

Analisis Modulus Geser dan Pengaruhnya terhadap Kekakuan Panel Laminasi Kayu Samama (*Antocephallus Macrophyllus*)

Tekad Dwi Cahyono

Program Studi Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Darussalam Ambon
Jl. Raya Tulehu Km. 24 Ambon 97582. E-mail: tekadwicayono@gmail.com

Imam Wahyudi

Departemen Hasil Hutan IPB. Jl Raya Dramaga. Bogor 16680

Trisna Priadi

Departemen Hasil Hutan IPB. Jl Raya Dramaga. Bogor 16680

Fauzi Febrianto

Departemen Hasil Hutan IPB. Jl Raya Dramaga. Bogor 16680

Syarif Ohorella

Program Studi Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Darussalam Ambon,
Jl. Raya Tulehu Km. 24 Ambon 97582

Abstrak

*Modulus geser perlu dijadikan pertimbangan pada produk kayu, khususnya untuk desain yang memiliki rasio tinggi/panjang bentangnya besar. Penelitian ini mendesain 6 tipe panel laminasi kayu Samama (*Antocephallus macrophyllus*), menganalisis modulus geser dan pengaruhnya terhadap nilai kekakuan (MOE_{statis}) masing-masing panel laminasi. Hasilnya kemudian dibandingkan dengan kekakuan hasil pengujian non destruktif (MOE_d). Hasil penelitian menunjukkan bahwa modulus geser panel laminasi kayu Samama memberikan pengaruh sebesar 2 - 8% terhadap kekakuan kayu Samama, tergantung pada tipe laminasi dan panjang bentangnya. Sementara itu nilai pengujian non-destruktif memiliki nilai yang lebih besar 11 - 20% dibandingkan dengan kekakuan panel laminasi kayu Samamayang telah terkoreksi oleh modulus geser.*

Kata-kata Kunci: Modulus geser, MOE_{statis} , Pengujian non destruktif.

Abstract

*Shear modulus need to be considered in designing wood product that has high ratio of height/length. This study designed 6 types of panel lamina made of Samama wood (*Antocephallus macrophyllus*). The shear modulus was measured and its effect on the stiffness (MOE_{static}) was analyzed in comparison to those of non-destructive test (MOE_d). The results showed that shear modulus affected the stiffness of the laminas by 2-8%; the value was determined by the type of lamination and the length of span. Meanwhile, non-destructive test showed that the laminas had 11-20% of higher stiffness than those of laminas with shear modulus corrected-stiffness.*

Keywords: Shear modulus, MOE_{static} , Non-destructive test.

1. Pendahuluan

Salah satu aspek penting yang dipertimbangkan dalam penggunaan kayu dan produk kayu adalah kemampuan menahan beban dengan aman dalam jangka waktu yang direncanakan (*service live*). Kemampuan menahan beban sering disebut dengan kekakuan, modulus elastisitas (E) atau *modulus of elasticity* (MOE) kayu. Nilainya didapatkan dengan pengujian lentur di laboratorium dengan mengukur besarnya defleksi akibat pembebanan. Didalam perhitungan tersebut biasanya hanya memperhitungkan defleksi akibat lentur saja dan

hampir tidak pernah memperhitungkan defleksi akibat pengaruh gaya geser atau gaya lintang. Untuk memperhitungkan pengaruh defleksi akibat gaya geser diperlukan data modulus geser kayu. Tetapi pada kenyataannya hanya sedikit sekali informasi atau penelitian tentang nilai modulus geser kayu. Hal ini mengakibatkan didalam perhitungan yang menyangkut nilai tersebut sering diabaikan.

Nilai MOE yang tidak memperhatikan modulus geser (MOE_{app}) cenderung lebih kecil. Hal inilah yang menyebabkannya sering diabaikan karena dianggap

masih aman. Padahal nilai ini penting untuk desain, apalagi jika rasio tinggi-panjang bentangnya besar. Yoshihara *et. al.*, (1998) menyatakan bahwa pengaruh tegangan geser tergantung dari rasio tinggi/panjang bentang balok, apabila rasio tinggi-panjang bentang adalah besar, maka hal ini harus mendapat perhatian. Sulistyawati (2006) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa untuk balok tinggi dengan panjang 58 bentang pendek atau nilai kuadrat dari rasio tinggi balok terhadap panjang bentang balok cukup besar, defleksi akibat gaya geser mempunyai nilai yang perlu diperhitungkan. Juga dinyatakan bahwa dengan memperhitungkan defleksi akibat gaya geser yang mengandung nilai modulus geser untuk balok, kekakuan lentur (*EI*) balok kayu mempunyai nilai lebih besar.

Sementara itu, selain pengujian lentur di laboratorium dengan pengukuran defleksi akibat pembebanan, untuk mendapatkan nilai MOE kayu juga bisa menggunakan prinsip kecepatan rambatan gelombang ultrasonik yang melewati bahan. Kecepatan rambat MOE yang didapatkan dari perhitungan ini disebut MOE dinamis (MOEd). Pengukuran menggunakan teknik inisudah berkembang untuk pohon berdiri, log, balok kayu, produk komposit kayu (kayu laminasi, papan partikel, papan serat), hingga pada bangunan kayu yang sudah berdiri (Ross, 1992; Sandoz, 2002; Karlinsari *et. al.*, 2005; Wang, 2011). Oleh karena itu, akan dilakukan pengujian keandalan gelombang ultrasonik untuk menduga nilai MOEd pada berbagai tipe lamina kayu Samama (*Anthocephallus macrophyllus*) dan membandingkannya dengan kekakuan panel laminasi kayu Samama hasil pengujian lentur yang telah terkoreksi modulus geser (MOE_{true}).

Penelitian ini akan mendesain 6 tipe laminasi kayu Samama, salah satu jenis pohon cepat tumbuh endemik Sulawesi dan Maluku dengan berbagai ketebalan dan susunan lamina. Data modulus geser kayu ini belum banyak disajikan, apalagi jika dibuat produk panel laminasi. Sebelum dilakukan analisis modulus gesernya, tiap desain lamina akan diujisifat fisis mekanisnya, diantaranya adalah berat jenis (BJ), kadar air (KA), keteguhan rekat, delaminasi, MOE dan MOR. Tujuan penelitian adalah untuk (1) Menganalisis sifat fisis mekanis 6 tipe laminasi kayu Samama. (2) Menganalisis modulus geser kayu Samama pada berbagai tipe laminasi dan pengaruhnya setelah digunakan dalam menghitung nilai MOE_{true} . (3) Membandingkan MOE_{true} dan MOEd hasil pengujian ultrasonik.

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan dan pembuatan panel laminasi

Kayu Samama berasal dari Desa Saleman Kecamatan Seram Utara, Kabupaten Maluku Tengah. Umur pohon sekitar 8 tahun, berdiameter 38 cm dengan tinggi bebas

cabang 13 meter. Lamina (lembaran kayu) dibuat dari kayu bagian tengah dan atas dengan ukuran panjang, danlebar 120cm dan 6cm. Sedangkan tebalnya, sesuai desain penelitian yaitu 0,5 cm,1cm,1,5cm dan 2cm. Masing-masing lamina tersebut selanjutnya diukur berat jenisnya dan dipilih yang memiliki berat jenis 0,41 dengan standar deviasi 0,03. Panel laminasi dibuat dengan ukuran 3cmx 6cmx 120cm dengan variasi ketebalan lamina. Sebanyak 6 tipe laminasi dibuat pada penelitian ini disusun berdasarkan ketebalan lamina dan posisi lapisan lamna. Selengkapnya disajikan pada **Gambar 1**.

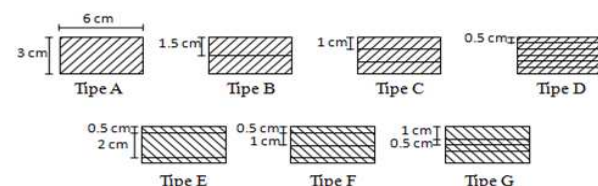
Perekat yang digunakan adalah isosianat dengan berat labor 280g/m². Perekat isosianat terdiri dari base dan hardener dengan komposisi 100: 15. Perekat diaplikasikan pada kedua permukaan (*double glue spread*). Masing-masing lamina kemudian diatur sesuai tipe pelaminasi. Setelah penyusunan, selanjutnya diklem dengan jarak klem 30cm selama 12 jam. Setelah proses perekatan, selanjutnya dikondisikan selama satu minggu sebelum dilakukan pengujian sifat fisis dan mekanisnya.

2.2 Pengujian sifat fisis, mekanis dan penentuan modulus geser

Pengujian sifat fisis mekanis menggunakan standar JAS (2007) untuk produk *Glue Laminated Timber* tipe Struktural. Selanjutnya, untuk mengetahui pengaruh tipe laminasi terhadap sifat fisis mekanis panel laminasi, digunakan Analisis statistik menggunakan Rancangan Acak Lengkap. Pengaruh tipe laminasi ditunjukkan dengan nilai P (*P-value*). Semakin kecil nilainya menunjukkan bahwa tipe laminasi memberikan pengaruh terhadap sifat fisis mekanis panel laminasi. Batas kritis yang digunakan dalam penelitian ini adalah 95%, artinya tipe laminasi berpengaruh terhadap sifat fisis dan mekanis jika nilai P kurang dari 5% (0,05).

Pengujian modulus geser menggunakan standar ASTM D198-5a (2008). Balok diletakkan diatas dua perletakan diberikan beban terpusat ditengah bentang. Selanjutnya dilakukan pengukuran defleksi yang terjadi di tengah bentang. Prosedur ini dilakukan pada 4 bentang yang berlainan pada masing-masing balok uji. Masing-masing panjang bentang ditentukan sebesar kuadrat dari tinggi per panjang bentang atau (h^2/L) adalah diantara 0,035 sampai dengan 0,0025, atau :

$$L = \sqrt{\frac{h^2}{0,035}} \text{ sampai dengan } L = \sqrt{\frac{h^2}{0,0025}}$$



Gambar 1. Variasi tipe panel laminasi kayu samama

Karena penampang uji balok ditentukan 6 cm x 3 cm, maka panjang bentang 16 cm sampai 60 cm. Balok uji yang digunakan adalah 6 tipe balok dengan masing-masing tiga ulangan. Balok tersebut diuji lentur dengan panjang bentang 26 cm, 35 cm, 45 cm dan 60 cm. Pertambahan beban diberikan dengan prediksi terjadi tegangan lentur masih dalam batas elastis. Pembacaan besar defleksi di tengah bentang dilakukan pada setiap pertambahan beban. Kecepatan pembebanan adalah 3mm/menit. Untuk memperkirakan bahwa pengujian masih pada batas elastis dilakukan dengan menentukan batas beban terbesar dan bekerja dengan cara menghitung tegangan lentur yang mungkin timbul.

Berdasarkan data uji lentur digambarkan kurva hubungan gaya dan defleksi. Sudut kemiringan dari kurva digunakan untuk perhitungan modulus elastisitas kayu. Sebelum dilakukan pengujian, masing-masing panel laminasi diukur penampang melintangnya, yaitu lebar dan tinggi pada empat lokasi sesuai panjang bentang yang telah ditetapkan pada langkah sebelumnya, selanjutnya dipergunakan untuk perhitungan E balok kayu.

Modulus geser diperoleh dari kurva hubungan nilai $(h/L)^2$ pada arah sumbu x dan nilai $1/E_f$ pada sumbu y . Nilai modulus geser adalah proporsional terhadap titik potong garis lurus dari beberapa titik koordinat hasil pengujian terhadap sumbu y dihitung dari koordinat titik $O (0,0)$, ditunjukkan nilai terhadap $1/E$, dimana E_f adalah $E_{apparent}$ dan E adalah E_{true} .

2.3 Pengujian non destruktif

Pengujian non destruktif menggunakan alat uji non destruktif metode gelombang ultrasonik merk Sylvatest Duo® ($f=22\text{kHz}$). Sebuah transduser diletakkan pada salah satu sisi contoh uji sebagai pembangkit gelombang ultrasonik dan satu transduser lainnya diletakkan disisi yang lain sebagai penerima. Kecepatan gelombang ultrasonik terbaca pada alat. MOEd dihitung dengan pedekatan rumus $MOEd = (v_{us} \times r) / g$ (GPa), dimana MOEd = Modulus of Elasticity dinamis, v_{us} = kecepatan gelombang ultrasonik, ρ = kerapatan dan g adalah konstanta gravitasi ($9,81 \text{ m/detik}^2$).

2.4 Analisis regresi

Setelah diketahui nilai MOE_{app} , MOE_{true} , modulus geser (G) dan MOEd, selanjutnya dilakukan analisis regresi linier untuk melihat adanya hubungan antara parameter hasil analisis tersebut. Keeratan hubungan antar parameter ditunjukkan dengan nilai koefisien korelasi (R^2). Sementara nilai P (P value) digunakan untuk melihat signifikansi model regresi yang dihasilkan. Nilai P yang lebih rendah dari 0,05 menunjukkan bahwa model regresinya signifikan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Sifat fisis mekanis

Rataan Berat Jenis (BJ) kayu Samama sebesar 0,40 dengan standar deviasi (0,03). Sedangkan rata-rata BJ panel laminasi bervariasi sesuai tipenya. Panel laminasi tipe C dan G menunjukkan rata-rata BJ yang tinggi dibandingkan dengan tipe lainnya. Secara umum jika dibandingkan dengan kayu utuhnya (tipe A), maka semua tipe panel laminasi menunjukkan nilai BJ yang lebih tinggi. Sementara itu, rata-rata kadar air (KA) kayu Samama sebesar 12,63% dengan standar deviasi sebesar 0,81. Rataan KA seluruh tipe panel laminasi kayu Samama sebesar 12,55 dengan standar deviasi sebesar 0,38. Standar JAS (2007) mensyaratkan KA produk laminasi dibawah 15%, dengan demikian, seluruh panel laminasi yang dibuat masuk standar. Ringkasan beberapa sifat fisis mekanis panel laminasi disajikan pada **Tabel 1**.

Tsoumis (1991) menjelaskan bahwa BJ panel laminasi, selain dipengaruhi oleh BJ kayunya sendiri, juga dipengaruhi oleh adanya perekat. Perekat mengisi sebagian rongga, sehingga semakin banyak garis rekat pada panel laminasi, maka berat jenisnya akan meningkat. Masih menurut Tsoumis (1991), perekat yang dilaburkan ke permukaan kayu akan masuk kedalam pori dan mengeras. Perekat yang memiliki sifat larut air, tidak hanya mengisi pori, melainkan juga akan masuk kedalam dinding sel sehingga memiliki daya rekat yang lebih baik. Selanjutnya tentang KA produk laminasi, Tsoumis (1991) menyatakan bahwa KA produk laminasi yang dibuat dengan kempa dingin bervariasi antara 8-12% tergantung kondisi kelembaban lingkungannya.

Selain pengujian BJ dan KA, untuk melihat kualitas perekatan kayu Samama dan isosianat dilakukan pengujian delaminasi dan keteguhan rekat. Pengujian delaminasi menunjukkan bahwa tidak semua tipe panel laminasi mengalami delaminasi selama pengujian. Semua nilai pengujian delaminasi menunjukkan bahwa delaminasinya masih masuk dalam standar JAS (2007), yaitu dibawah 10%. Pengujian delaminasi digunakan untuk memprediksi kualitas panel laminasi pada cuaca moderat sampai ekstrim. Dengan hasil tersebut, maka panel laminasi kayu Samama menggunakan perekat isosianat sangat baik digunakan dalam cuaca moderat maupun ekstrim.

Selanjutnya untuk pengujian keteguhan rekat (KR). KR tertinggi terdapat pada panel laminasi tipe G sebesar $38,47 \text{ kg/cm}^2$ dengan standar deviasi sebesar 3,44. Keteguhan rekat terendah terdapat pada panel laminasi tipe F sebesar $23,50 \text{ kg/cm}^2$ dengan standar deviasi sebesar 2,01. Sebagai perbandingan, keteguhan geser kayu Samama (tipe A) sebesar $42,64 \text{ kg/cm}^2$. Keteguhan geser kayu Samama lebih besar dibandingkan dengan keteguhan rekatnya karena selama pengujian,

Tabel 1. Beberapa sifat fisis mekanis panel laminasi kayu samama

Sifat Fisis Mekanis	Tipe Laminasi							Nilai P
	A (kontrol)	B	C	D	E	F	G	
BJ	0,40(0,03)	0,41(0,03)	0,42(0,02)	0,44(0,03)	0,41(0,02)	0,41(0,02)	0,44(0,03)	0,014
KA (%)	12,63(0,81)	12,66(0,61)	12,25(0,54)	12,86(0,55)	12,50(0,60)	12,51(0,52)	12,49(0,58)	0,763
Delaminasi Air Panas (%)	-	1,26(0,20)	0,00(0,00)	0,00(0,00)	0,00(0,00)	1,07(0,14)	1,12(0,13)	0,000
Delaminasi Air Dingin (%)	-	0,73(0,55)	0,00(0,00)	0,39(0,58)	0,00(0,00)	0,96(0,13)	0,00(0,00)	0,016
Keteguhan Rekat (kg/cm ²)	42,64(3,75)	30,26(0,98)	41,49(2,16)	32,74(2,30)	26,94(2,54)	23,50(2,01)	38,47(3,44)	0,000

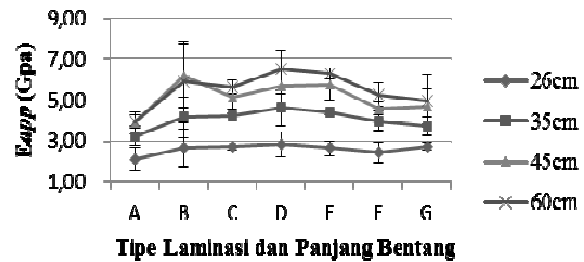
Keterangan : Nilai dalam kurung adalah standar deviasi; nilai P kurang dari 0,05 menunjukkan secara statistik tipe laminasi berpengaruh terhadap sifat fisis mekanis panel laminasi.

yang mengalami kerusakan adalah kayunya, bukan garis perekatan. Hal ini menunjukkan bahwa perekat isosianat berekatan dengan baik dengan kayu Samama. Perekat isosianat merupakan salah satu perekat *water based* sehingga sangat baik berikatan dengan bahan berpori seperti kayu maupun bahan berlignoselulosa lainnya (Sulastiningsih *et. al.*, 2013; Darwis *et. al.*, 2014).

3.2 MOE (E_{app} dan E_{true}), Modulus Geser (G) dan MOR (*Modulus of Rupture*)

E_{app} adalah modulus elastisitas (MOE) yang hanya memperhitungkan defleksi akibat lentur. Hal ini dapat dihitung dengan hasil pengujian balok diatas dua perletakan dengan bentang yang berbeda-beda. Sedangkan E_{true} adalah kekakuan kayu yang memperhitungkan defleksi akibat lentur dan gaya geser. Nilai E_{app} pada berbagai panjang bentang disajikan pada Gambar 1.

Bentang panel laminasi lebih panjang mempunyai nilai E_{app} lebih besar, kecuali pada panel laminasi tipe B, panjang bentang 45 cm memiliki E_{app} lebih besar dibandingkan dengan panjang bentang 60 cm. Tetapi secara umum, jika diplotkan didalam persamaan regresi, dapat dikatakan bahwa semakin pendek bentang, maka nilai E_{app} akan semakin kecil. Pada



Gambar 1. Nilai E_{app} berdasarkan panjang bentang masing-masing panel laminasi

penelitian ini, nilai $(h/L)^2$ masing-masing contoh uji adalah 0,002 sampai dengan 0,014. Nilai tersebut memenuhi syarat sebagaimana diatur berdasarkan ASTM D198-05a (2008), yaitu diantara 0,0025 sampai dengan 0,035. Selanjutnya untuk mendapatkan nilai G, dilanjutkan dengan menghitung nilai $1/E_{app}$ untuk masing-masing panel laminasi kemudian diplotkan pada kurva hubungan antara $1/E_{app}$ dan $(h/L)^2$. Persamaan regresi dibuat berdasarkan keempat nilai tersebut untuk tiap contoh uji. G didapatkan dari kemiringan kurva dengan persamaan $1,2/K_1$, dimana K_1 adalah kemiringan garis linier yang terbentuk dari diagram hubungan antara $1/E_{app}$ dan $(h/L)^2$. Nilai G tiap contoh uji disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. MOE_{app} , MOE_{true} pada panjang bentang 66 cm, G dan MOR berbagai tipe lamina

Tipe Laminasi	Persamaan Garis	MOE_{app} (GPa)	$(h/L)^2$	$1/MOE_{app}$ (1/GPa)	G (MPa)	MOE_{true} (GPa)	MOR (MPa)
A	$y=176,3x+1,676$	4,32	0,0028	2,31	680,66	4,42	22,4
A	$y=130,3x+1,921$	3,80	0,0029	2,63	920,95	3,85	18,6
A	$y=337,8x+1,489$	3,67	0,0028	2,71	355,24	3,80	14,6
B	$y=168,4x+0,804$	8,09	0,0022	1,23	712,59	8,34	41,4
B	$y=250,6x+1,204$	4,47	0,0024	2,23	478,85	4,60	12,4
B	$y=304,8x+0,927$	5,04	0,0025	1,98	393,70	5,24	23,6
C	$y=186,2x+1,183$	5,54	0,0025	1,80	644,47	5,69	22,1
C	$y=144,0x+1,453$	5,34	0,0025	1,87	833,33	5,45	25,8
C	$y=218,1x+0,976$	5,96	0,0024	1,67	550,21	6,15	26,9
D	$y=290,0x+0,886$	5,50	0,0023	1,81	413,79	5,71	33,1
D	$y=172,6x+1,063$	6,76	0,0022	1,47	695,25	6,94	31,3
D	$y=183,6x+0,884$	7,24	0,0022	1,38	653,59	7,46	31,0
E	$y=182,9x+1,004$	6,07	0,0024	1,64	656,10	6,23	29,4
E	$y=332x+0,698$	6,44	0,0020	1,55	361,45	6,74	31,5
E	$y=242,3x+0,848$	6,35	0,0023	1,57	495,25	6,58	23,3
F	$y=158,9x+1,437$	5,61	0,0024	1,77	755,19	5,74	34,1
F	$y=348,2x+0,775$	5,45	0,0024	1,83	344,63	5,71	30,0
F	$y=172,8x+1,468$	4,62	0,0024	2,16	697,67	4,72	27,9
G	$y=187,6x+1,127$	6,19	0,0024	1,61	639,66	6,37	30,7
G	$y=131,9x+2,195$	3,77	0,0023	2,65	909,78	3,81	21,2
G	$y=153,0x+1,565$	4,83	0,0023	2,06	784,31	4,92	24,4

Nilai G selanjutnya digunakan dalam persamaan

$$E_{true} = \frac{PL^3}{4bh^3\Delta(1 - \frac{3PL}{10bhG\Delta})}$$

, dimana P adalah pembebanan,

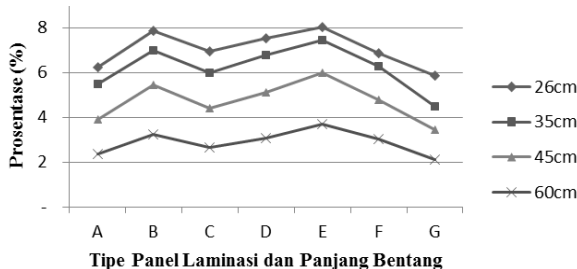
L = jarak sanggah, b x h adalah luasan panel dan Δ adalah perubahan defleksi akibat pembebanan. Hasilnya menunjukkan bahwa G memberikan pengaruh sebesar 2,09 % sampai dengan 8,03 % terhadap nilai E_{true} . Pada panjang bentang 26 cm, G memberikan pengaruh sebesar 5,87-5,03%, sedangkan pada panjang bentang 60 cm, G memberikan pengaruh terhadap nilai E_{true} sebesar 2,09-3,68% (**Gambar 2**).

Sulistyawati (2006) menjelaskan bahwa perbedaan MOE_{app} dan MOE_{true} balok glulam kayu Eukaliptus sebesar 13,4% pada bentang $L/h = 14$. Presentase perbedaan yang terjadi akan berdampak signifikan sehubungan dengan desain penampang balok yang ekonomis. Khususnya jika diterapkan pada balok tinggi atau balok dengan perbandingan panjang bentang terhadap tinggi balok $L/h < 14$.

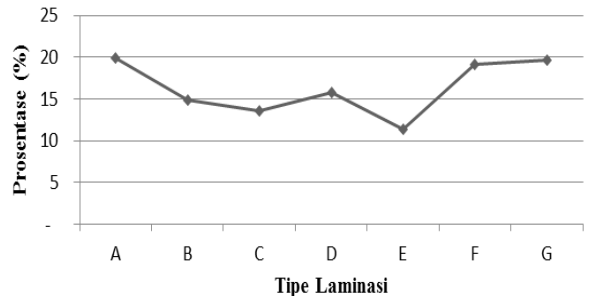
3.3 Kekakuan dinamis (MOEd)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata MOEd sebesar 6,54 MPa dengan standar deviasi sebesar 1,21. MOEd tertinggi pada laminasi tipe D yaitu 7,76MPa dengan standar deviasi sebesar 0,8, sedangkan terendah pada laminasi tipe G yaitu 6,03 dengan standar deviasi sebesar 0,92. Jika dibandingkan dengan nilai MOE_{true} , maka nilai MOEd menunjukkan nilai konsisten lebih besar antara 11% sampai 20% tergantung tipe lamina. Presentase perbedaan tertinggi pada lamina tipe G, yaitu 20%, sedangkan terendah pada lamina tipe E sebesar 11%. Selengkapnya disajikan pada **Gambar 3**.

Penggunaan gelombang ultrasonik untuk menentukan kekakuan kayu pada berbagai penelitian menunjukkan hasil yang lebih besar dibandingkan dengan MOE. Kisarannya berkisar antara 16,8 – 34,6% tergantung tipe pengujiannya (Syahidah dan Cahyono, 2010). Sementara Karlinasari *et. al.*, (2008) menyajikan perbedaannya berkisar antara 2,68 - 17,58%. Perbedaan ini disebabkan karena pengujian MOEd dipengaruhi beberapa faktor yang secara langsung menentukan kecepatan rambat gelombang ultrasonik, yaitu ultra struktur kayu, kerapatan dan kadar air (Karlinasari *et. al.*, 2006).



Gambar 2. Presentase perbedaan antara E_{true} dan E_{app} pada berbagai panjang bentang



Gambar 3. Presentase perbedaan nilai MOE_{true} dan MOEd pada berbagai tipe laminasi

3.4 Hubungan antara MOE_{true} , G, MOE_{app} , MOEd dan MOR

Model regresi antara MOE_{true} dan MOEd secara statistik nyata (nilai $P < 0,05$) dengan koefisien korelasi sebesar 49,3% (**Tabel 3**). Hal ini menjelaskan bahwa walaupun MOEd menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan MOE_{true} , namun nilainya konsisten dan dapat digunakan untuk menduga nilai kekakuan kayu dengan baik. Hasil yang kurang lebih sama juga didapatkan pada korelasi hubungan antara MOEd dan kerapatan. Koefisien korelasinya 65,3% dan model regresinya secara statistik juga nyata. Model regresi antara MOEd dan kecepatan ultrasonik (v_{us}) nyata dengan koefisien korelasi sebesar 76,7%. Smith dan Wu (2005) menjelaskan bahwa kerapatan kayu tidak secara signifikan berpengaruh terhadap kecepatan suara, tetapi rasio antara modulus elastisitas (E) bahan dengan kerapatanlah yang lebih menentukan. Persamaan atau hubungan Christoffel: $v = (E/\rho)^{1/2}$ menjelaskan hal tersebut.

Selanjutnya, masih menjelaskan fenomena hubungan antara MOEd, kerapatan dan kecepatan ultrasonik, Karlinasari (2006) menjelaskan bahwa terdapat pengaruh kerapatan kayuterhadap kecepatan gelombang ultrasonik baik antarjenis maupun dalam satu jenis kayu. Penelitian Chiu *et. al.*, (2000) mengindikasikan bahwa kecepatan gelombang ultrasonik dipengaruhi oleh kerapatan kayu melalui sebuah persamaan yang linier, sementara itu Bucur (2006) menyatakan bahwa pada keragaman jenis kayu yang besar kecepatan gelombang menurun dengan meningkatnya kerapatan kayu.

Koefisien korelasi yang sangat tinggi (99,9%) terjadi pada hubungan antara MOE_{true} dan MOE_{app} , model regresinya secara statistik juga nyata. Namun hasil sebaliknya ditunjukkan oleh hubungan antara MOE_{true} dengan G. Koefisien korelasinya sangat rendah (dibawah 10%) dan secara statistik tidak nyata. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa walaupun G termasuk salah satu faktor dalam perhitungan MOE_{true} , namun secara tunggal, G tidak bisa dijadikan acuan untuk menjelaskan nilai MOE_{true} . Kontribusi faktor lain, yaitu defleksi memiliki pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan G.

Tabel 3. Model regresi hubungan antara MOE_{true} dengan G, MOE_{app} , MOE_d dan MOR

Model Regresi	Koefisien korelasi (R^2)	P
$MOE_{true} = 62.853 - 10,3 G$	0,023	0,510
$MOE_{true} = 11.513 - 80.173$ Defleksi	0,631	0,000
$MOE_{true} = - 829 + 1,04 MOE_{app}$	0,999	0,000
$MOE_{true} = 10.540 + 0,701 MOE_d$	0,493	0,000
$MOE_{true} = 19.093 + 141 MOR$	0,621	0,000
$MOE_d = - 76.709 + 44.384$ Kerapatan	0,653	0,000
$MOE_d = - 20.832 + 63,4 v_{us}$	0,767	0,000
$MOE_d = 42.943 + 85,1 MOR$	0,225	0,000

Hubungan antara MOE_{true} dengan MOR menunjukkan korelasi yang cukup tinggi dan nyata secara statistik. Model yang secara statistik nyata dengan koefisien korelasi yang sedikit lebih kecil ditunjukkan oleh hubungan antara MOE_d dan MOR. Hal ini menjelaskan bahwa walaupun nilai MOR lebih tepat diperoleh dari pengujian lentur di laboratorium, tetapi metode ultrasonik (MOE_d) juga dapat digunakan untuk memprediksi MOR panel laminasi kayu Samama.

4. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil pada penelitian ini adalah :

1. Sifat fisis mekanis seluruh tipe panel laminasi pada penelitian ini sesuai dengan standar JAS (2007) untuk produk *glue laminated timber* tipe struktural.
2. Modulus geser (G) kayu Samama pada berbagai tipe laminasi sebesar 618 MPa dengan standar deviasi sebesar 179. Nilainya memberikan pengaruh sebesar 2,09 % sampai dengan 8,03 % terhadap nilai MOE_{true} . Implikasinya adalah semua tipe laminasi pada penelitian ini layak digunakan sebagai bahan struktural, sedangkan nilai modulus geser penting diperhatikan pada penggunaan struktural, khususnya pada desain bentang pendek.
3. Nilai kekakuan menggunakan gelombang ultrasonik (MOE_d) menunjukkan nilai dengan prosentase 11-20% lebih besar dibandingkan dengan MOE_{true} . Namun, nilai korelasi model regresi antara keduanya yang cukup tinggi (0,493) menunjukkan bahwa gelombang ultrasonik dapat digunakan sebagai salah satu penduga nilai kekakuan panel laminasi.

Daftar Pustaka

- ASTM, American Society for Testing and Material, 2008, *Annual Book of ASTM Standards*, USA: Section Four: Construction, Volume 04.10, Wood. D-198-05a (*Standard Test Method of Static Test of Lumber in Structural Sizes*).
- Bucur, V, 2006, *Acoustics of Wood*. New York: Springer.
- Chiu, C., Wang, S., Lin, C., 2000. Effect of Density of Taiwania Plantation Wood on Ultrasonic Velocity and Dynamic Young's Modulus. *Taiwan Q. Jour. China. For.* 33(4):585-590.
- Darwis, A., Massijaya, M.Y., Nugroho, N., Alamsyah, E.M., Nurrochmat, D.R., 2014, Bond Ability of Oil Palm Xylem with Isocyanate Adhesive, *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 12(1).
- JAS, Japanese Agricultural Standard, 2007, Japanese Agricultural Standard for Structural Laminated Timber No. 1152. Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan.
- Karlinasari, L., 2006, Study on Wood Bending Strength Evaluation Based on Non Destructive Testing Ultrasonic Method, Bogor (ID).
- Karlinasari, L, Mulyadi, M., Sadiyo, S., 2005, Ultrasonic Wave Velocity and Bending Strength Properties of Several Woods Species at Various Moisture Content Conditions. *Teknologi Hasil Hutan*. 18(2):71.
- Karlinasari, L, Surjokusumo, S., Nugroho, N., Hadi, Y.S., 2006, Non Destructive Testing of Three Indonesian Plantations Wood Beam, *Teknologi Hasil Hutan*. 19(1):16.
- Karlinasari, L., Wahyuna, M., Nugroho, N., 2008, Non-Destructive Ultrasonic Testing Method for Determining Bending Strength Properties of Gmelina Wood (*Gmelina Arborea*), *Journal of Tropical Forest Science*. 20(2).
- Ross, R.J., 1992, *Nondestructive Testing of Wood*: University of Colorado.
- Sandoz, J., 2002, High Performance Timber By Ultrasonic Grading. Publication IBOIS 00: 20, Institut de Statique et Structures IBOIS. Construction en Bois. *Proceedings of the 7 th World Conference on Timber Engineering (WCTE 2002)*. MARA University of Technology, Selangor, Malaysia.

- Smith, W.R., Wu, Q., 2005, Durability Improvement for Structural Wood Composites Through Chemical Treatments. *for. Prod. J.* 55(2):8-17.
- Sulastiningsih, I.M., Ruhendi, S., Massijaya, M.Y., Darmawan, W., Santoso, A., 2013, Respon Bambu Andong (*Gigantochloa pseudoarundinacea*) terhadap Perekat Isosianat, *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis.* 11(2).
- Sulistiyawati, I., 2006, Ratio of Shear to Bending Deflection and Its Influence to Bending Stiffness (EI) of Timber Beam, *Journal of Tropical Wood Science and Technology, The Indonesian Wood Research Society.* 4(2):44-49.
- Syahidah, Cahyono, T.D., 2010, Pendugaan Kekakuan Kayu Borneo dengan Metode Gelombang Ultrasonik. *Perennial.* 6(1):20-24.
- Tsoumis, G. 1991, Science and Technology of Wood. Structure, Properties, Utilization: Van Nostrand Reinhold.
- Wang, X., 2011, Fundamentals of Acoustic Measurements on Trees and Logs and Their Implication to Field Application. Proc 17th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium.
- Yoshihara, H., Kubojima, Y., Nagaoka, K., Ohta, M., 1998, Measurement of The Shear Modulus of Wood By Static Bending Tests. *Journal of Wood Science.*44(1):15-20.

