

SAMBUNGAN BALOK-KOLOM EKSTERIOR KAYU GLULAM AKASIA DENGAN SISTEM PROFIL SIKU DAN BATANG BAJA

Djoni Simanta^{1*}, Bambang Suryoatmono¹, Johannes Adhijoso Tjondro¹

¹Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Katolik Parahyangan

ABSTRAK

Dua model sambungan balok-kolom eksterior kayu glulam akasia mangium dengan sistem profil siku dan batang baja diuji dan dianalisis terhadap pembebanan statik monotonik. Variasi benda uji adalah jumlah batang baja dan tebal profil siku yang terpasang di balok glulam. Perilaku setiap model akibat pembebanan statik, peralihan maksimum, momen maksimum, kekakuan rotasi, dan daktilitas dicari dan dipelajari. Sambungan tipe satu batang baja (M9B1) lebih fleksibel dibandingkan sambungan tipe dua batang baja (M9B2). Perilaku sambungan bergantung pada banyaknya batang baja tumpu di balok, mutu kayu balok, dan tebal profil siku.

Kata kunci: glulam, akasia, profil siku, batang baja, mutu kayu

ABSTRACT

Two models of Acacia mangium glulam wood exterior beam-column connections with angles and steel rod systems under monotonic static loads were tested and analyzed. The variations of the specimen were the number of rods and the thickness of angles attached to the beam. The behavior of each model under static loading, the maximum displacement, the maximum moment, the rotational stiffness and the ductility were observed. The connection type with one steel rod (M9B1) connections had more flexibility than the connections with two steel bars M9B2). The behavior of these types of connections depend on the number of bearing steel rods of the beam, the wood grade, and the thickness of the angles.

Keywords: glulam, acacia mangium, angle, steel rod, wood grade

1 PENDAHULUAN

Ketersediaan kayu dari pohon dengan diameter penampang besar sudah sangat langka dan harganya relatif mahal. Oleh karena itu, untuk memenuhi kebutuhan industri dan struktur yang membutuhkan kayu berpenampang besar, muncul penemuan kayu rekayasa (*engineered wood product*), seperti kayu glulam (*glued laminated timber*), kayu laminasi silang (*cross laminated timber*), *Laminated Veneer Lumber* (LVL), dan *Parallel Strand Lumber* (PSL). Kayu laminasi Glulam dibentuk dari sejumlah kayu dengan ukuran kecil yang disebut lamina dan direkatkan satu dengan yang lain menggunakan lem, lihat Gambar 1, atau menggunakan alat penyambung lain seperti paku atau baut sehingga terbentuk penampang kayu yang lebih besar yang dapat berfungsi sebagai komponen struktur yang mampu menahan beban yang lebih besar. Komponen struktur ini pada umumnya digunakan sebagai komponen struktur utama pada bangunan gedung struktur kayu untuk hunian.

Struktur utama bangunan gedung kayu bertingkat lebih dari satu umumnya dimodelkan sebagai struktur rangka kaku penahan momen dengan komponen

struktur berupa balok dan kolom. Pemodelan tersebut memiliki konsekuensi, yaitu sambungan harus cukup kaku (*rigid*) agar mampu menahan momen.

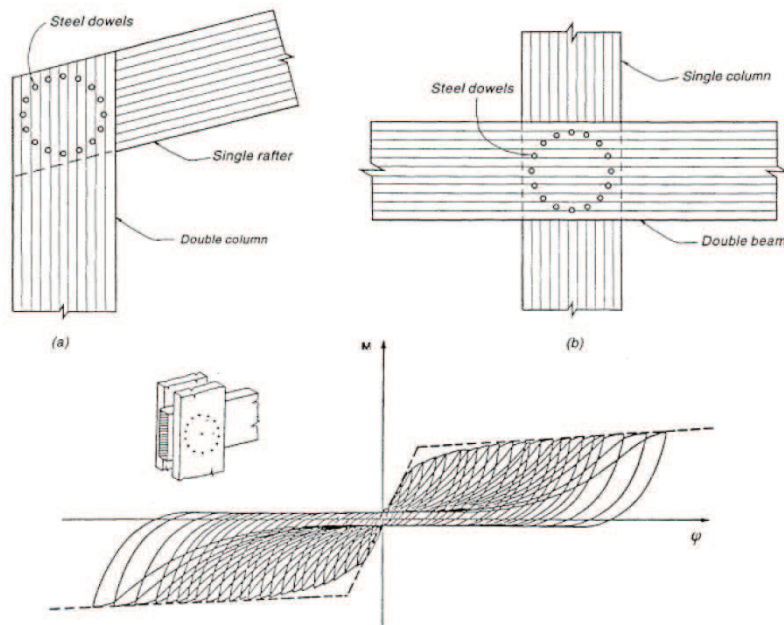


Gambar 1. Beberapa lamina kayu yang direkatkan dengan bahan adhesif menjadi glulam [1]

Sambungan dengan Baut dipasang melingkar

Sambungan dengan baut banyak digunakan di Eropa [6], dengan banyaknya penggunaan pola baut yang dipasang melingkar, lihat Gambar 2, sehingga sambungan mampu menahan momen, khususnya pada sambungan antara rafter dengan kolom di struktur rangka bentang besar.

*Corresponding author. e-mail:simanta@unpar.ac.id, djoni_simanta@yahoo.com



Gambar 2. Sambungan dengan Pola Pemasangan Baut Melingkar dan Kurva Histeresisnya

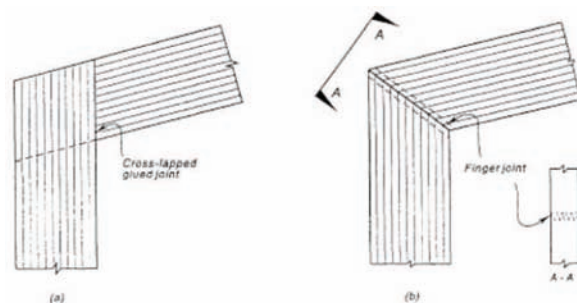
Pada riset yang dilakukan pada pola sambungan melingkar ini jika dilakukan dengan baut yang memiliki lekatan yang tinggi dengan kayu akan memperbesar kekuatan sambungan. Karena itu, jika celah di lubang kayu untuk baut diisi dengan resin, kekuatannya juga akan bertambah, dan semua baut akan menerima pembebanan secara simultan yang akhirnya menghasilkan sambungan yang lebih kaku. Walaupun demikian, kuat batas sambungan dipengaruhi oleh kuat tarik tegak lurus terhadap serat kayu. Beberapa kesimpulan diperoleh, seperti pindahnya pusat rotasi dari pusat kelompok baut yang menimbulkan perbedaan beban di masing-masing baut. Gaya terbesar terjadi pada baut yang terdekat dengan sudut-sudut sambungan.

Sambungan dengan Lem dan Diinjeksi dengan Epoxy

Pada sambungan ini, digunakan alat sambung baut, dengan lubang baut diperkecil sekitar 1 mm sampai 2 mm, yang diisi dengan lem, lihat Gambar 3 [5]. Kekurangan dari sistem ini adalah potensi terjadinya retak di kayu dan kontrol kualitas sulit dilakukan.

Adalah tidak mungkin untuk menentukan apakah lem telah terdistribusi merata di sepanjang permukaan kontak antara baut dan kayu. Teknik yang lebih baru justru dengan memperbesar lubang sekitar 2 mm terhadap diameter pasak atau baut. Dalam cara ini lem epoksi disuntik ke dalam lubang kayu pada bagian bawah dari lubang pembenaman untuk batang pasak.

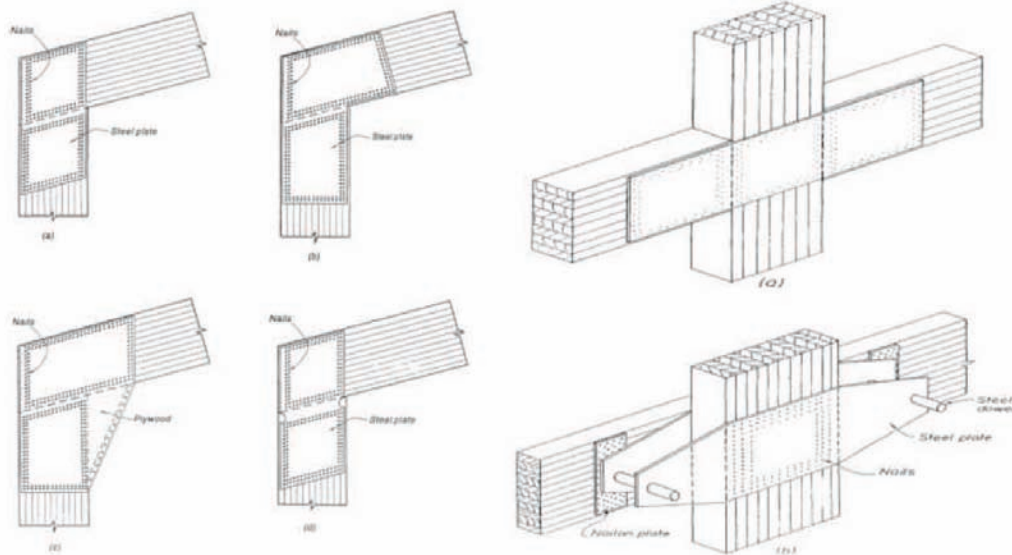
Sambungan ini sukses dilakukan di Denmark [6] selama kurang lebih sepuluh tahun dan menghasilkan sambungan penahan momen dengan kapasitas kira-kira 75kapasitas balok dengan laminasi lem.



Gambar 3. Sambungan *Knee Joint* pada Rangka Payon [5]

Sambungan dengan Pelat Buhul yang Dipaku

Riset sambungan penahan momen pada portal kayu dengan menggunakan pelat buhul plywood yang dipaku telah dilakukan [4]. Dihasilkan suatu prosedur desain yang meliputi sambungan balok berlapis yang dibentuk dengan pelat buhul yang dipaku. Sambungan ini merupakan kombinasi sambungan dengan paku, pelat baja dan kayu glulam, lihat Gambar 4. Pada umumnya sambungan dengan paku hanya boleh dilakukan bila slip boleh terjadi. Jika slip harus cukup kecil, sebaiknya digunakan baut.

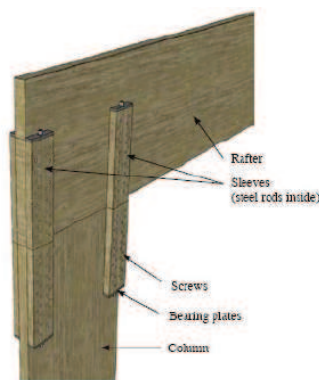


Gambar 4. Sambungan Knee Joint dengan Paku Pada Rangka Payon & Sambungan momen dengan paku pada Bangunan Bertingkat [4]

Sambungan Cepat Rangka Portal

Sambungan cepat adalah sambungan momen semi-rigid yang telah dikembangkan sebagai salah satu alternatif untuk solusi sambungan paku. Sambungan cepat memiliki konsep mirip sambungan baut parsial yang biasa digunakan pada struktur baja. Sambungan terdiri atas batang baja seperti terlihat pada Gambar 5.

Pada umumnya, ragam kegagalan yang terjadi pada sambungan ini adalah gagal lentur, gagal tarik sejajar serat, gagal geser, dan gagal karena tegangan tarik tegak lurus serat. Selain itu, ragam kegagalan dapat terjadi pada area kontak balok dan kolom, dimana balok mendesak kolom. Kegagalan lain yang mungkin terjadi adalah adanya retak pada *sleeve* [9].

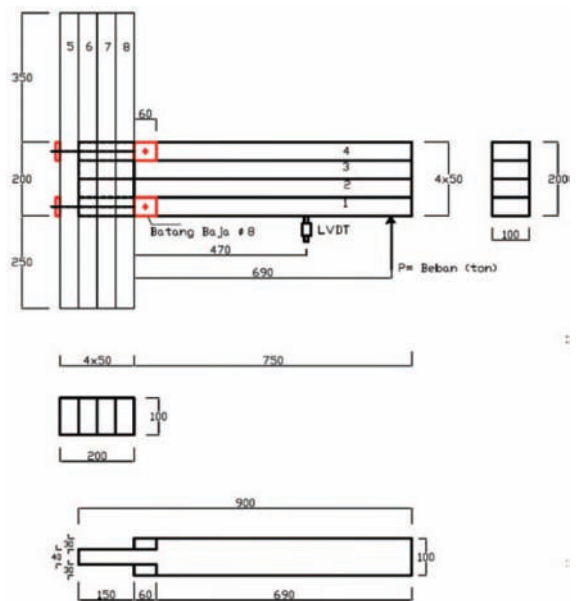


Gambar 5. Sambungan Cepat Rangka Portal [8]

Sambungan Momen dengan Sistem Profil Siku dan Batang Baja

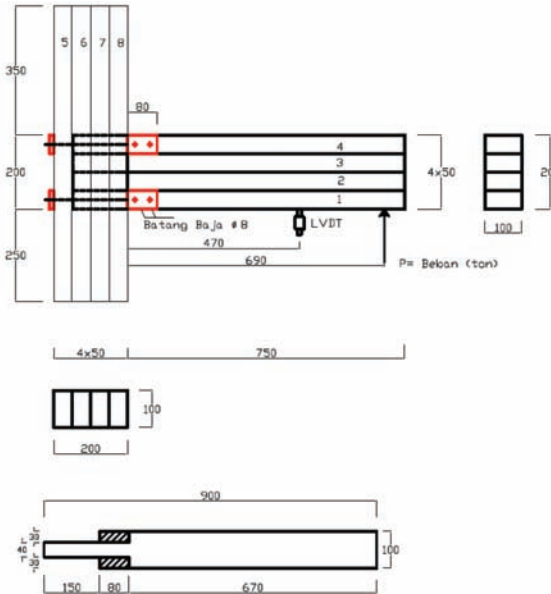
Sebagai pengembangan dari berbagai sistem sambungan yang telah dibahas di atas, pada penelitian ini

dikembangkan sistem sambungan eksterior balok dan kolom struktur kayu, yang diharapkan berperilaku cukup kaku, pengerjaanya tidak sulit, dan mempunyai daktilitas cukup tinggi. Ukuran benda uji sistem sambungan ini ditunjukkan pada gambar 6 untuk sistem dengan 1 batang baja pada balok (tipe M9B1) dan gambar 7 untuk sistem dengan 2 batang baja pada balok (tipe M9B2). Yang dimaksud dengan sambungan eksterior di sini bukan berarti sambungan tersebut diekspos terhadap cuaca, melainkan sambungan antara balok dan kolom yang hanya ada di satu sisi kolom.



Gambar 6. Ukuran sambungan momen dengan 1 batang baja pada balok, tipe M9B1

Agar sistem sambungan berperilaku sebagaimana yang diharapkan, yaitu mampu menerima momen maka pada sambungan ini dipasang juga profil siku dan batang baja sebagai elemen penyalur gaya tarik dan gaya tumpu. Pemasangan dan konfigurasi batang baja sebagai penyalur gaya sedemikian rupa agar diperoleh kinerja sambungan yang optimal.



Gambar 7. Ukuran sambungan momen dengan 2 batang baja pada balok, tipe M9B2

Sambungan ini secara prinsip menggunakan konsep sambungan struktur baja, dimana secara sederhana, momen lentur diterima oleh pasangan baut tarik yang menerima gaya tarik akibat momen dibagi jarak verikal ke sisi tekan balok, kemudian gaya tarik yang besarnya kira-kira momen dibagi jarak vertikal tersebut dipindahkan oleh profil siku yang cukup kaku ke batang baja tumpu yang melintang sehingga memberikan kekuatan tumpu sejajar serat terhadap penampang balok glulam.

Gaya geser sebagian besar diterima oleh *shear key* kaku yang berupa pen kayu yang merupakan bagian

balok kayu glulam yang menembus batang kolom, dengan lebar minimum pen kira-kira sepertiga lebar balok dan panjang pembenaman pen maksimum $2/3 - 3/4$ ukuran kolom kayu dalam arah memanjang pen.



Gambar 8. Perakitan lapisan kayu menjadi kayu glulam.

Dalam studi eksperimental yang dilakukan terhadap kedua sistem sambungan, benda uji balok dan kolom glulam terdiri atas empat lamina akasia mangium, dengan masing-masing lamina berukuran 50 mm x 100 mm, sehingga hasil akhir terbentuk kayu glulam berukuran 100 mm x 200 mm. Proses perakitan balok dan kolom glulam ditunjukkan pada Gambar 8 dan 9.



(a) Benda uji tipe M9B1

(b) Benda uji M9B2

Gambar 9. Benda uji sambungan momen dengan baja siku dan batang baja.

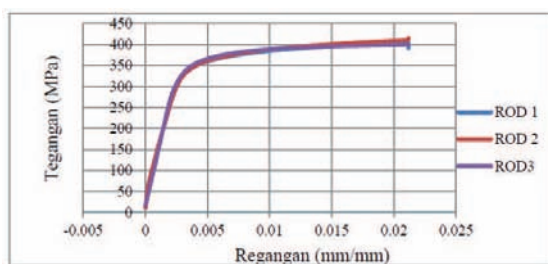
Tabel 1. Balok yang Dianalisis

Uji Material	Jumlah maksimum Benda Uji	Ukuran Standard (mm)	ASTM
Kadar air dan Specific gravity	3	50x50x50	D2395-02
Kuat Tekan //	3	50x50x200	D143-09, 9
Kuat Tekan \perp	3	50x50x150	D143-09, 12
Kuat Tarik //	3		D143-09, 16
Kuat Tarik \perp	3		D143-09, 17
Kuat Geser //	3	50x50x63	D143-09, 14
Kuat Tumpu //	3	15x30x30	D5764-97aR02
Kuat Tumpu \perp	3	15x30x30	D5764-97aR02

2 BAHAN DAN METODOLOGI

2.1 BAHAN

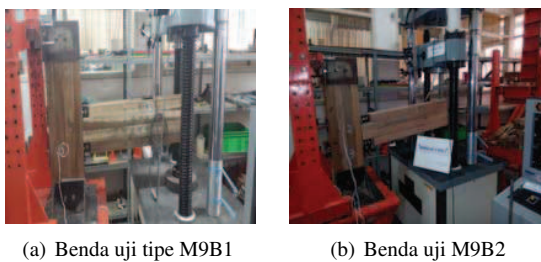
Jenis kayu yang digunakan adalah kayu akasia yang memiliki berat jenis rata-rata 0,57 dan kadar air rata-rata 19%. Pengujian sifat fisik dan mekanik kayu dilakukan sesuai, berturut-turut ASTM D2395-02 dan ASTM D143 [3] dan ASTM D5764 [2], Pada Tabel 1 ditunjukkan pengujian yang dilakukan, ukuran benda uji, dan persyaratan ASTM yang diikuti. Uji kuat tarik batang baja dilakukan untuk batang baja berulir dengan diameter 7,7 mm dengan banyaknya benda uji 3 buah. Uji tarik dilakukan hingga batang baja putus. Gambar 10 memperlihatkan 3 kurva tegangan-regangan hasil uji tarik batang baja.



Gambar 10. Kurva Tegangan-Regangan Batang baja berulir diameter 7,7 mm

2.2 METODE PENGUJIAN

Sebanyak 2 benda uji tipe M9B1 dan 5 benda uji tipe M9B2 diuji dengan menggunakan Universal Testing Machine (UTM). Pengujian yang dilakukan adalah pengujian statik monotonik dengan laju cross head sebesar 2 mm/menit. Lendutan di lokasi beban diukur dan direkam di komputer yang tersambung dengan UTM, seperti terlihat dalam Gambar 11.



Gambar 11. Pembebanan Inkremental Monotonik dilakukan.

Pengujian dihentikan setelah terjadi kerusakan di lokasi batang baja tumpu di balok dan putusnya batang baja tarik. Kerusakan yang terjadi pada saat tersebut diperlihatkan pada Gambar 12 untuk benda uji M9B1 dan Gambar 13 untuk benda uji M9B2. Khusus untuk benda uji M9B2, kegagalan terjadi hanya akibat putusnya batang baja tarik, seperti terlihat pada Gambar 13.



Gambar 12. Kegagalan tumpu pada kayu sekitar batang baja tumpu benda uji M9B1.

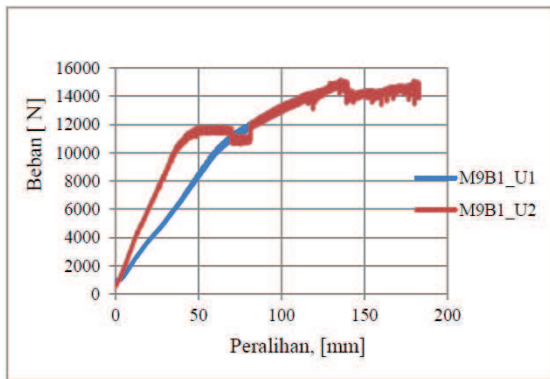


Gambar 13. Kegagalan batang baja tarik akibat pembebanan di benda uji M9B2.

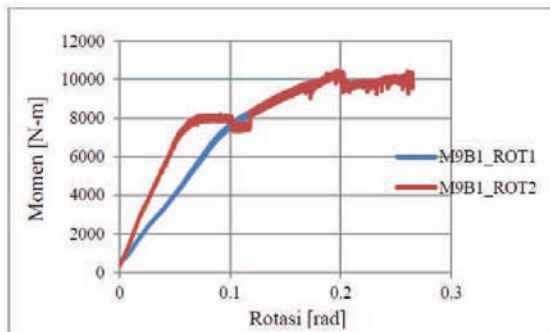
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 14 memperlihatkan kurva beban-lendutan benda uji M9B1 yang diperoleh dari UTM. Dari gambar tersebut, diperoleh kurva momen-rotasi benda uji M9B1 seperti terlihat dalam Gambar 15. Momen pada Gambar 15 didapatkan dengan cara mengalikan beban dengan jarak beban ke muka kolom dan rotasi diperoleh dengan membagi lendutan dengan jarak beban ke muka kolom. Terjadinya kegagalan sambungan momen M9B1 dipicu oleh terjadinya kegagalan tumpu kayu di lokasi sekitar batang baja tumpu akibat lelehnya baja tarik. Sambungan ini cenderung lebih fleksibel selain karena profil siku yang lebih tipis, tapi juga karena mudahnya profil siku tersebut berotasi sehubungan pemasangan batang baja tunggal di sisi atas maupun bawah balok. Karena mudahnya profil siku berotasi maka terjadi kerja sama antara baja tarik

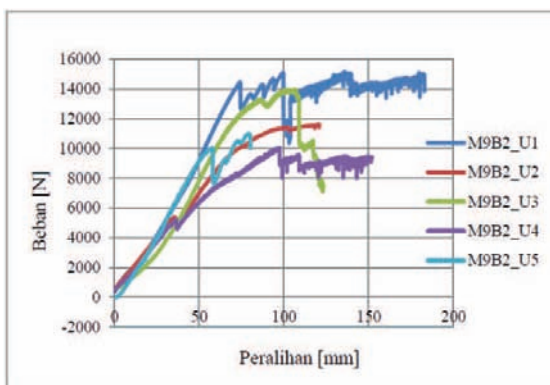
dan baja tumpu, maka sambungan ini memiliki kapasitas lebih besar dibandingkan sambungan momen tipe M9B2.



Gambar 14. Kurva beban-lendutan dua benda uji M9B1



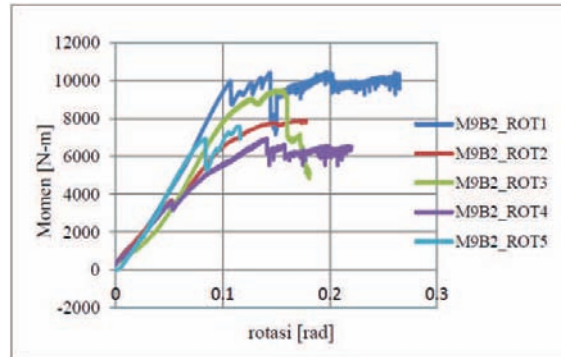
Gambar 15. Kurva momen-rotasi dua benda uji M9B1



Gambar 16. Kurva beban-lendutan lima benda uji M9B2

Gambar 16 memperlihatkan kurva beban-lendutan benda uji M9B2 dan Gambar 17 memperlihatkan kurva momen-rotasi benda uji M9B2. Pada sambungan tipe M9B2 ini, pemasangan batang baja lebih dari satu dalam satu garis sejajar dengan profil siku yang kaku tidak membantu memperbesar kapasitas, malah memperkaku sambungan untuk berotasi sehingga perilaku sambungan mirip sambungan struktur baja, dengan batang baja tarik menerima gaya tarik

akibat momen yang terjadi. Artinya kekuatan sambungan tergantung kekuatan ulir tarik. Kegagalan ulir batang tarik membatasi kemampuan sambungan menerima pembebanan dan mengurangi daktilitas rotasi sehingga sambungan momen ini bersifat getas.



Gambar 17. Kurva momen-rotasi lima benda uji M9B2

Berdasarkan kurva momen-rotasi masing-masing benda uji, dilakukan proses bilinierisasi menurut Panagopoulos dan Kappos [7], sehingga diperoleh kekakuan rotasi dan daktilitas rotasi dari setiap benda uji sambungan momen. Hasil perhitungan dan hasil uji eksperimental diperlihatkan pada Tabel 2 dan Tabel 3. Sebagaimana terlihat pada Tabel 2, momen maksimum yang dapat dipikul sambungan tipe M9B1 rata-rata sekitar 10 kN-m, dengan kekakuan rotasi sebesar rata-rata 69,0 kN-m/rad dan daktilitas rotasi rata-rata 1,2 - 2,34. Pada sambungan M9B2, sebagaimana terlihat pada Tabel 3, momen maksimum yang dapat dipikul rata-rata sekitar 8,0 kN-m, dengan kekakuan rotasi elastik rata-rata 75 kN-m/rad dan daktilitas rotasi rata-rata antara 1,0-2,38. Perlu diperhatikan bahwa pada kelompok ini rotasi pada saat kelelahan pertama sama yaitu rata-rata sebesar 0,11 rad.

Tabel 2. Rangkuman hasil uji eksperimental sambungan momen tipe M9B1

TIPE	B1_U_1	B1_U_2
D_{PMAKS}	135,75 mm	135,75 mm
P_{MAKS}	15,145	kN 15,145 kN
M_{MAKS}	10,45 kN-m	10,45 kN-m
φ_y	0,115 rad	0,059 rad
φ_u	0,27 rad	0,265 rad
μ_φ	2,34	3,5
K_e	77 kN-m/rad	135,2 kN-m/rad
K_{ie}	7,7 kN-m/rad	13,52 kN-m/rad

Tabel 3. Rangkuman hasil uji eksperimental sambungan momen tipe M9B2

TIPE	B2_U1	B2_U3	B2_U2	B2_U4	B2_U5
D_{PMAKS}	135,75 mm	106,3 mm	120,6 mm	97,11 mm	79,1 mm
P_{MAKS}	15,15 kN	13,95 kN	11,61 kN	10,05 kN	10,98 kN
M_{MAKS}	10,20 kNm	9,46kNm	8,07kNm	6,36kNm	7,58kNm
φ_y	0,11 rad	0,11 rad	0,11 rad	0,10 rad	0,083 rad
φ_u	0,27 rad	0,20 rad	0,25 rad	0,22 rad	0,115 rad
μ_φ	2,38	1,8	2,27	2,11	1,375
K_e	85,35 kNm/rad	96,05kNm/rad	64,39kNm/rad	60,92kNm/rad	81,6 kNm/rad

4 KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dikembangkan suatu sistem sambungan balok-kolom eksterior kayu glulam akasia mangium dengan sistem profil siku dan batang baja. Penelitian meliputi pengujian sifat fisik dan mekanik material kayu dan sifat mekanik batang baja dan pengujian eksperimental. Dua tipe sambungan telah dikembangkan dan diuji, yaitu sambungan dengan satu batang baja ulir (M9B1) dan dua batang baja ulir (M9B2). Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa sambungan momen tipe M9B2 lebih kaku dari pada sambungan tipe M9B1 dan berperilaku mirip sambungan struktur baja dengan profil siku yang tebal. Kegagalan terjadi di batang baja tarik dan kekuatannya hanya bergantung pada kekuatan tarik ulir batang baja tarik. Kegagalan ulir batang tarik membatasi kemampuan sambungan menerima pembebanan dan mengurangi daktilitas rotasi sehingga sambungan momen ini bersifat getas. Kinerja sambungan tipe M9B2 lebih baik dari pada tipe M9B1 karena memiliki kekakuan awal yang besar dan memiliki daktilitas yang lebih tinggi dan seragam. Hasil uji eksperimental menunjukkan bahwa sambungan yang dikembangkan ini adalah sambungan momen *semi-rigid*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih dan penghargaan disampaikan kepada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan, khususnya pimpinan dan staf Laboratorium Teknik Struktur, atas fasilitas yang diberikan di dalam uji eksperimental penelitian ini.

REFERENSI

- [1] AMERICAN FOREST AND PAPER ASSOCIATION. *Guide to Engineered Wood Product*, 2010.
- [2] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard Test Methods for Evaluating Dowel-Bearing Strength of Wood and Wood-Based Products, ASTM D5764-97a (Reapproved 2002)*, 2002.

- [3] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard Test Method for Small Clear Specimens of Timber. ASTM D143-94*, 2009.
- [4] BATCHELAR, M., AND CAVANAGH, G. *Nailed plywood gusset joints for timber portal frames*. Department of Civil Engineering, University of Auckland, N.Z., 1982.
- [5] BUCHANAN, A., AND FAIRWEATHER, R. Seismic design of glulam structures. *Bulletin of The Zealand National Society for Earthquake Engineering* (1993).
- [6] CREWS, K. *Gottstein report*. Forest Research Institute, Rotorua, New Zealand, 1990.
- [7] PANAGOPALOUS, G., AND KAPPOS, A. *BILINEAR - Bilinear Approach Forces Size Diagrams-Deformation*. Departement of Civil Engineering AUTH, Greek, 2008.
- [8] SCHEIBMAIR, F., AND QUENEVILLE, P. The quick connect moment connection for portal frame buildings - An introduction and case study. *Proceeding of Wood Conference on Timber Engineering (WCTE) 2012* (2012), 192.
- [9] TANUWIJAYA, P. Perilaku hubungan balok-kolom kayu laminasi dengan sambungan cepat. Master's thesis, Universitas Katolik Parahyangan Bandung, 2014.