

Kualitas Glulam Samama dengan Kombinasi Kayu Mangium dan Mahoni

(The Quality of Samama Glulam and Its Combination with Mangium and Mahogany Wood)

Tekad D Cahyono^{1*}, Fauzi Febrianto², Syarif Ohorella¹

¹ Fakultas Pertanian, Universitas Darussaalam, Ambon, Jl. Raya Tulehu KM.24
Ambon 97582.

² Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan IPB. Jl. Raya Dramaga Bogor
16680.

*Penulis korespondensi : tekatdwicahyono@gmail.com

Abstract

Previous study on several types of samama glulam had shown the MOE and MOR which is not meet JAS 2007. The recent study addressed the glulam construction from samama wood combined with two commercial woods to improve the quality of resulting glulam. Mangium (*Acacia mangium*) and mahogany (*Swietenia mahogany*) woods were laminated with samama wood using isocyanate adhesive at a spread rate of 200 g m⁻² and then clamped with 30 cm gap between the clamp for 3 hours. Nine types of glulam were made with and without a combination of 1 cm lamina from the three types of wood species. The results showed the difference of density between samama glulam with the other types. Furthermore, the moisture content, hot water delamination, cold water delamination, MOE and MOR of the products have met the requirements of JAS 2007 for structural wood. Bonding strengths of most types of glulam have met the standard except for samama and mahogany glulam without the combination. The results of this study strengthened the potency of samama as glulam material for the structural application.

Keywords: *glulam, mahogany, mangium, samama, structural.*

Abstrak

Nilai MOE dan MOR beberapa tipe glulam samama pada penelitian terdahulu belum memenuhi standar JAS 2007. Penelitian bertujuan untuk merekayasa kayu samama menjadi glulam dengan kayu mangium dan mahoni. Kedua jenis kayu tersebut dilaminasi dengan kayu samama menggunakan perekat isosianat dengan berat labur 200 g m⁻² dan diklem dengan jarak antar klem 30 cm selama 3 jam. Sebanyak 9 tipe glulam dibuat dari lamina setebal 1 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan berat jenis glulam samama dengan seluruh tipe glulam. Kadar air, delaminasi air panas, delaminasi air dingin, MOE, dan MOR memenuhi standar JAS 2007 untuk kayu struktural. Keteguhan geser seluruh kombinasi glulam sesuai dengan standar, sebaliknya glulam samama dan mahoni tanpa kombinasi belum sesuai. Hasil penelitian ini mampu meningkatkan potensi samama sebagai bahan baku produk glulam untuk keperluan struktural.

Kata kunci: glulam, mahoni, mangium, samama, struktural

Pendahuluan

Samama (*Anthocephalus macrophyllus*) dalam kayu perdagangan dimasukkan

dalam golongan kayu campuran. Hal inilah yang mengakibatkan namanya tidak terlalu dikenal dibandingkan dengan jenis kayu komersial lainnya.

Padahal bentuk batang yang silindris dan riap diameter dalam kisaran 4-5 cm per tahun sangat potensial dijadikan sebagai salah satu tanaman penghasil kayu di masa mendatang (Bahidin & Marsoem 2012, Cahyono *et al.* 2015). Warna kayunya yang kuning kecoklatan menjadi salah satu daya tarik lain dari kayu samama.

Kayu samama sebagai bahan baku struktural dimulai dengan produk glulam. Beberapa tipe produk glulam yang dibuat Cahyono *et al.* (2014a) mampu meningkatkan nilai MOE dan MORnya sekitar 27-36% dan 26-30%. Peningkatan nilai ini berhubungan dengan tipe glulam berdasarkan ketebalan lamina penyusunnya, pemilahan lamina, dan perekat yang digunakan. Tipe glulam terbaik adalah glulam yang terdiri dari tiga lapisan lamina dengan ketebalan yang berbeda. Modulus geser glulam samama dari tipe tersebut sebesar 618 ± 178 MPa (Cahyono *et al.* 2014b). Nilai ini penting untuk penggunaan struktural bentang pendek.

Kelebihan glulam sebagai salah satu produk teknologi peningkatan kualitas kayu adalah memaksimalkan penggunaan kayu berdiameter kecil dan memiliki kekuatan rendah menjadi lebih kuat dengan dimensi dan model yang dapat diatur sesuai kebutuhan (Mohamad *et al.* 2014). Di sisi lain, tahapan pengembangan produk glulam berbahan kayu samama dibuat dengan tujuan mendapatkan kekuatan struktural setingkat lebih baik, minimal setara namun memiliki beberapa kelebihan pada beberapa sifat tertentu. Oleh karena itu, pada penelitian ini, samama dikombinasikan dengan dua jenis kayu komersial yang telah sering digunakan.

Kayu jenis lain yang digunakan sebagai kombinasi adalah kayu mahoni dan mangium. Mahoni dipilih karena

mewakili kayu kelas kuat II, berasal dari tanaman yang memiliki riap pertumbuhan normal, dan termasuk dalam kategori semakin sulit ditemukan dan mahal. Kayu mangium dipilih karena berat jenis (BJ) yang setara dengan samama, lebih mudah ditemukan, dan memiliki beberapa sifat yang berbeda, termasuk kelenturannya yang lebih baik (Sulistyawati 2009, Komariah & Massijaya 2015).

Penelitian ini bertujuan untuk mendesain glulam kayu samama dan kombinasi dengan kayu mangium dan mahoni, menganalisis sifat fisis mekanis dari glulam samama, dan menetapkan komposisi glulam terbaik. Hasil penelitian akan bermanfaat bagi pengembangan kemanfaatan kayu samama untuk dikembangkan menjadi produk bermutu, tepat guna dan sesuai kriteria sebagai bahan baku struktural. Berikutnya juga diharapkan hasil penelitian dapat dijadikan dasar meningkatkan kemanfaatan kayu samama.

Bahan dan Metode

Persiapan bahan baku

Papan kayu samama diperoleh dari hutan rakyat di Maluku. Kayu mangium dan mahoni didapatkan dari pasar kayu. Kayu dibuat lamina dengan ketebalan 1 cm dan dikeringkan sampai kadar air (KA) kesetimbangan.

Pembuatan glulam

Glulam dibuat dengan ukuran tebal, lebar dan panjang adalah $(3 \times 6 \times 120)$ cm³. Sembilan tipe glulam dibuat dengan variasi susunan papan lamina (Tabel 1). Selain variasi jenis, lamina juga dipilih berdasarkan 2 kategori MOE, yaitu tinggi dan rendah. Lamina dengan MOE tinggi dijadikan lapisan permukaan, sedangkan yang rendah diletakkan di

bagian tengah. Perekat yang digunakan adalah isosianat dengan berat labur 200 g m⁻². Setelah proses pelaburan, lamina diklem dengan jarak antar klem 30 cm, atau 4 buah klem untuk masing masing produk lamina. Waktu yang ditetapkan untuk proses pengempaan (klem) adalah 3 jam.

Tabel 1 Variasi susunan papan lamina

| Tipe glulam | Jenis lamina penyusun |
|-------------|-----------------------|
| A | SSS |
| B | TTT |
| C | UUU |
| D | TST |
| E | STS |
| F | USU |
| G | SUS |
| H | UTU |
| I | TUT |

Keterangan: S = Lamina kayu Samama, T = Mahoni, U = Mangium

Pengujian sifat fisis mekanis dan analisis data

Sifat fisis kayu yang diuji meliputi kadar air dan berat jenis. Sifat mekanis kayu meliputi keteguhan lentur (MOR), keteguhan kaku (MOE), keteguhan geser, dan delaminasi. Pengujian sifat fisis dan mekanis mengacu standar BSI (1957) dan JAS (2007). Data sifat fisis dan mekanis selanjutnya dianalisis dengan rancangan acak lengkap. Jika pengaruh tipe glulam yang dibuat signifikan, maka dilanjutkan dengan uji Duncan untuk mendapatkan tipe glulam terbaik.

Hasil dan Pembahasan

Pemilihan dan penyusunan lamina

Lamina samama, mangium, dan mahoni dibagi menjadi dua bagian berdasarkan nilai MOE. Pemilahan lamina

menggunakan metode non destruktif mengikuti metode Surjokusumo *et al.* (2003) yang telah dimodifikasi sesuai panjang dan beban yang digunakan. Lamina dengan MOE tinggi diletakkan sebagai lapisan permukaan dan bagian bawah, sedangkan kelompok lainnya digunakan sebagai lapisan inti. Dasar pemilahan ini digunakan untuk seluruh glulam yang dibuat, walaupun dengan kombinasi jenis yang berbeda. Tabel 2 menunjukkan bahwa lamina mangium memiliki nilai MOE tertinggi untuk kelompok EA, sedangkan untuk kelompok EC setara dengan lamina samama kelompok EA. Hal yang sama juga terlihat untuk kayu samama dan mahoni. Jika dibandingkan MOE per kelompok, maka urutan MOE tertinggi ke MOE terendah pada masing-masing kelompok (EC dan EA), berturut-turut adalah mangium, samama, dan mahoni. Hasil pemilahan ini dijadikan dasar untuk menetapkan mangium sebagai lapisan luar dari glulam samama maupun mahoni karena memiliki nilai MOE lebih tinggi.

BJ dan KA

BJ merupakan sifat dasar kayu yang sering digunakan untuk menunjukkan korelasinya dengan kekuatan kayu. Nilai BJ yang tinggi diikuti dengan sifat kayu yang semakin kaku dan kuat. Faktor utama yang menyebabkan hal tersebut adalah kayu dengan BJ tinggi memiliki dinding serat lebih tinggi dibandingkan BJ rendah (Ruhendi *et al.* 2007). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada umumnya BJ kayu setelah dibuat produk berbeda dengan kayu solidnya (Gambar 1). Penyebabnya adalah tambahan bahan lain, misalnya perekat yang menjadi bagian dari produk glulam.

Selain itu, produk glulam juga terdiri dari kombinasi dengan dua jenis kayu sehingga berat jenisnya akan berbeda dibandingkan dengan glulam dari satu jenis kayu. Hasil ini didukung dengan hasil uji *t-student* terhadap glulam satu jenis kayu (glulam tipe A, B, C) dan kombinasinya (glulam tipe E, F, G, H, dan I) menunjukkan nilai BJ yang berbeda.

Tabel 2 Pemilahan lamina

| Jenis Kayu | Kelompok MOE, kg cm ⁻² | |
|------------|-----------------------------------|------------|
| | EC | EA |
| Mangium | 69258±9071 | 87256±9225 |
| Samama | 52975±6019 | 69874±6160 |
| Mahoni | 46776±4214 | 60099±4922 |

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa tipe glulam berpengaruh terhadap BJ. Selanjutnya, uji lanjut Duncan menyajikan bahwa glulam mangium memiliki BJ tertinggi dibandingkan dengan lainnya. Glulam kombinasi di mana terdapat kayu mangium sebagai lapisan, baik bagian luar maupun bagian tengah memiliki BJ yang berbeda dengan glulam jenis kayu lainnya. Glulam kombinasi samama dengan mangium maupun samama dengan mahoni terlihat mengalami perbedaan BJ dengan glulam samama tanpa kombinasi. Berikutnya glulam yang memiliki rata-rata BJ terendah adalah A, B, dan D (Tabel 3).

Rataan KA seluruh sampel adalah 12,54% dengan nilai terendah dan tertingginya masing masing adalah 11,21 dan 14,28% (Gambar 1). Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa tidak ada

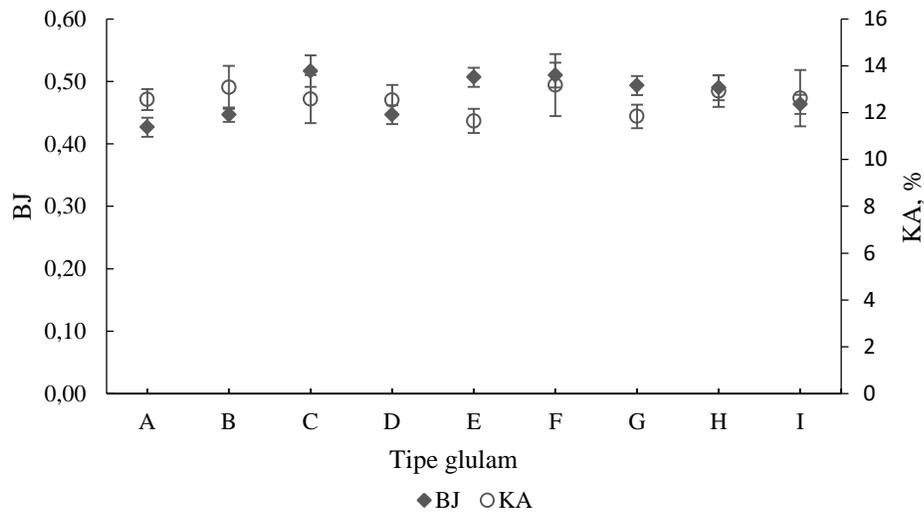
perbedaan KA yang signifikan antara semua tipe glulam. Selanjutnya jika dibandingkan dengan standar JAS (2007) yang mensyaratkan KA maksimal 15%, maka seluruh tipe glulam yang dibuat memenuhi standar tersebut.

Selain faktor internal seperti BJ, KA juga ditentukan oleh faktor luar seperti kelembaban udara saat pengujian. Nilai KA penting untuk diketahui karena kadar air mempengaruhi kekuatan kayu (Jayne & Bodig 1982). KA diuji untuk mengetahui KA saat pengujian mekanis sehingga dapat menjelaskan perbedaan kekuatan kayu jika contoh ujinya memiliki KA yang berbeda.

Keteguhan geser

Keteguhan geser glulam samama, mangium dan mahoni, berturut-turut adalah 45,43±5,20; 52,75±6,80; dan 58,64±8,27 kg cm⁻². Kayu samama memiliki keteguhan geser terendah, yaitu di bawah 50 kg cm⁻² (Gambar 2).

Keteguhan geser samama yang rendah disebabkan karena semua sampel mengalami kerusakan pada kayunya, bukan pada garis rekatnya. Hasil keteguhan geser yang rendah juga dilaporkan oleh Cahyono *et al.* (2014a) pada berbagai tipe glulam samama. Peningkatan keteguhan geser terjadi setelah dikombinasikan dengan jenis kayu lain, nilainya lebih besar dibandingkan glulam samama, mahoni, dan mangium. Vick (1999) menjelaskan bahwa keteguhan geser dipengaruhi oleh jenis kayu, ketebalan lamina, dan proses pengempaan.



Gambar 1 BJ dan KA glulam.

Tabel 3 Uji lanjut Duncan untuk BJ

| Tipe glulam | Jenis kayu | BJ | Tanda |
|-------------|------------|------|-------|
| A | SSS | 0,42 | a |
| B | TTT | 0,44 | ab |
| D | TST | 0,44 | ab |
| I | TUT | 0,46 | bc |
| H | UTU | 0,49 | cd |
| G | SUS | 0,49 | cd |
| E | STS | 0,50 | d |
| F | USU | 0,51 | d |
| C | UUU | 0,51 | d |

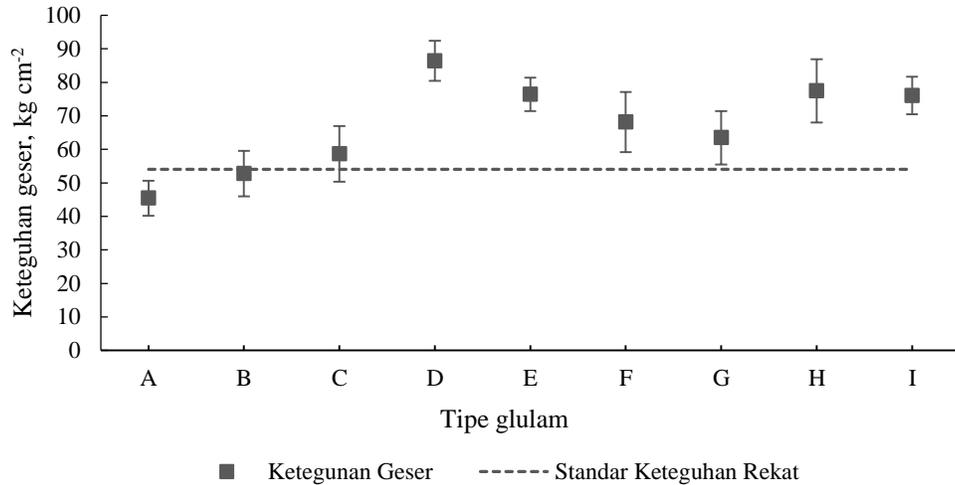
Keterangan : S = Lamina kayu Samama, T = Mahoni, U = Mangium

Pada penelitian ini, ketebalan lamina dan pengempaan menggunakan satu faktor, sehingga peningkatan keteguhan geser tersebut disebabkan karena kombinasi kayu yang berbeda. Hal ini diperkuat dengan hasil analisis sidik ragam yang menunjukkan bahwa tipe glulam berpengaruh terhadap keteguhan geser.

Hasil uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa keteguhan geser glulam D (samama-mahoni-samama) memiliki nilai tertinggi jika dibandingkan dengan

glulam tipe lain. Kelompok kedua di bawah tipe D adalah glulam tipe I, E, dan H. Peningkatan keteguhan geser disebabkan oleh kombinasi jenis yang berbeda menyebabkan perbedaan ikatan perekat isosianat dengan masing masing bahan. Perbedaan ikatan ini karena variasi sudut kontak isosianat terhadap berbagai permukaan bahan sehingga memengaruhi keteguhan geser (Tang *et al.* 2012, Darwis *et al.* 2014, Cahyono *et al.* 2017). Glulam A dan B tidak masuk dalam standar JAS (2007) yaitu minimal 54 kg cm⁻², sedangkan tipe lainnya memenuhi persyaratan.

Keteguhan geser glulam mangium tanpa kombinasi menggunakan perekat isosianat pada penelitian terdahulu memiliki nilai yang lebih besar dari standar JAS (2007). Hadjib *et al.* (2015) melaporkan bahwa keteguhan geser glulam mangium sebesar 74,14 kg cm⁻² dengan berat labur 200 g cm⁻² dan diklem selama 4 jam. Pada penelitian tersebut juga terjadi fenomena kenaikan keteguhan rekat saat mangium dikombinasikan dengan jenis lain.



Gambar 2 Keteguhan geser glulam.

Delaminasi

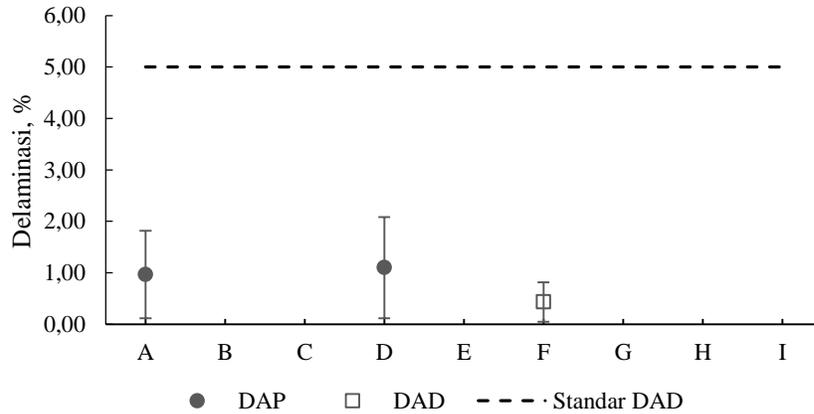
Delaminasi dengan pengujian air dingin hanya terjadi pada glulam tipe F, sedangkan dengan pengujian air panas hanya terjadi pada glulam A dan D (Gambar 3). Ketiganya memiliki standar deviasi yang besar karena tidak semua sampel pada ulangan mengalami kerusakan. Nilai pengujian delaminasi, baik pengujian air panas maupun air dingin memenuhi kriteria JAS (2007) yang mensyaratkan delaminasi air dingin tidak lebih dari 5% dan air panas tidak lebih dari 10%. Pengujian delaminasi bertujuan untuk menguji ketahanan produk terhadap penggunaan moderat sampai ekstrim. Dengan hasil ini, semua produk dapat digunakan dengan baik pada kedua kondisi tersebut.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa tipe glulam memengaruhi delaminasi dengan nilai *P* masing masing adalah 0,009 dan 0,016 untuk pengujian air dingin dan air panas. Nilai delaminasi yang masuk standar, selain menetapkan kemampuan glulam pada penggunaan cuaca ekstrim juga menjelaskan bahwa proses ikatan isosianat dengan satu jenis

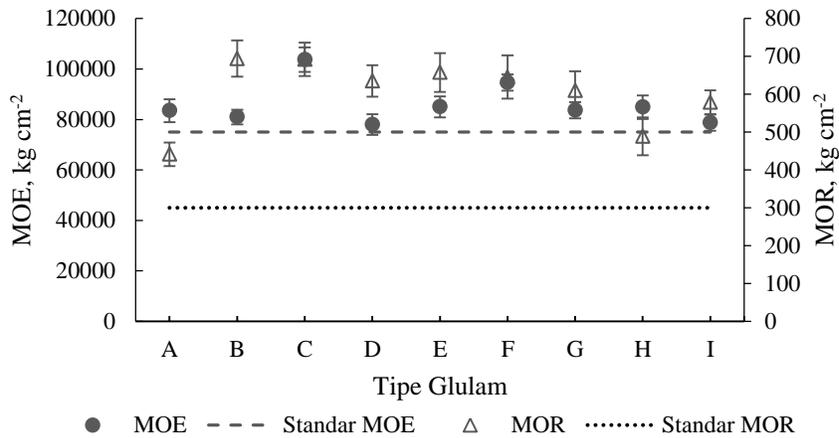
kayu dan kombinasi dua jenis menunjukkan hasil yang baik. Sebagai bahan perbandingan, delaminasi glulam samama pada penelitian terdahulu juga memenuhi standar JAS (2007) (Cahyono *et al.* 2012). Sementara itu, pada penelitian lainnya glulam mangium menggunakan perekat isosianat juga memiliki nilai delaminasi sesuai standar (Komariah & Massijaya 2015).

MOE dan MOR

Kelenturan glulam samama, mahoni, dan mangium berturut-turut adalah 83488 ± 4538 , 80984 ± 2909 , dan 103701 ± 4829 kg cm⁻² (Gambar 4). Glulam tipe D memiliki kelenturan terkecil, yaitu 77977 ± 4103 kg cm⁻². Sementara itu, glulam mangium (tipe C) memiliki nilai MOE terbesar. Sebagai perbandingan, MOE glulam tiga lapis mangium dengan ketebalan lamina 1,7 cm yang dilaporkan oleh Komariah (2014) sebesar 134100 ± 3400 kg cm⁻². Glulam 3 lapis dengan ketebalan lamina 2 cm memiliki nilai MOE 5829 ± 799 MPa (Sulistiyawati *et al.* 2008).



Gambar 3 Delaminasi berbagai tipe glulam.



Gambar 4 MOE dan MOR glulam.

Seluruh tipe glulam pada penelitian ini memenuhi standar JAS (2007) yang mensyaratkan nilai MOE minimal adalah 75000 kg cm⁻². Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa tipe glulam berpengaruh terhadap nilai MOE (Tabel 4). Hal ini dapat dijelaskan karena faktor yang berpengaruh terhadap MOE glulam adalah kelenturan bahannya dan proses pembuatan (Moody & Hernandez 1997). Pembagian bahan menjadi tiga kelompok dan meletakkan lapisan luar menggunakan lamina dengan nilai MOE lebih tinggi dari bagian tengah menjadi salah satu penentu nilai MOE akhir glulam. Hal ini juga dikuatkan dengan hasil penelitian Sugiri *et al.* (2016) yang

menjelaskan tentang potensi penambahan lapisan kayu kelas II, termasuk mahoni sebagai bahan penguat glulam untuk penggunaan struktural.

Perbedaan terlihat antara MOE lamina yang tersaji pada Tabel 2 dan MOE akhir setelah menjadi glulam. Perbedaan ini akibat dari perbedaan cara penentuan nilai MOE lamina dan glulam. Lamina diuji menggunakan pengujian non destruktif, sedangkan MOE glulam diuji dengan pengujian destruktif. Pengujian lamina mendapatkan hasil yang lebih kecil dibandingkan dengan pengujian glulam destruktif dan konsisten untuk seluruh sampel. Pengujian lamina hanya

bertujuan untuk mengelompokkan bahan agar lebih seragam pada tipe yang dibuat dan menentukan kelompok lamina untuk diletakkan di bagian luar atau tengah. Nilai kelenturan yang menjadi rujukan adalah kelenturan dengan pengujian destruktif.

Gambar 4 menyajikan nilai MOR 9 tipe glulam. Kekakuan glulam samama, mahoni, dan mangium berturut-turut 491 ± 30 , 694 ± 48 , 692 ± 44 kg cm^{-2} . Semua tipe glulam, nilai MORnya memenuhi JAS (2007) untuk kayu struktural yang mensyaratkan nilainya lebih dari 300 kg cm^{-2} . Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa tipe glulam berpengaruh terhadap nilai MORnya. Uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa nilai MOR glulam samama memiliki nilai terendah, sementara nilai tertinggi didapatkan pada dua tipe glulam lainnya, yaitu B dan C (Tabel 5).

Tabel 4 Uji lanjut Duncan untuk MOE

| Tipe glulam | MOE | Tanda |
|-------------|--------|-------|
| D | 77977 | a |
| I | 78767 | ab |
| B | 80984 | abc |
| A | 83488 | abc |
| G | 83634 | abc |
| H | 84870 | bc |
| E | 85014 | c |
| F | 94614 | d |
| C | 103701 | e |

Penelitian terdahulu tentang glulam samama menunjukkan bahwa peningkatan MOE dan MOR samama pada beberapa tipe glulam sebesar 27-36% dan 26-30% (Cahyono *et al.* 2014a). Pada penelitian ini juga terjadi peningkatan, namun dengan persentase peningkatan MOE lebih kecil yaitu 5-17%. Sebaliknya, persentase lebih besar terjadi pada nilai MOR sebesar 32-39%.

Peningkatan nilai MOE dan MOR tidak dihitung berdasarkan produk glulam, melainkan dibandingkan dengan bahan asalnya. Seperti yang terlihat pada Tabel 4, nilai MOE tipe D terlihat lebih rendah dibandingkan tipe A. Namun jika dibandingkan dengan MOE lapisan lamina bahannya, nilai tersebut mengalami peningkatan.

Tabel 5 Uji lanjut Duncan untuk MOR.

| Tipe glulam | MOR | Tanda |
|-------------|-----|-------|
| A | 441 | a |
| H | 488 | a |
| I | 578 | b |
| G | 610 | bc |
| D | 635 | bc |
| F | 645 | bc |
| E | 657 | bc |
| C | 692 | c |
| B | 694 | c |

Kesimpulan

Terjadi peningkatan BJ setelah samama dikombinasikan dengan lamina mahoni dan mangium. Kadar air, delaminasi pengujian air panas dan air dingin, MOE, dan MOR seluruh glulam sesuai standar JAS (2007) untuk glulam struktural. Keteguhan geser glulam samama dan mahoni di bawah standar, sementara seluruh tipe kombinasinya memenuhi standar. Nilai MOE glulam meningkat sebesar 5-17%, sedangkan persentase MOR-nya meningkat dalam kisaran 32-39% dibandingkan glulam samama tanpa kombinasi.

Daftar Pustaka

Bahidin LM, Marsoem SN. 2012. Laju pertumbuhan, sifat anatomi dan sifat fisika kayu jabon merah (*Anthocephalus macrophyllus*) yang tumbuh di Kabupaten Banggai Sulawesi Tengah [Tesis]. Yogyakarta: UGM.

- [BSI] British Standard Institution. 1957. *Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber Number 373:1957*. London: BSI.
- Cahyono TD, Ohorella S, Febrianto F. 2012. Sifat fisis mekanis kayu samama (*Anthocephallus macrophyllus*) dari Kepulauan Maluku. *J Ilmu Teknol Kayu Tropis* 10(1):28-39.
- Cahyono TD, Ohorella S, Febrianto F, Priadi T, Wahyudi I. 2014a. Sifat fisis dan mekanis glulam dari kayu samama. *J Ilmu Teknol Kayu Tropis* 12(2):186-195.
- Cahyono TD, Wahyudi I, Priadi T, Febrianto F, Darmawan W, Bahtiar ET, Ohorella S, Novriyanti E. 2015. The quality of 8 and 10 years old samama wood (*Anthocephalus macrophyllus*). *J Indian Acad Wood Sci*. 12(1):22-28.
- Cahyono TD, Wahyudi I, Priadi T, Febrianto F, Ohorella S. 2014b. Analisis modulus geser dan pengaruhnya terhadap kekakuan panel laminasi kayu samama (*Antocephallus macrophyllus*). *J Teknik Sipil* 21(2):121-128.
- Cahyono TD, Wahyudi I, Priadi T, Febrianto F, Ohorella S. 2017. Sudut kontak dan keterbasahan dinamis kayu samama pada berbagai pengerjaan kayu. *J Teknik Sipil* 24(3):209-216.
- Darwis A, Massijaya MY, Nugroho N, Alamsyah EM, Nurrochmat DR. 2014. Bond ability of oil palm xylem with isocyanate Adhesive. *J Ilmu Teknol Kayu Tropis* 12(1):39-47.
- Hadjib N, Abdurachman A, Basri E. 2015. Karakteristik fisis dan mekanis glulam jati, mangium dan trembesi. *J Penel Hasil Hutan* 33(2):105-114.
- [JAS] Japanese Agricultural Standard. 2007. *Japanese agricultural standard for structural glued laminated timber*. Tokyo: JSA.
- Jayne B, Bodig J. 1982. *Mechanics of Wood and Wood Composites*. New York: Van Nostrand Reinhold Co.
- Komariah RN. 2014. Karakteristik Glued Laminated Timber dari Tiga Jenis Kayu Berdiameter Kecil dengan Dua Ketebalan Lamina [Tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Komariah RN, Massijaya MY. 2015. Physical-mechanical properties of glued laminated timber made from tropical small-diameter logs grown in Indonesia1. *목재공학*. 43(2):156-167.
- Mohamad W, Hazira W, Ahmad Z. 2014. Bending strength of glulam from selected malaysian hardwood timber. *Advan Materials Res*. 879: 237-244.
- Moody RC, Hernandez R. 1997. Glued-laminated timber. *Engineered Wood Products, A Guide for Specifiers, Designers and Users*. Madison: FPS Research Foundation.
- Ruhendi S, Koroh D, Syamani F, Nurhaida H, Saad S, Sucipto T. 2007. *Analisis Perekatan Kayu*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Sugiri S, Alamsyah EM, Usman AP. 2016. Potential of reinforced indonesian glulam beams using grade I (bengkirai), grade II (kamper), grade III (nyatoh) woods for use in structural wood design. *J Eng Technol Sci*. 48(2): 150-158.
- Sulistiyawati I. 2009. Karakteristik Kekuatan dan Kekakuan Balok Glulam Kayu Mangium [Disertasi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

- Sulistiyawati I, Nugoho N, Suryokusumo S, Hadi YS. 2008. Kekakuan dan kekuatan lentur maksimum balok glulam dan utuh kayu akasia. *J Teknik Sipil* 15(3):114-115.
- Surjokusumo S, Nugroho N, Priyono J, Suroso A. 2003. *Buku Petunjuk Penggunaan Mesin Pemilah Kayu Panter Versi Panter MPK-5*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Tang L, Zhang R, Zhou X, Pan M, Chen M, Yang X, Zhou P, Chen Z. 2012. Dynamic adhesive wettability of poplar veneer with cold oxygen plasma treatment. *BioRes.* 7(3):3327-3339.
- Vick CB. 1999. Adhesive bonding of wood materials. *Wood Handbook—Wood as an Engineering Material*. Madison: USDA.
- Riwayat naskah
Naskah masuk (*received*): 19 Agustus 2016
Diterima (*accepted*): 23 September 2016