasi) untuk memberikan efek *pretension* pada baut dan perkuatan tambahan dengan paku (selanjutnya disebut sambungan tipe PRP atau perkuatan dengan ring dan paku) terhadap perilaku kekuatan dan kekakuan sambungan kayu.

Ruang lingkup penelitian dibatasi antara lain sambungan kayu yang ditinjau adalah sambungan hubungan join balok-kolom, kayu yang digunakan ada 3 (tiga) jenis kayu Meranti (*Shorea spp.*) dengan *specific gravity* (SG) 0,47, kayu Rengas (*Gluta spp.*) yang mempunyai SG lebih tinggi dibandingkan kayu Meranti yaitu 0,63 namun cenderung bersifat getas, dan kayu Keruing (*Dipterocarpus spp.*) yang mempunyai SG paling tinggi dalam penelitian ini yaitu sebesar 0,72. Model benda uji mengacu pada standar ASTM D5652-95 yaitu standar pengujian baut untuk sambungan kayu (ASTM, 2000).



(a) Skematik 3D model ring-modifikasi



(b) Ring-modifikasi

Gambar 2. Model modifikasi ring yang digunakan dalam penelitian

Gambar 2 memperlihatkan bentuk modifikasi ring yang digunakan dalam penelitian ini. **Gambar 2.b** memperlihatkan model modifikasi ring yang digunakan dalam penelitian ini. Ring modifikasi (selanjutnya disebut R) ini dibuat dari dua buah ring standar yaitu ring diameter 30 mm (selanjutnya disebut R1) dan 40 mm (selanjutnya disebut R2), tebal masing-masing ring tersebut adalah 2 mm. Ring R1 selanjutnya dilekatkan pada ring R2. Fungsi ring R1 adalah untuk menambah ketebalan total ring R untuk meningkatkan pengaruh daktilitas sambungan. Ring R1 berdiameter lebih kecil dimaksudkan untuk memberikan efek distribusi beban pada ring R2 untuk meningkatkan pengaruh *pretension* pada saat pengencangan baut pada saat fabrikasi sambungan kayu.

Perkuatan paku digunakan dalam penelitian ini, dengan tujuan untuk meningkatkan daktilitas sambungan, dengan pertimbangan bahwa saat beban bekerja, terjadi interaksi antara permukaan baut dengan lubang kayu, dimana setelah tahap pembebanan yang meningkat mencapai nilai tertentu yang mengakibatkan lubang kayu mengalami kegagalan (kegagalan tumpu) maka selanjutnya diharapkan adanya paku dapat mendukung mekanisme tumpu kayu, sehingga kegagalan dapat dicegah dan sambungan menjadi lebih daktil akibat deformasi pada kondisi beban batas ultimit yang menjadi lebih besar. **Gambar 3** adalah konsep penggunaan paku sebagai perkuatan sambungan pada penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh Kobel (2011).

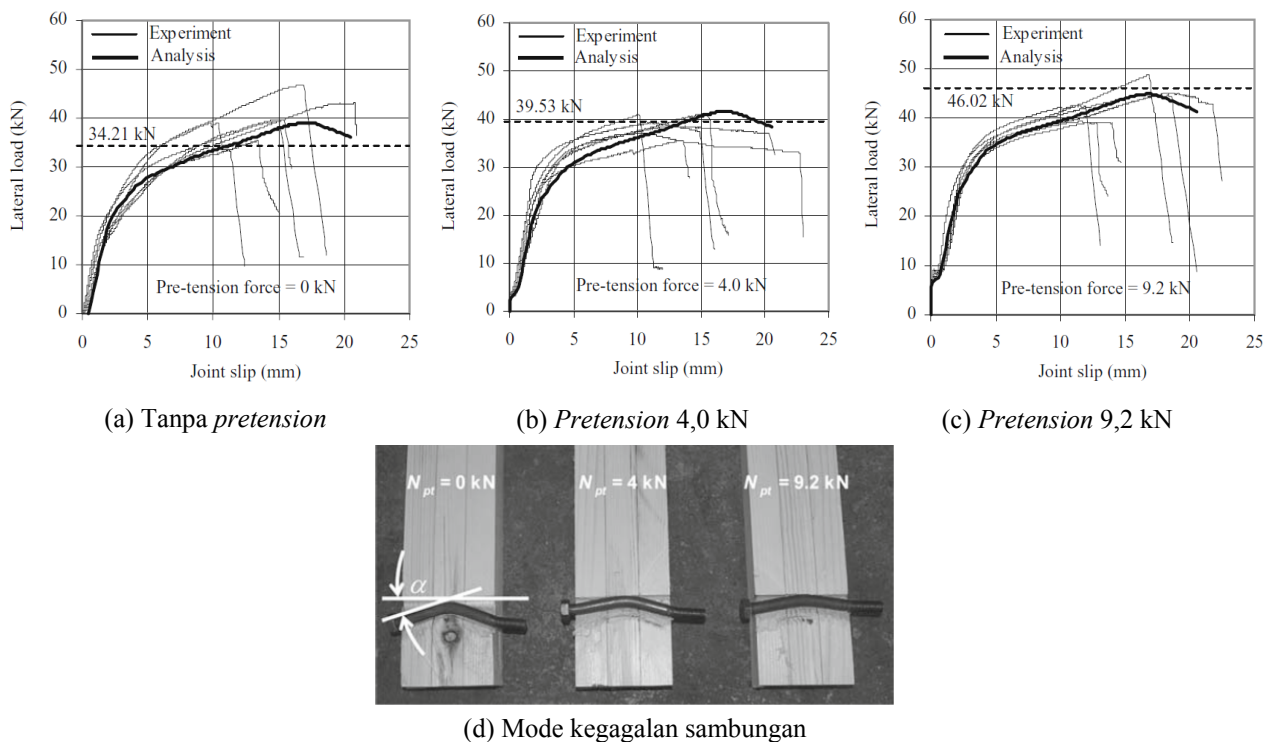
2. Tinjauan Literatur

2.1 Pengaruh *pretension* baut pada sambungan kayu

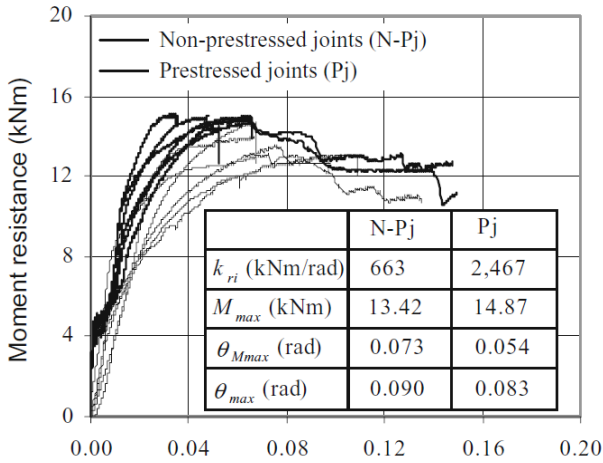
Awaludin et.al (2008a) (2008b) telah mempelajari pengaruh *pretension* pada baut terhadap kinerja kekuatan sambungan kayu. Efek *pretension* yang dilakukan pada baut tidak akan meningkatkan kapasitas tahanan sambungan secara signifikan, namun demikian memberikan dampak positif yaitu meningkatkan daktilitas sambungan. Efek lain yaitu dengan adanya gaya inisial *pretension* maka baut akan lebih sulit bengkok atau mengalami kegagalan lentur, sehingga hal ini cocok diterapkan untuk kayu mutu tinggi dimana kekuatan tumpu kayunya tinggi. Dengan catatan bahwa besarnya *pretension* tidak melebihi kekuatan tekan tegak lurus serat kayu. **Gambar 4** memperlihatkan hasil penelitian pengaruh besarnya *pretension* pada baut untuk sambungan kayu-pelat baja. Sedangkan **Gambar 5** memperlihatkan hasil penelitian pengaruh *pretension* pada sambungan momen (sambungan balok-kolom).



Gambar 3. Penggunaan paku sebagai perkuatan tambahan (Kobel, 2011)



Gambar 4. Hasil penelitian *pretension* pada baut untuk sambungan kayu-pelat baja dengan arah pembebanan sejajar serat kayu oleh Awaludin et.al (2008a)



Gambar 5. Hasil penelitian pretension pada baut untuk sambungan balok-kolom oleh Awaludin et.al. (2008b)

Tabel 1. Hasil penelitian Kobel (2011)

Tipe Sambungan	Beban Maksimum (kN)	CoV (%)	Kadar Air (%)
Basic	134	4,1	12,1
A2+B2	237	8,4	11,6
02+A2	187	8,9	10,9
Inclined	229	8,6	11,2
Dywidag	306	9,4	9,20

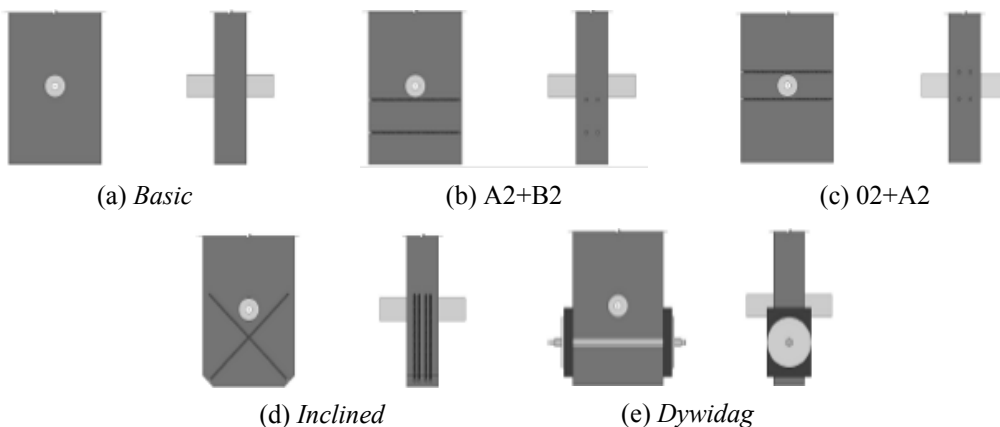
2.2 Perkuatan sambungan dengan alat sambung mekanis tambahan

Kobel (2011) telah mempelajari pengaruh perkuatan khususnya untuk sambungan yang menahan beban lateral (selanjutnya disebut sambungan batang tarik) untuk struktur rangka batang bentang panjang. Ada 4 (empat) tipe perkuatan yang dipelajari yaitu tipe perkuatan A2+B2, perkuatan 02+A2, perkuatan inclined, dan perkuatan dywidag. Skematik model perkuatan sambungan tersebut selengkapnya ditampilkan pada Gambar 6.

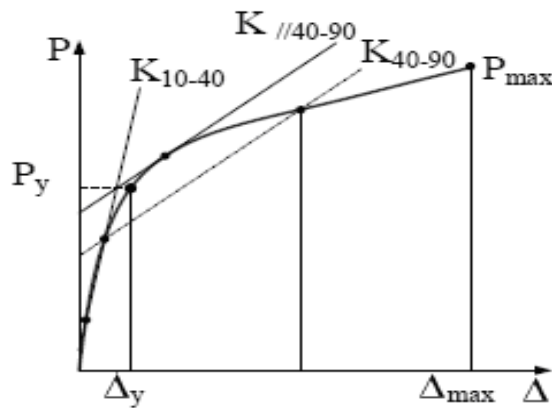
Perkuatan dilakukan dengan menambahkan dowel pada arah bersilangan dengan sambungan mekanis. Sedangkan hasil penelitian yang diperoleh yaitu benda uji sambungan tipe basic (standar) dan 4 (empat) macam variasi tipe perkuatan selengkapnya ditampilkan pada Tabel 1. Model perkuatan sederhana dengan paku yaitu tipe A2+B2 ternyata memperlihatkan peningkatan kekuatan yang signifikan yaitu sebesar 76,86% lebih tinggi dibandingkan tipe standar (basic).

2.3 Metode penentuan titik proporsional Yasumura dan Kawai (Munoz dkk., 2010)

Metode untuk menentukan titik atau beban batas proporsional hasil pengujian eksperimental di laboratorium terdapat beberapa macam, yaitu antara lain metode Karacabeyli dan Ceccotti, CEN, CSIRO, EEEP, Yasumura dan Kawai, dan Offset 5%. Munoz dkk. (2010) menyarankan penggunaan metode Yasumura dan Kawai untuk penentuan beban pada kondisi proporsional untuk material kayu (skematik model penentuan titik proporsional ditampilkan pada Gambar 7, yaitu berupa parameter P_y). Pada metode Yasumura dan Kawai, kekakuan inisial yang berupa garis lurus dihitung antara rentang 10-40% beban maksimum. Selanjutnya didefinisikan garis lurus antara dua titik dimana nilai 40% dan 90% beban maksimum. Titik proporsional ditentukan dari pertemuan kedua garis tersebut. Dalam penelitian ini, metode Yasumura dan Kawai digunakan untuk mendapatkan nilai beban batas proporsional (P_y) dan beban batas ultimit (P_u), baik pada pengujian tekan sejajar serat dan tegak lurus serat kayu.



Gambar 6. Model perkuatan pada sambungan batang tarik (Kobel, 2011)



Gambar 7. Penentuan titik proporsional dengan metode Yasumura dan Kawai (Munoz dkk, 2010)

3. Penelitian Eksperimental, Hasil Pengujian dan Pembahasan

Pengujian eksperimental dilakukan di laboratorium dengan alat instrument *Universal Testing Machine* (UTM) seperti ditampilkan pada **Gambar 8**. **Gambar 9** memperlihatkan referensi model pengujian berdasarkan ASTM D5652-95 (ASTM, 2000). Beberapa referensi pengujian sambungan momen lainnya yaitu penelitian yang telah dilakukan oleh Awaludin et.al (2008b).

Dalam penelitian ini, benda uji sambungan tersusun dari kolom persegi dengan ukuran penampang 50 x 100 mm yang dihubungkan terhadap balok yang tersusun dari 2 (dua) buah komponen kayu masing-masing berukuran 50x100 mm. Skematik bentuk dan ukuran benda uji ditampilkan pada **Gambar 10**.

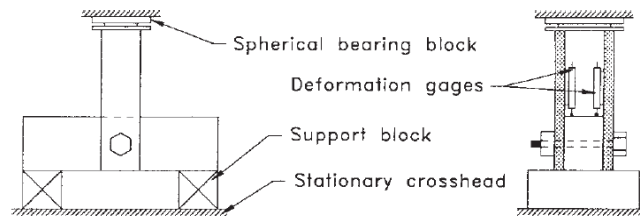


(a) UTM

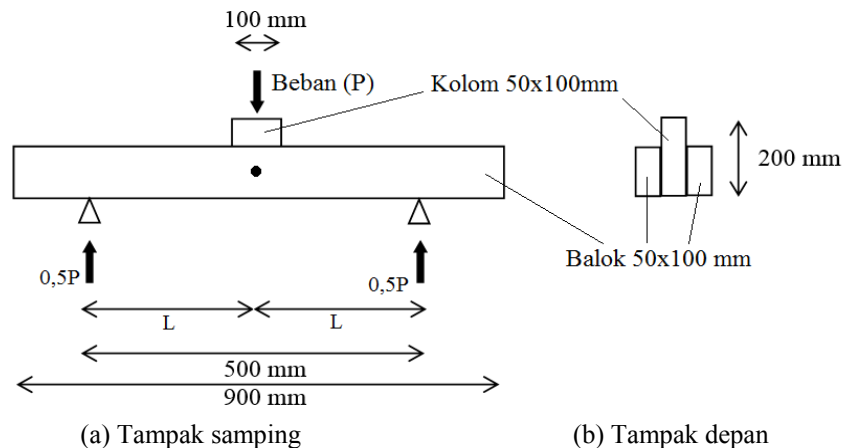


(b) Penempatan benda uji

Gambar 8. Universal Testing Machine yang digunakan untuk pengujian



Gambar 9. Referensi model pengujian baut pada sambungan kayu ASTM D5652-95 (ASTM, 2000)



(a) Tampak samping

(b) Tampak depan

Gambar 10. Skematik model benda uji yang digunakan dalam penelitian



(a) Sambungan kayu Meranti

(b) Sambungan kayu Rengas

(c) Sambungan kayu Keruing

Gambar 11. Contoh benda uji

Prinsip pengujian, sebagaimana ditampilkan pada **Gambar 8.b** dan **Gambar 10** adalah bahwa *stroke* berfungsi sebagai beban yang mengenai kolom. Kemudian adanya alat bantu dudukan (sesuai keterangan pada **Gambar 11**) dimana pada masing-masing ujung balok terdapat idealisasi tumpuan sendi, maka beban yang terjadi pada sambungan join adalah berupa momen (beban $0,5P$ dikalikan lengan momen L).

$$M = 0,5P \times L \quad (1)$$

$$\Theta = \delta / L \quad (2)$$

dengan M adalah momen, P adalah beban terpusat, L adalah lengan momen balok (250 mm), Θ adalah kurvatur, dan δ adalah deformasi vertikal. Hasil data luaran (*output*) pengujian adalah kurva riwayat hubungan beban vs deformasi vertikal yang selanjutnya dikonversi menjadi momen dan kurvatur.

Benda uji seluruhnya menggunakan 1 (satu) baut sebagai alat sambung mekanik, dengan tujuan untuk mendapatkan kapasitas tahanan lateral (Z) untuk 1 (satu) alat pengencang. Contoh benda uji sambungan kayu Meranti, Rengas, dan Keruing ditampilkan pada **Gambar 11**. Variasi benda uji selengkapnya ditampilkan pada **Tabel 2**.

Gambar 12 memperlihatkan detail lokasi penempatan baut yang telah dipasang ring-modifikasi. **Gambar 13** memperlihatkan benda uji yang tidak diperkuat paku (**Gambar 13.a**) dan benda uji sambungan yang diperkuat paku (**Gambar 13.b**). Tujuan penempatan paku adalah perkuatan sambungan balok-kolom agar menjadi lebih daktail.

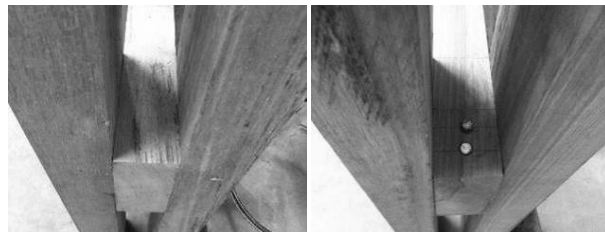
Gambar 14 memperlihatkan *setup* benda uji sambungan kayu Rengas pada alat UTM. Hasil pengujian selengkapnya ditampilkan pada **Gambar 15**, **Gambar 16**, dan **Gambar 17** yaitu berupa kurva hubungan beban vs deformasi lateral untuk masing-masing benda uji sambungan kayu Meranti, Rengas, dan Keruing.

Tabel 2. Variasi benda uji

Kayu	Tipe sambungan	Jumlah benda uji
Meranti	Standar	3
	PRP	3
Rengas	Standar	3
	PRP	3
Keruing	Standar	3
	PRP	3

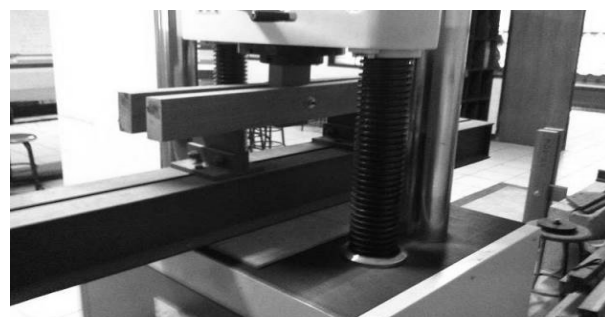


Gambar 12. Benda uji sambungan kayu Rengas

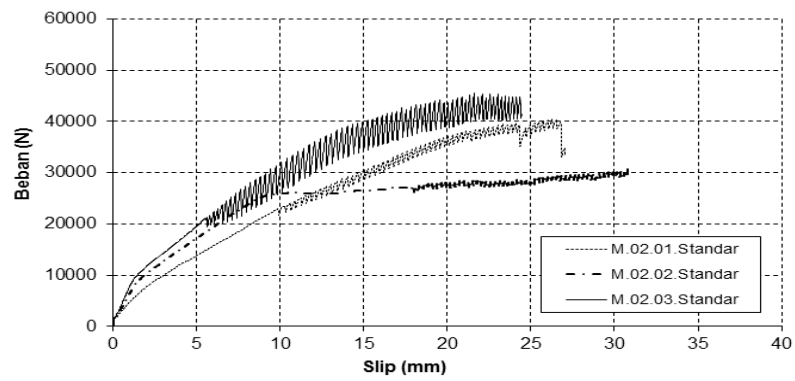


(a) Tanpa perkuatan paku (b) Dengan perkuatan

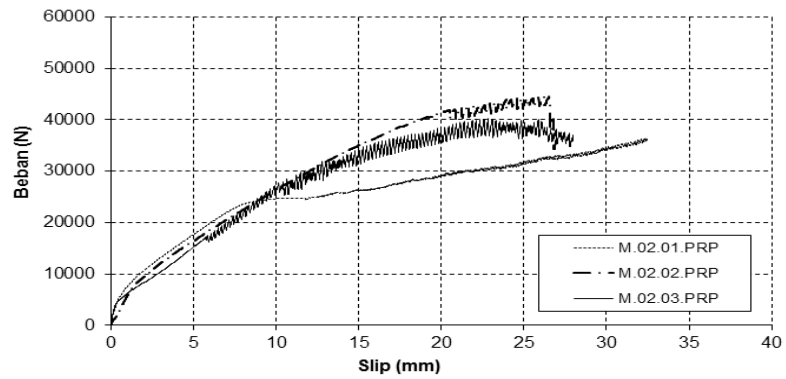
Gambar 13. Benda uji sambungan kayu Rengas tanpa dan dengan perkuatan paku



Gambar 14. Pengujian benda uji sambungan kayu Keruing

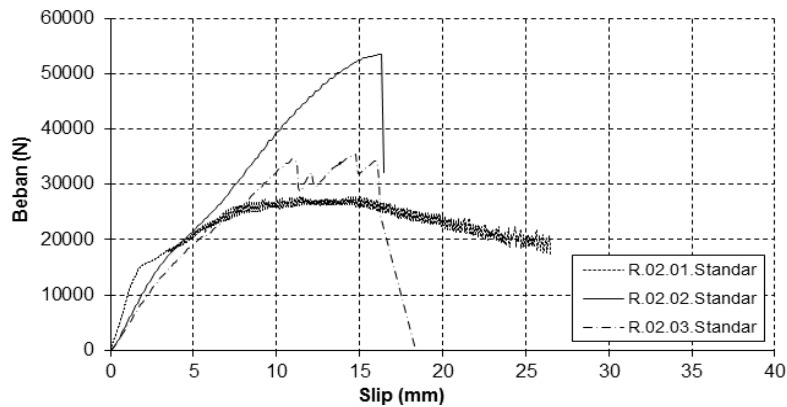


(a) Benda uji sambungan kayu tipe standar

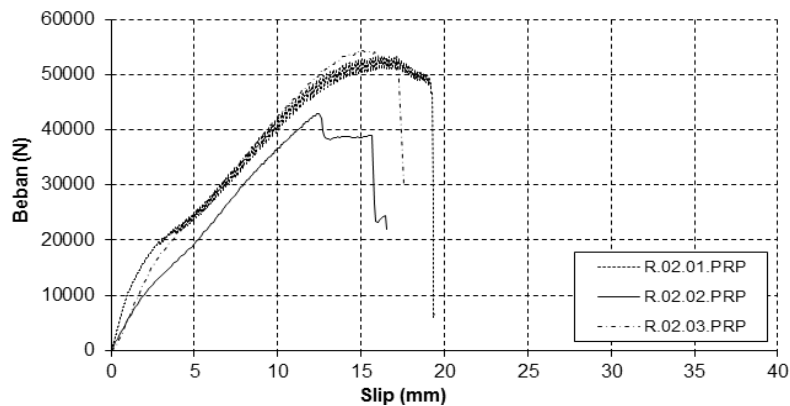


(b) Benda uji sambungan kayu tipe PRP

Gambar 15. Kurva hubungan beban (N) vs deformasi vertikal (mm) hasil pengujian benda uji sambungan kayu Meranti

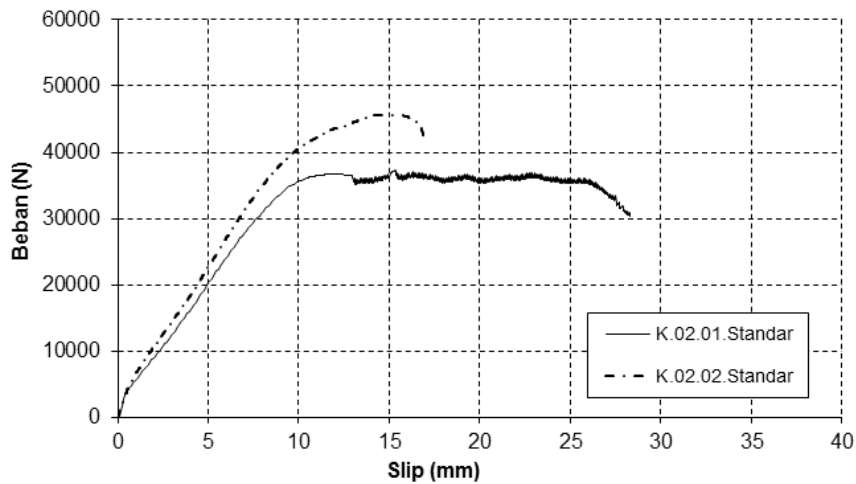


(a) Benda uji sambungan kayu tipe standar

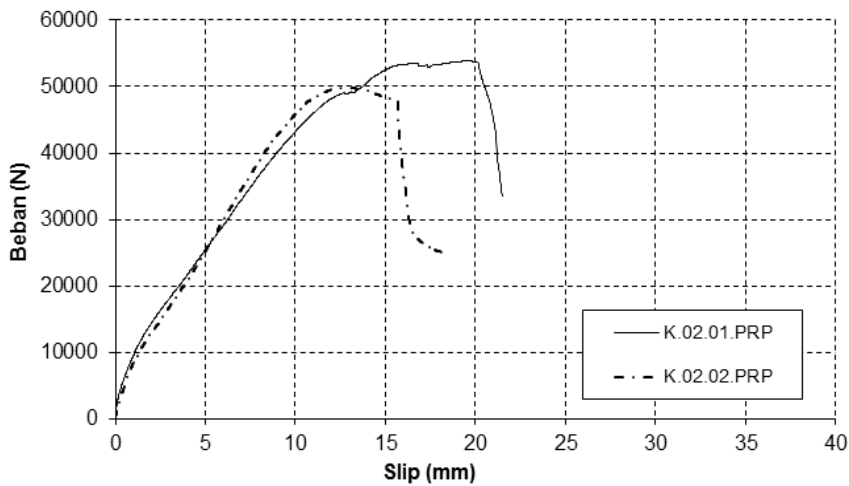


(b) Benda uji sambungan kayu tipe PRP

Gambar 16. Kurva hubungan beban (N) vs deformasi vertikal (mm) hasil pengujian benda uji sambungan kayu Rengas



(a) Benda uji sambungan kayu tipe standar

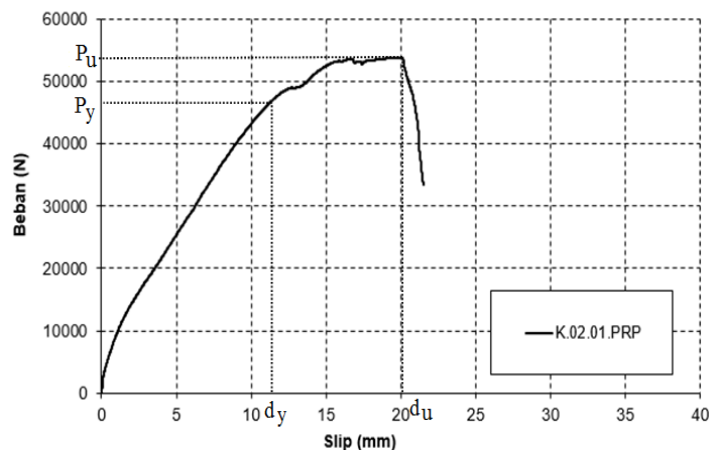


(b) Benda uji sambungan kayu tipe PRP

Gambar 17. Kurva hubungan beban (N) vs deformasi vertikal (mm) hasil pengujian benda uji sambungan kayu Keruing

Gambar 18 memperlihatkan contoh penentuan beban batas proporsional (P_y) dan ultimit (P_U), slip pada kondisi beban batas proporsional (d_y) dan ultimit (d_u), serta daktilitas (μ). Penentuan titik-titik tersebut dilakukan dengan menggunakan metode Yasumura dan Kawai (Munoz dkk, 2010). Untuk benda uji sambungan kayu Keruing tipe perkuatan (PRP) K.02.01.PRP diperoleh yaitu beban batas proporsional sebesar 44320,58 N, slip pada kondisi beban batas proporsional sebesar 9,50 mm, beban batas ultimit sebesar 49715,80 N, dan slip pada kondisi beban batas ultimit sebesar 13,33 mm. Rasio daktilitas dihitung dari rasio slip pada kondisi beban batas ultimit terhadap slip pada kondisi beban batas proporsional, yaitu diperoleh sebesar 1,40.

Hasil perhitungan selengkapnya untuk seluruh benda uji ditampilkan pada **Tabel 3** (pembahasan beban batas proporsional atau P_y , beban batas ultimit atau P_U , daktilitas atau μ untuk benda uji sambungan tipe standar) dan **Tabel 4** (pembahasan beban batas proporsional, beban batas ultimit, daktilitas untuk benda uji sambungan tipe PRP). Sedangkan **Gambar 19**, **Gambar 20**, dan **Gambar 21** masing-masing memperlihatkan contoh mode kegagalan sambungan yang terjadi pada kondisi beban batas ultimit. Sebagai keterangan untuk **Tabel 3** dan **Tabel 4**, notasi K.02.xx.Standar adalah sambungan kayu Keruing tipe standar, M.02.xx.Standar adalah sambungan kayu Meranti tipe standar, R.02.xx.Standar adalah sambungan kayu Rengas tipe standar, K.02.xx.PRP adalah sambungan kayu Keruing tipe PRP, M.02.xx.PRP adalah sambungan kayu Meranti tipe PRP, R.02.xx.PRP adalah sambungan kayu Rengas tipe PRP.



Gambar 18. Perhitungan beban batas proporsional dan ultimit, slip pada kondisi beban batas proporsional dan ultimit dengan metode Yasumura dan Kawai (Munoz, dkk, 2010)

Tabel 3. Hasil pengujian benda uji sambungan standar (tanpa perkuatan) kayu

Benda Uji	P_v (N)	d_v (mm)	P_u (N)	d_u (mm)	μ
K.02.01.Standar	41239,27	10,34	45669,94	14,80	1,43
K.02.02.Standar	35731,64	10,09	36614,97	15,65	1,55
M.02.01.Standar	29485,62	9,66	44184,74	22,98	2,38
M.02.02.Standar	28736,09	13,96	39201,54	20,29	1,45
M.02.03.Standar	25018,13	9,50	29641,87	30,82	3,24
R.02.01.Standar	14394,23	1,64	27413,70	16,65	1,16
R.02.02.Standar	14473,45	2,80	53476,45	16,04	1,32
R.02.03.Standar	12067,54	2,73	34365,93	10,85	1,04

Tabel 4. Hasil pengujian benda uji sambungan PRP (perkuatan ring dan paku) kayu

Benda Uji	P_v (N)	d_v (mm)	P_u (N)	d_u (mm)	μ
K.02.01.PRP	44320,58	9,50	49715,80	13,33	1,40
K.02.02.PRP	47963,41	11,88	53648,52	20,12	1,69
M.02.01.PRP	22772,17	8,11	35704,46	32,39	3,99
M.02.02.PRP	31969,84	13,68	43238,38	26,55	1,94
M.02.03.PRP	31068,53	12,98	38006,56	24,87	1,92
R.02.01.PRP	18262,61	2,49	52896,84	14,00	1,16
R.02.02.PRP	14812,96	2,40	53643,99	14,62	1,51
R.02.03.PRP	13049,80	3,00	42067,90	11,97	1,07

Hasil perhitungan pada **Tabel 3** dan **Tabel 4** memperlihatkan bahwa secara umum dapat diambil kesimpulan untuk sambungan kayu tipe standar (tanpa perkuatan ring maupun paku) sebagai berikut:

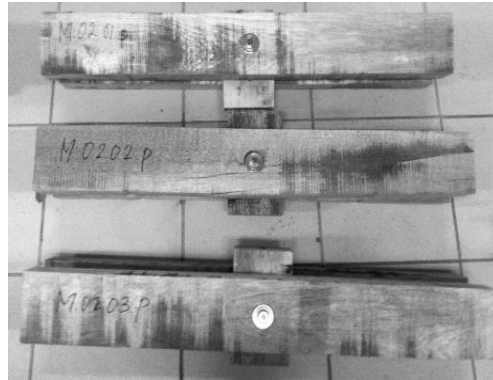
- Beban batas proporsional (rata-rata) sambungan kayu Meranti 27,7 kN, sambungan kayu Rengas 13,6 kN, dan sambungan kayu Keruing 38,5 kN.
- Beban batas ultimit (rata-rata) sambungan kayu Meranti 37,7 kN, sambungan kayu Rengas 38,4 kN, dan sambungan kayu Keruing 41,1 kN.
- Rasio daktilitas (rata-rata) sambungan kayu Meranti 2,36, sambungan kayu Rengas 1,17, dan sambungan kayu Keruing 1,49.

Sedangkan untuk sambungan kayu tipe PRP sebagai berikut:

- Beban batas proporsional (rata-rata) sambungan kayu Meranti 28,6 kN, sambungan kayu Rengas 15,4 kN, dan sambungan kayu Keruing 46,1 kN.
- Beban batas ultimit (rata-rata) sambungan kayu Meranti 38,9 kN, sambungan kayu Rengas 49,54 kN, dan sambungan kayu Keruing 51,7 kN.
- Rasio daktilitas (rata-rata) sambungan kayu Meranti 2,62, sambungan kayu Rengas 1,25, dan sambungan kayu Keruing 1,55.



(a) Sambungan standar



(b) Sambungan PRP

Gambar 19. Mode kegagalan sambungan benda uji sambungan kayu Meranti



(a) Sambungan standar



(b) Sambungan PRP

Gambar 20. Mode kegagalan sambungan benda uji sambungan kayu Rengas



(a) Sambungan standar



(b) Sambungan PRP

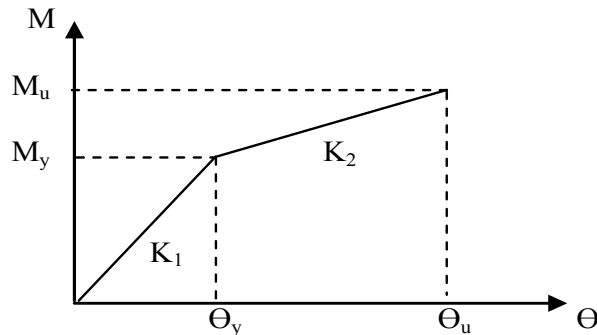
Gambar 21. Mode kegagalan sambungan benda uji sambungan kayu Keruing

Gambar 19 dan **Gambar 20** memperlihatkan hasil pengujian untuk benda uji sambungan kayu Meranti dan sambungan kayu Rengas yaitu secara umum menghasilkan mode kegagalan *simple tension* yang terjadi pada bagian balok kayu. Sedangkan **Gambar 21.a** memperlihatkan hasil pengujian untuk benda uji sambungan kayu Keruing tipe standar terjadi kegagalan pada baut, dan **Gambar 21.b** memperlihatkan hasil pengujian untuk benda uji sambungan kayu Keruing tipe PRP yaitu terjadi kegagalan tumpu kayu, artinya kegagalan baut dapat dicegah dengan adanya perkuatan paku.

Selanjutnya dengan **Persamaan (1)** dan **Persamaan (2)** dapat dihitung besarnya momen (M) dan kurvatur (Θ). Hasil perhitungan selengkapnya ditampilkan pada **Tabel 5**, serta dilengkapi **Gambar 22** untuk menggambarkan model kurva idealisasi momen-kurvatur sambungan kayu (elasto-plastik), dengan K_1 adalah kekakuan pegas pada kondisi rentang beban elastik dan K_2 adalah kekakuan pegas pada kondisi rentang beban pasca-elastik.

Tabel 3. Hasil pengujian benda uji sambungan standar (tanpa perkuatan) kayu

Benda Uji Sambungan		M_y (kN.m)	Θ_y	M_u (kN.m)	Θ_u
Keruing	tipe Standar	9,62	0,0409	10,29	0,0609
	tipe PRP	11,54	0,0428	12,92	0,0669
Meranti	tipe Standar	6,94	0,0442	9,42	0,0988
	tipe PRP	7,15	0,0464	9,75	0,1117
Rengas	Tipe Standar	3,41	0,0096	9,60	0,0581
	tipe PRP	3,84	0,0105	12,38	0,0541

**Gambar 22. Model kurva idealisasi momen-kurvatur sambungan kayu (pegas atau spring) dengan tipe elasto-plastik**

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Beban batas proporsional yang dapat dicapai sambungan tipe PRP (sambungan dengan ring-modifikasi dan perkuatan-paku) adalah berkisar antara 3,09-19,89% lebih tinggi dibandingkan dengan sambungan tipe standar (tanpa perkuatan). Sedangkan beban batas ultimit yang dapat dicapai sambungan tipe PRP adalah berkisar 3,47-28,94% lebih tinggi dibandingkan dengan sambungan tipe standar.
2. Rasio daktilitas yang dapat dicapai sambungan tipe PRP adalah berkisar 3,69-11,03% lebih tinggi dibandingkan dengan sambungan tipe standar.
3. Mode kegagalan sambungan (tipe standar maupun tipe PRP) kayu Meranti dan Rengas adalah kegagalan *simple tension* yang terjadi pada balok, sementara kolom tetap kuat. Artinya selama masa beban layan (sambungan mencapai kapasitas beban batas proporsional), dan kemudian sambungan mencapai kapasitas beban batas ultimit (benda uji mengalami kegagalan), sistem struktur sambungan tersebut kolomnya masih kuat sedangkan balok lebih lemah.
4. Untuk sambungan (tipe standar) kayu Keruing secara umum terjadi kegagalan pada baut. Dengan adanya perkuatan paku, kegagalan ini dapat dicegah. Hal ini terlihat dari fakta empiris hasil pengujian sambungan kayu Keruing tipe PRP dimana kegagalan yang terjadi adalah tumpu kayu dan bukan pada baut.

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada DIKTI dan Kopertis Wilayah IV atas pembiayaan penelitian ini. Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian Hibah Bersaing tahun ke-1 dengan menggunakan biaya sesuai Nomor DIPA.: SP DIPA-023.04.2.189789/2014 tahun anggaran 2014. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha, Nessa Valiantine, S.T., dan Jumali atas segala bantuannya sehingga proses kegiatan pembuatan dan pengujian seluruh benda uji dapat diselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

- American Society for Testing and Materials, 2008, *Annual Book of ASTM Standards Section Four Construction Wood*, American Society for Testing and Materials.
- American Society for Testing and Materials, 2000, *Standard Test Methods for Bolted Connections in Wood and Wood Base Products*, Designation D 5652-95(2000), ASTM, West Conshohocken, PA.
- Awaludin, A., Hirai, T., Hayashikawa, T., Sasaki, Y., Oikawa, A., 2008a, Effects of pretension in Bolts on Hysteretic Responses of Moment-Carrying Timber Joints, *Journal of Wood Science*, Volume 54 pp 114-120, The Japan Wood Research Society.
- Awaludin, A., Hirai, T., Hayashikawa, T., Sasaki, Y., 2008b, Load-Carrying Capacity of Steel-to-Timber Joints with A Pretensioned Bolt, *Journal of Wood Science*, Volume 54 pp 362-368, The Japan Wood Research Society.
- Badan Standardisasi Nasional, 2012, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012, Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 2013, Spesifikasi Desain untuk Kontruksi Kayu SNI 7973:2013, Badan Standardisasi Nasional.

Kobel, P., 2011, *Modelling of Strengthened Connections for Large Span Truss Structures*, Department of Structural Engineering, Lund Institute of Technology, Box 118, S-221 00 LUND, Sweden.

Munoz, W., Mohammad, M., Salenikovich, A., Quenneville, P., 2010, *Determination of Yield Point and Ductility of Timber Assemblies: In Search for a Harmonized Approach*, Engineered Wood Products Association.

URL: <http://www.rumahkayu-industrial.com>, diakses tanggal 10 Maret 2014.

URL: <http://www.vermonttimberworks.com>, diakses tanggal 4 september 2014.