

# EVALUASI KEKUATAN *ORIENTED STRAND BOARD* (OSB) BAMBU ANDONG PADA BERBAGAI RASIO LAPISAN *FACE-CORE* BERDASARKAN PENGUJIAN NON-DESTRUKTIF DAN DESTRUKTIF

## *(Evaluation of Andong Bamboo Oriented Strand Board (OSB) Strength Made of Different Face-Core Layer Ratio through Non-destructive dan Destructive Testings)*

Rima Vera Ningsih<sup>1</sup>, Lina Karlinasari<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram  
Jl. Majapahit No 62 Mataram, NTB, 83115, (0370) 633007

<sup>2</sup>Program Studi Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor  
Jl. Ulin Kampus IPB, Dramaga, Babakan, Kec. Dramaga, Bogor, Jawa Barat, 16680  
Email: [rimavera@unram.ac.id](mailto:rimavera@unram.ac.id)

### ABSTRACT

*Oriented strand board (OSB) is a structural panel product which can be manufactured from lignocellulosic materials, such as wood and bamboo. The objectives of this research were to evaluate correlation between non-destructive testing of stress wave velocity (SWV) and dynamic MOE (MOEd), with the destructive static bending testing namely modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR) of the OSB made of strand andong bamboo (Gigantochloa verticillata Munro). The OSB was composed of steamed strands. The strands were steamed at 126°C for one hour in 1,4 kg/cm<sup>2</sup> pressure. Phenol formaldehyde (PF) resin was used with resin content of 8% and with addition of 1% paraffin. Three layers OSB with the core layer perpendicular to the surface at different face-core layer ratio (25:50:25, 27,5:45:27,5, 30:40:30, 32,5:35:32,5, 35:30:35, and 37,5:25:37,5). The SWV values were determined by using stress wave timer and it used to measure the dynamic MOE. The result showed that the higher face composition ratio produced the higher mechanical properties on parallel to the grain of the OSB boards. The ratio of face core layer strands influenced the mechanical properties of the OSB (MOE, MOR as well as SWV and MOEd). Good correlations were found between SWV and static MOE, MOR, as well as MOEd which were statistically significant for linear regression model developed.*

**Keywords:** steam, face-core layer, OSB, dynamic MOE, stress wave velocity

### ABSTRAK

*Oriented strand board (OSB) merupakan produk papan komposit struktural yang dapat dibuat dari bahan berlignoselulosa seperti kayu dan bambu. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi hubungan antara pengujian non-destruktif metode kecepatan gelombang bunyi (stress wave velocity, SWV) dan pengujian destruktif ((modulus of elasticity, MOE) dan modulus of rupture, MOR)) OSB yang terbuat dari strand bambu andong (Gigantochloa verticillata Munro). Strand bambu diberi perlakuan steam dengan cara memasukkan strand bambu ke dalam autoklaf pada suhu 126°C dan tekanan 1,4 kg/cm<sup>2</sup> selama 1 jam. Perekat yang digunakan adalah fenol formaldehida (PF) dengan kadar 8% dan penambahan parafin sebanyak 1% berdasarkan berat kering oven strand bambu. OSB dibuat tiga lapisan yaitu lapisan inti tegak lurus strand bambu terhadap lapisan muka pada berbagai rasio lapisan muka:inti (face:core:face) papan yang berbeda (25:50:25, 27,5:45:27,5, 30:40:30, 32,5:35:32,5, 35:30:35, dan 37,5:25:37,5). Nilai SWV dihitung menggunakan waktu rambatan gelombang dan digunakan untuk mengukur nilai modulus elastis dinamis (MOEd). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi komposisi lapisan permukaan (face) pada arah sejajar panjang strand bambu dapat meningkatkan sifat mekanis papan OSB. Komposisi rasio lapisan face-core mempengaruhi sifat mekanis papan (MOE, MOR, SWV, dan MOEd). Terdapat hubungan yang baik antara pengujian non-destruktif berbasis gelombang bunyi dengan pengujian destruktif yang menggunakan model regresi linear.*

**Kata kunci:** steam, lapisan face-core, MOEd, stress wave velocity

## PENDAHULUAN

Produk papan komposit berbentuk untaian yang terstruktur dengan baik yang dibuat dengan perekat thermosetting melalui kempa panas, di mana arah serat lapisan permukaan tegak lurus dengan lapisan inti disebut OSB (Structural Board Association, 2005). Kelebihan OSB dibandingkan produk komposit lainnya diantaranya adalah memiliki stabilitas dimensi dan sifat mekanis yang baik (Nuryawan *et al.*, 2008). OSB sebagai komposit struktural digunakan untuk keperluan menahan beban (konstruksi) dalam jangka waktu yang direncanakan. OSB struktural umumnya dapat diaplikasikan untuk bahan bangunan seperti lantai, dinding, plafon, *sheathing*, dan sambungan balok (*I-joist*) (Nuryawan *et al.*, 2008; Sumardi & Suzuki *et al.*, 2014).

Kemampuan yang dimiliki pada OSB bambu dapat dikembangkan sebab terdapat keunggulan yang baik yang dihasilkan dari sifat fisis dan mekanis serta secara komersial sudah memenuhi kriteria OSB (Adrin *et al.*, 2013; Febrianto *et al.*, 2015). Menurut Structural Board Association (2005). Kelebihan OSB apabila dibandingkan dengan kayu ialah terdapat pada stabilitas dimensi. Sementara itu, kelebihan OSB yang terbuat dari bambu yaitu memiliki sifat mekanis lentur 2-3 kali lebih tinggi dibandingkan OSB dari kayu. Dari beberapa jenis bambu yang direkomendasikan, bambu andong (*Gigantochloa verticillata* (Willd.)) adalah bambu yang potensial sebagai bahan baku OSB. Pemilihan bambu andong pada penelitian ini dikarenakan jenis bambu andong memiliki batang relatif besar yang sama dengan bambu betung dan mudah diproses dalam pembuatan strand. Hal ini sejalan dengan Prakasa (2020) yang melaporkan jenis bambu andong dan bambu betung memiliki ukuran yang besar sehingga menghasilkan rendemen lebih banyak. Bambu andong memiliki sifat lentur hampir sama dengan jenis bambu lainnya. Hasil kajian yang dilakukan Febrianto *et al.* (2015) bahwa kemampuan yang dimiliki pada OSB bambu betung dan bambu andong dapat memiliki keunggulan dibandingkan dengan beberapa jenis bambu lain dan secara komersial sudah memenuhi kriteria OSB.

Pemanfaatan bambu sebagai bahan konstruksi bangunan menjadi produk komersial

memiliki keuntungan yaitu bersifat elastis, mudah dibentuk, mudah direparasi apabila terjadi kerusakan, serta tahan dari tekanan gempa (Febrianto *et al.*, 2017; Nugroho *et al.*, 2022). Disisi lain, bambu memiliki kelemahan terhadap kekuatan tarik tegak lurus serat. Hal ini diduga karena struktur seratnya (Arce-Villalobos, 1993). Hasilnya, ditemukan bahwa memproduksi OSB dengan komposisi lapisan yang berbeda sesuai arah serat bambu dapat meningkatkan kualitas bambu.

Kualitas OSB dapat diperbaiki melalui beberapa faktor yang terdiri dari jenis bahan, komposisi rasio penyusun *strand* dan perlakuan steam. Perlakuan *steam* pada *strand* bambu dalam pembuatan OSB terbukti dapat meningkatkan stabilitas dimensi 1,5-2 kali lebih tinggi dibandingkan tanpa *steam*, meningkatkan kekuatan papan, serta dapat mengoptimalkan sistem rekatan selama proses pengempaan (Roger Rowell *et al.* 2002; Iswanto *et al.* 2010; Zhang & Yu, 2015). Komposisi kimiawi dari fragmen dan partikel untaian kayu dan bambu, terutama senyawa ekstraktif, dapat diubah dengan perlakuan uap, sehingga meningkatkan stabilitas dimensi, kekuatan, dan daya tahan OSB (Adrin *et al.* 2013; Febrianto *et al.* 2015; Maulana *et al.* 2018; Fatrawan, 2018; Hidayat *et al.* 2019). Sementara, zat pati yang terdapat pada bambu andong sangat tinggi apabila dibandingkan dengan kayu sehingga hal ini yang mengakibatkan bambu cepat terserang organisme (Febrianto *et al.* 2017; Adrin *et al.*, 2013). Dengan demikian, untuk meningkatkan sifat OSB maka dilakukan *steam* terhadap *strand* bambu andong. Beberapa penelitian (Iswanto *et al.*, 2010; Rowell, 2012; Adrin *et al.*, 2013; Febrianto *et al.*, 2015) mendemonstrasikan bagaimana perlakuan uap pada *strand* dan serat bambu dapat meningkatkan karakteristik mekanik dan fisik OSB kayu dan bambu. Selain itu, kualitas OSB, terutama kualitas mekanik lenturnya, dipengaruhi oleh komposisi lapisan papan yang digunakan dalam pembuatan *strand* bambu. Komposisi rasio *face-core* merupakan banyaknya susunan antar lapisan muka, inti, dan belakang papan yang saling tegak lurus terhadap serat *strand* bambu. Kajian Shigehiko Suzuki & Takeda (2000) melakukan pembuatan OSB menggunakan jenis kayu sugi

(*Chryptomera japonica*) dengan perlakuan menggunakan rasio lapisan *face:core:face* 5:90:5, 15:70:15, 25:50:25, dan 35:30:35 menunjukkan sifat kekuatan papan meningkat pada rasio lapisan permukaan yang tinggi. Kajian lainnya juga menunjukkan OSB yang dibuat dengan rasio lapisan *face-core* yang tinggi pada arah sejajar serat akan menghasilkan keteguhan lentur yang tinggi (Maulana *et al.*, 2019). Namun, papan OSB berbahan dasar jenis bambu andong untuk komposisi penyusunan *strand* pada setiap lapisan masih terbatas dilakukan.

OSB yang telah secara luas digunakan untuk keperluan konstruksi struktural, perlu didukung oleh teknologi dan rekayasa pemilahan produk terkait sifat mekanis bahannya. Untuk keperluan pengendalian kualitas maka tahapan pengujian pada bahan produk perlu dilakukan secara destruktif. Sering kali sulit untuk melakukan pengujian destruktif langsung terhadap kualitas OSB untuk setiap papan yang diproduksi. Oleh karena itu, dilakukan uji non-destruktif (*non-destructive testing*, NDT) untuk mengevaluasi sifat papan komposit, terutama sifat mekanis lentur secara cepat dan akurat. Schabowicz (2019) dan Wang (2021) menyebutkan pengujian non-destruktif digunakan dalam penilaian kekuatan produk. Modulus elastisitas papan komposit kayu dapat diperkirakan secara mekanis melalui pengujian non-destruktif dengan metode gelombang tegangan (Ross & Pellerin, 1988; Ross, 2015; Han *et al.*, 2006; Arruda *et al.*, 2011; Karlinasari *et al.*, 2011). Berdasarkan penelitian Arruda *et al.* (2011) dan Karlinasari *et al.* (2011) menjelaskan bahwa sifat mekanik dari kekakuan dan kekuatan lentur produk papan komposit dapat diprediksi melalui pengujian non-destruktif berdasarkan gelombang suara. Melalui pengujian destruktif dan non-destruktif, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menilai kekuatan OSB pada berbagai komposisi rasio lapisan *face-core* berbasis bambu.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah Bambu andong (*Gigantochloa verticillata* (Willd.) Munro)

berumur empat tahun yang diperoleh dari Sukabumi, Jawa Barat. Dalam penelitian ini, perekat yang digunakan adalah fenol formaldehida (PF) 8% dan parafin 1%. Blender berputar, pistol semprot, cetakan papan berukuran 30 cm x 30 cm, aluminium foil, jangka sorong, oven, desikator, timbangan digital, dan alat uji mekanik seperti Instron tipe 3369 dari UTM dan pengukur waktu gelombang tegangan Metriguard model 239 A merupakan beberapa alat yang digunakan. Penelitian dilakukan di Cileunyi, Bandung, di Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman Pekerjaan Umum (Puslitbang Pemukiman PU), Laboratorium Biokomposit, dan Laboratorium Rekayasa dan Desain Bangunan Kayu IPB.

### Metode

#### *Persiapan Contoh Uji*

Pembuatan bilah bambu dengan spesifikasi panjang 7 cm, lebar 2 cm, dan tebal 0,06-0,08 cm menjadi tahap awal dalam proses pembuatan OSB (Febrianto *et al.* 2015). Pengovenan dilakukan sebagai perlakuan pertama pada batang bambu. Dengan menurunkan bahan ekstraktif yang dapat membantu penetrasi perekat dan meningkatkan kualitas perekat, perlakuan uap bertujuan untuk meningkatkan kualitas mekanik dan fisik material. (Febrianto *et al.*, 2015; Davinsky *et al.*, 2021). *Strand* bambu mengalami perlakuan awal dengan uap dengan cara diautoklaf selama satu jam pada suhu 126°C dan tekanan 1,4 kg/cm<sup>2</sup> (Iswanto *et al.* 2010). Untaian bambu kemudian dikeringkan selama 48 jam pada suhu 50-70°C di dalam oven hingga kadar airnya mencapai 5%.

#### *Pembuatan Papan OSB*

Dengan target kerapatan 0,70 g/cm<sup>3</sup>, sampel OSB berukuran 30 x 30 x 0,9 cm<sup>3</sup> dibuat. Dengan menggunakan penyemprot, *strand* tersebut digabungkan dengan fenol formaldehida (PF) dengan kadar 8% berdasarkan berat kering oven dalam blender putar. Untuk menciptakan kualitas hidrofobik papan, *strand* bambu yang dilapisi perekat selanjutnya dilapisi dengan bubuk parafin 1% berdasarkan berat kering oven *strand*. Setelah tercampur rata, dibentuk menjadi lembaran-lembaran yang disusun berlapis-lapis untuk membuat OSB.

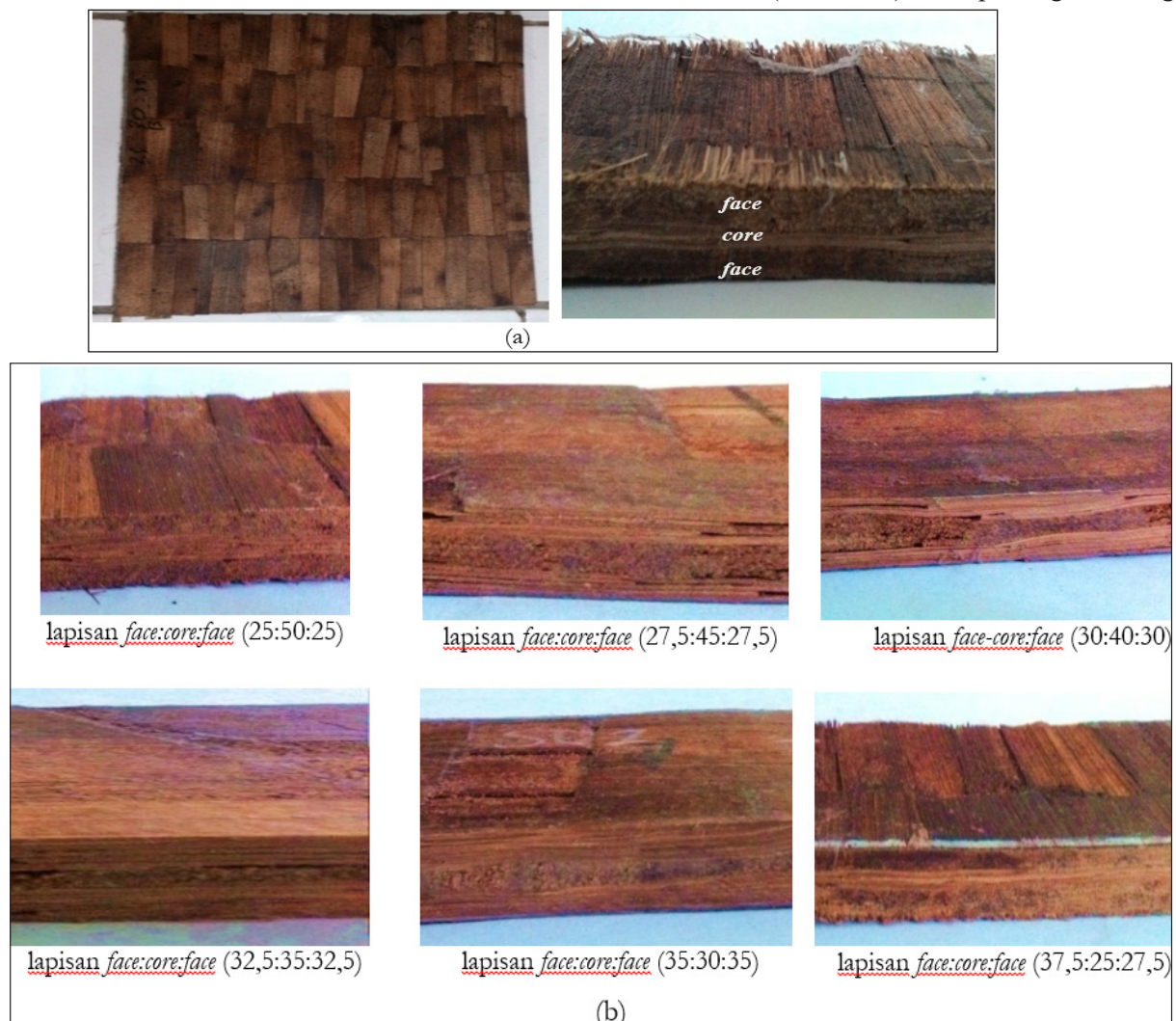
## Evaluasi Kekuatan *Oriented Strand Board* (Osb) Bambu Andong pada Berbagai Rasio Lapisan *Face-Core* Berdasarkan Pengujian Non-Destruktif dan Destruktif

Enam rasio *face-core* yang berbeda dalam persen digunakan untuk membuat OSB untuk menilai dampak dari rasio *strand* bambu. Enam rasio tersebut yaitu 50:50 (25:50:25), 55:45 (27,5:45:27,5), 60:40 (30:40:30), 65:35 (32,5:35:32,5), 70:30 (35:30:35), dan 75:25 (37,5:25:37,5) (Gambar 1). *Strand* bambu pada lapisan *face* dan *core* papan diorientasikan tegak lurus satu sama lain, menunjukkan bahwa papan tersebut dibuat dalam tiga lapisan. Setelah itu, lapisan-lapisan tersebut dikempa panas selama tujuh menit pada suhu 160°C dan tekanan 25 kg/cm<sup>2</sup> (Koch, 1986; Nuryawan *et al.*, 2008). Sebelum melakukan pengujian sifat mekanik, pengondisian OSB dilakukan kurang lebih 14 dengan penumpukan pada suhu ruang untuk mencapai kondisi kesetimbangan. Ukuran sampel OSB untuk pengujian sifat mekanis lentur adalah

5 x 5 x 20 cm<sup>3</sup> merujuk pada Japanese Standards Association (2003) untuk produk komposit partikel.

### Pengujian Produk OSB

Alat *Metriguard* 239A yang didasarkan pada gelombang suara dan frekuensi sonik digunakan dalam pengujian non-destruktif (NDT) yang bertujuan untuk menentukan kecepatan gelombang tegangan (SWV) atau waktu perambatan gelombang suara. Sesuai dengan buku panduan alat, alat *metriguard* pertama-tama disetel ke posisi waktu nol. Pendulum tumbukan pada salah satu ujung benda uji dilepaskan hingga ketinggian maksimumnya, menciptakan gelombang suara yang merambat ke bawah benda uji hingga mencapai akselerometer di ujung yang berlawanan (Gambar 2). Kecepatan gelombang



**Gambar 1.** Tampilan tampak muka produk (a) dan komposisi *face-core* OSB (b)

suara (SWV) dihitung dengan membaca waktu rambat (mikro detik) pada layar. Persamaan 1 dan 2 digunakan untuk menghitung nilai SWV dan MOE dinamis:

$$SWV = \frac{dd}{tt} \dots \dots \dots (1)$$

$$MOE_d = \frac{\rho \cdot SWV^2}{g} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan (*Remarks*): SWV = kecepatan rambatan gelombang bunyi (*stress wave velocity*) (m/detik); d = panjang contoh uji (*length of test sample*)(cm); t = waktu rambatan gelombang bunyi (detik) (*time of stress wave velocity*) (*seconds*); MOEd = modulus elastis dinamis (*dynamic elastic modulus*)(kg/cm<sup>2</sup>); ρ = kerapatan bahan (*material density*) (g/cm<sup>3</sup>); g = konstanta gravitasi (9,8 m/det<sup>2</sup>) (*gravitational constant*) (9,8 m/second<sup>2</sup>)

Karena terdapatnya hubungan linear antara nilai MOEd berdasarkan pengujian non-destruktif dengan hasil pengujian mekanis lentur secara destruktif, maka perlu dilakukan analisis regresi linear untuk menentukan hubungan antara keduanya (Karlinasari *et al.* 2011). Alat *universal testing machine* (UTM) Instron tipe 3369 digunakan dalam pengujian destrukstif untuk menentukan modulus elastis statis (MOEs) dan modulus patah atau *modulus of rupture* (MOR) dengan pembebanan terpusat (*one point loading*) yang diperoleh dengan Persamaan 3 dan 4:

$$MOE(kgf/cm^2) = \frac{\Delta PL^3}{4\Delta Ybt^3} \dots \dots \dots (3)$$

$$MOR (kgf/cm^2) = \frac{3PL}{2bt^2} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan (*Remarks*): MOE = *Modulus of Elasticity* (kgf/cm<sup>2</sup>); MOR = *Modulus of Rupture* (kgf/cm<sup>2</sup>); ΔP = beban dibawah batas proporsi (*load below the proportion limit*)(kgf); ΔY = defleksi pada beban (*deflection on load*)(cm); P = beban maksimum (*Maximum load*) (kgf); L = jarak sangga (*buffer distance*) (cm); b = lebar contoh uji (*width of the test sample*) (cm); t = tebal contoh uji (*thickness of the test sample*)(cm)

Standar EN (300:2006) dan CSA 0437 (2005) digunakan untuk produk OSB sebagai pengujian lentur statis. Lokasi pengujian, baik yang merusak maupun tidak merusak, sejajar (/) dan tegak lurus (⊥) dengan panjang utama untaian bambu. Selain itu, analisis regresi linier digunakan untuk memastikan hubungan antara pengujian non-destruktif (SWV dan MOEd) dan destruktif (MOE dan MOR).

**Analisis Data**

Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap, dengan enam level (50:50, 55:45, 60:40, 65:35, 70:30, dan 75:25) yang membentuk faktor variasi lapisan wajah-inti. Setiap terapi dilakukan tiga kali. Model untuk rancangan percobaan dapat diperoleh dengan Persamaan 5:



(a)



(b)

**Gambar 2.** Pengujian non-destruktif produk OSB sejajar strand (a) dan tegak lurus strand (b) menggunakan Metriguard 293 A berbasis gelombang bunyi

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan (*Remarks*):  $Y_{ij}$  = nilai pengamatan perlakuan ke- $i$  ulangan ke- $j$  (*observation value of the treatment to- $i$  replication to- $j$* );  $\mu$  = nilai rata-rata pengamatan (*average value of observations*);  $\tau_i$  = pengaruh perlakuan ke- $j$  (*effect of treatment to- $j$* );  $\epsilon_{ij}$  = pengaruh galat atau acak percobaan pada perlakuan ke- $i$  ulangan ke- $j$  (*error effect on the treatment to- $i$  replication to- $j$* );  $i$  = lapisan face-core 50:50, 55:45, 60:40, 65:35, 70:30, 75:25 (*face-core layer 50:50, 55:45, 60:40, 65:35, 70:30, 75:25*);  $j$  = ulangan ke 1, 2, 3 (*replication to 1, 2, 3*)

Analisis varians dilakukan untuk melihat bagaimana terapi mempengaruhi respon. Jika hasil analisis menunjukkan perbedaan yang signifikan, uji tambahan Duncan dilakukan untuk memastikan apakah komposisi lapisan *face-core* OSB memiliki efek yang berbeda secara signifikan.

Persamaan 6 mengilustrasikan analisis regresi linier dasar yang dilakukan untuk memastikan korelasi antara hasil pengujian non-destruktif dan pengujian destruktif pada barang OSB yang dapat dilihat sebagai berikut.

$$\hat{Y} = \alpha + \beta x + \epsilon \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan (*Remarks*):  $\hat{Y}$  = peubah tak bebas (*dependent variable*);  $\alpha$  = konstanta regresi (*regression constant*);  $\beta$  =

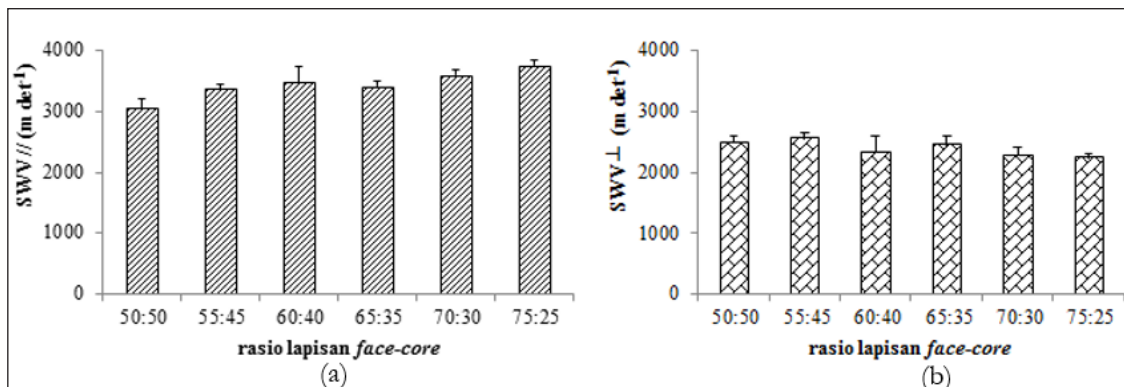
kemiringan (*slope*);  $x$  = nilai peubah bebas (*value of independent variable*);  $\epsilon$  = galat (*error*)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kecepatan Rambatan Gelombang (*Stress Wave Velocity, SWV*)

Kecepatan gelombang suara pada arah pengujian yang sejajar dengan panjang serat diketahui antara 3052 dan 3749 m/det<sup>1</sup>, berdasarkan Gambar 3. Pengujian arah tegak lurus menghasilkan kisaran 2231-2493 m/det<sup>1</sup>. Dibandingkan dengan pengujian arah tegak lurus ( $\wedge$ ), pengujian arah paralel ( $//$ ) memiliki kecepatan gelombang suara 1,5 kali lebih tinggi. Hal ini dikarenakan rambatan gelombang bunyi pada produk OSB dengan komposisi *strand* bambu tegak lurus arah serat dihambat oleh lebar *strand* bambu yang relatif pendek dibandingkan dengan rambatan gelombang bunyi pada arah serat *strand* bambu sejajar terhadap panjang yang memungkinkan rambatan menerus sepanjang produk OSB. Sejalan dengan Sinaga (2021), pengujian sejajar panjang *strand* lebih memudahkan pengiriman gelombang bunyi dibandingkan pada arah serat yang tegak lurus.

Nilai MOEd dan nilai SWV berkorelasi langsung dimana semakin tinggi nilai SWV, semakin besar nilai MOEd, dan sebaliknya. Pada pengujian sejajar terhadap panjang *strand* bambu, rata-rata MOEd 2-3 kali lebih tinggi dibandingkan dengan MOEd tegak lurus terhadap



**Gambar 3.** Modulus elastis dinamis (MOEd) OSB sejajar ( $//$ ) (a) dan tegak lurus ( $\wedge$ ) (b) pada berbagai rasio lapisan face-core

panjang *strand* bambu. Pada pengujian kayu solid, MOEd arah aksial dapat mencapai 1,9-7,0 kali lebih besar dari arah transversal atau tegak lurus serat. Secara umum, nilai MOE dinamis yang diperoleh dari pengujian non-destruktif lebih berbeda dari nilai defleksi statis. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa tegangan, gaya, atau kekuatan elastis yang tersimpan berkorelasi langsung dengan kecepatan gelombang suara. Oleh karena itu, material berperilaku seperti elastis padat ketika pembebanan diterapkan untuk durasi singkat, kemudian berperilaku seperti *viscous liquid* untuk durasi waktu yang lama. Hal ini sangat umum terjadi pada perilaku bahan yang mengandung lignoselulosa. Oleh karena itu, pengujian MOEd melampaui pengujian defleksi statis ketika digunakan pada kayu atau bahan lignoselulosa lainnya (Han *et al.*, 2006; Karlinasari *et al.*, 2010). Sifat mekanis ditentukan melalui pengujian non-destruktif menunjukkan korelasi yang baik dengan metode pengujian destruktif dalam mengukur sifat lentur papan komposit. Pengukuran secara non-destruktif menghasilkan nilai yang akurat dalam menduga nilai kekuatan produk rekayasa kayu (Wang, 2021).

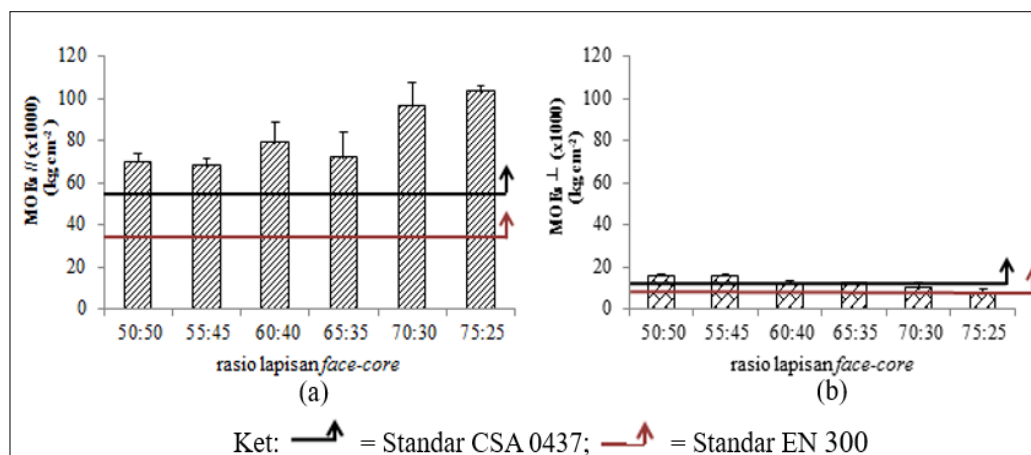
### Modulus of Elasticity (MOE)

Hasil pengujian mekanis lentur statis MOE dan MOR papan OSB pada berbagai rasio lapisan *face-core* disajikan pada Gambar 5. MOEs sejajar panjang *strand* berkisar antara 69.528 hingga

102.872 kg/cm<sup>2</sup>. Sementara itu, untuk pengujian arah tegak lurus terhadap panjang *strand* bambu berkisar antara 8026 hingga 15.553 kg/cm<sup>2</sup>.

Secara keseluruhan, nilai MOE sejajar dengan panjang *strand* bambu telah memenuhi persyaratan minimum masing-masing 56.084 kg/cm<sup>2</sup> dan 35.000 kg/cm<sup>2</sup> sesuai spesifikasi standar oleh CSA 0437 (Kelas 0-2) dan EN 300 (Kelas 2). Spesifikasi ini menetapkan bahwa OSB dapat digunakan dalam arah yang sejajar dengan panjang batang bambu untuk keperluan menahan beban (bangunan). Hanya OSB dengan komposisi rasio lapisan *face-core* 50:50 dan 55:45 yang memenuhi standar dengan nilai yang disyaratkan oleh CSA 0437 (Kelas 2) dan EN OSB (Kelas 2) untuk MOE yang tegak lurus terhadap panjang *strand* bambu. Nilai MOE dan MOR yang dipersyaratkan standar adalah 15.295 kg/cm<sup>2</sup> dan 14.000 kg/cm<sup>2</sup>.

MOE yang lebih rendah akan muncul dari rasio komposisi lapisan muka yang lebih besar dalam arah tegak lurus terhadap panjang *strand* bambu. Hal ini disebabkan oleh menurunnya daya tahan papan terhadap beban yang diberikan secara tegak lurus. Kajian Maulana *et al.* (2019) dan Davinsky *et al.* (2021) menyatakan apabila semakin tinggi rasio penyusunan komponen lapisan papan arah sejajar *strand* bambu menghasilkan nilai MOEs semakin tinggi dan sebaliknya semakin rendah pada arah tegak lurus *strand* bambu. Terkait hubungan grafik beban defleksi, kemampuan papan dalam menahan beban terlihat



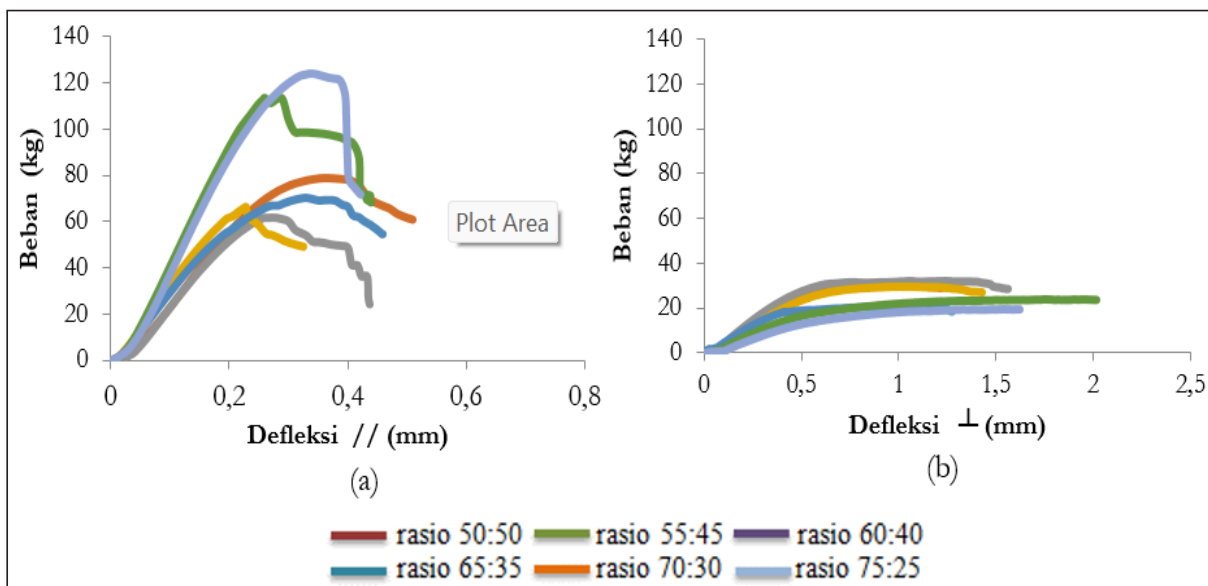
**Gambar 4.** Modulus elastis statis (MOEs) OSB sejajar (//) (a) dan tegak lurus (^) (b) terhadap panjang *strand* pada berbagai rasio lapisan *face-core*

pada Gambar 5. Pengujian defleksi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar defleksi yang dihasilkan sesuai pembebanan yang diberikan. Berdasar Gambar 5 diketahui bahwa pada beban yang sama, nilai defleksi atau lenturan contoh uji tegak lurus arah *strand* bambu lebih tinggi yang berarti kekakuannya lebih rendah.

OSB pada arah sejajar terhadap panjang serat memiliki defleksi yang lebih rendah. Nilai defleksi pada contoh uji dengan arah sejajar *strand* kurang dari 0,1 mm atau hanya sekitar 0,1 mm yang mampu menahan beban seberat 20 kg. OSB arah tegak lurus memiliki nilai defleksi lebih dari 0,5 mm pada beban sekitar 20 kg. OSB pada arah paralel dapat menopang beban lebih banyak daripada OSB pada arah tegak lurus. Hal ini disebabkan karena adanya sifat papan yang tertahan menyebabkan tegangan lebih besar pada arah tegak lurus sedangkan arah sejajar sifatnya lebih lentur sehingga kemampuan papan menahan beban lebih rendah. Produk OSB arah sejajar *strand* memiliki kemampuan 4-6 kali lebih besar dalam menahan beban dengan defleksi yang lebih rendah dibandingkan pada arah tegak lurus. Menurut Nuryawan *et al.* (2008) bagian terluar (lapisan permukaan) adalah tempat titik lemah papan. Serat dipotong dalam arah paralel pengujian namun terbelah dalam arah tegak lurus. Dalam keadaan ini, diperlukan beban yang lebih

besar untuk mematahkan papan yang tegak lurus dengan orientasi *strand* di lapisan permukaan daripada mematahkan papan yang sejajar dengan orientasi untai. Karena karakteristik lentur papan mendominasi pada permukaan, kualitas lentur pada arah sejajar *strand* meningkat seiring dengan meningkatnya komposisi lapisan permukaan (Shigehiko Suzuki & Takeda, 2000).

Ketika hasil pengujian destruktif (MOEs) dan pengujian non-destruktif (MOEd) dibandingkan untuk produk OSB, didapatkan nilai yang berbeda dengan nilai MOEd lebih tinggi 49,19% dibandingkan dengan nilai MOEs. Perbedaan keduanya disebabkan oleh karakteristik bahan, viskoelastis, dan adanya efek *creep* (rangkak). Tingkat akurasi pengujian non-destruktif dan destruktif yang diberikan hasilnya berbeda-beda, hal ini diakibatkan adanya pengaruh laju pembebanan pada pengujian statis, yaitu terdapatnya pengaruh *creep* di dalamnya pada saat pengujian bahan defleksi statis. Perubahan atau defleksi komponen yang diakibatkan oleh waktu juga dianggap sebagai bagian dari efek *creep*. Menurut Madsen (1992), faktor *creep* bergantung pada beban yang diterapkan, perubahan atau defleksi yang terjadi, dan jumlah waktu yang dibutuhkan sebagai akibat dari perubahan tersebut.



**Gambar 5.** Hubungan beban dengan defleksi OSB pada arah sejajar (//) (a) dan tegak lurus (⊥) (b) terhadap panjang strand pada berbagai rasio lapisan face-core



### Modulus of Rupture (MOR)

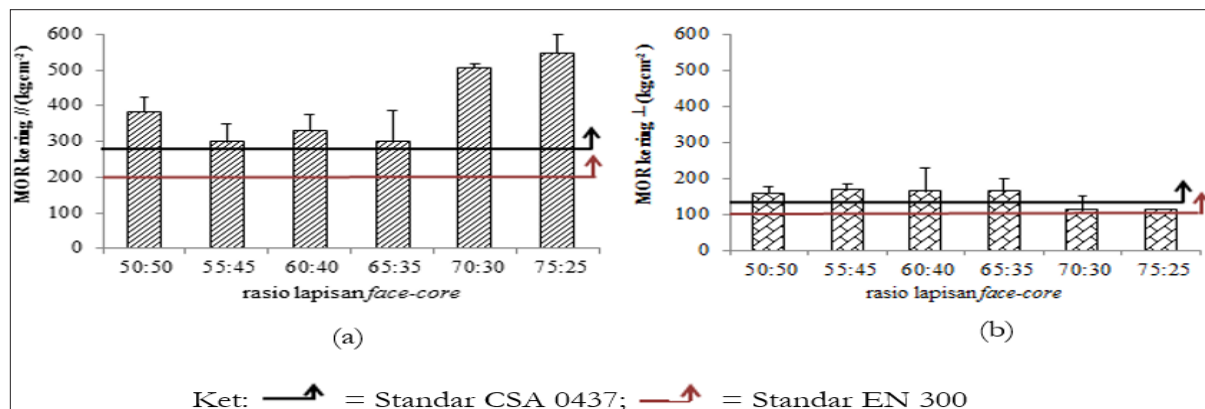
Beban maksimum yang dapat ditopang oleh kayu diukur dengan MOR (Bowyer *et al.*, 2003). Beban maksimum yang diterapkan hingga sampel uji rusak menentukan nilai MOR dalam proporsi yang lurus. Nilai keteguhan papan (MOR) meningkat seiring dengan beban maksimum yang dapat ditahan oleh papan sebelum patah. Gambar 6 menunjukkan nilai MOR sejajar *strand* berkisar antara 297 hingga 574 kg/cm<sup>2</sup>. Pengujian MOR tegak lurus terhadap panjang *strand* bambu dominan berkisar 113 - 167 kg/cm<sup>2</sup>. Secara keseluruhan, nilai MOR paralel telah memenuhi persyaratan minimum masing-masing 295 kg/cm<sup>2</sup> dan 200 kg/cm<sup>2</sup> yang ditetapkan oleh CSA 0437 (Grade 0-2) dan EN 300 (Grade 2). Akan tetapi, untuk nilai MOR arah tegak lurus *strand* OSB dengan komposisi rasio lapisan *face-core* 70:30 dan 75:25 yang tidak memenuhi standar CSA 0437 (Grade 2) dengan nilai minimum yang dipersyaratkan adalah 126 kg cm<sup>-2</sup>. Namun, nilai MOR pada arah tegak lurus *strand* OSB pada komposisi rasio lapisan *face-core* sebesar 70:30 dan 75:25 yang harus minimal 126 kg cm<sup>-2</sup> tidak memenuhi standar CSA 0437 (Grade 2). Berdasarkan standar EN 300 (Grade 2), keseluruhan OSB telah memenuhi standar tersebut dengan persyaratan nilai minimum yaitu 100 kg/cm<sup>2</sup>.

Hasil ini menunjukkan bahwa dengan meningkatnya komposisi lapisan penyusun *strand* bambu pada arah sejajar, maka kekakuan dan kelenturan papan juga meningkat, tetapi menurun pada arah tegak lurus. Hal ini sesuai dengan

penelitian Shigehiko Suzuki & Takeda (2000); Sumardi *et al.* (2007); Davinsky *et al.* (2021), yang menunjukkan bahwa sifat kelenturan pada arah sejajar meningkat seiring dengan bertambahnya komposisi lapisan permukaan karena sifat kelenturan papan didominasi oleh sifat kelenturan papan. Pada arah tegak lurus terhadap untai bambu, nilai MOR akan turun, sedangkan pada arah sejajar *strand*, nilai MOR akan meningkat seiring dengan bertambahnya ketebalan lapisan permukaan. (Febrianto *et al.*, 2017).

### Hubungan SWV dan MOEd dengan Modulus of Elasticity statis (MOEs) dan Modulus of Rupture (MOR)

Analisis statistik regresi linier sederhana digunakan untuk memastikan hubungan antara nilai uji perambatan gelombang suara (SWV) dan hasil uji mekanik statis (MOE dan MOR) dalam orientasi paralel dan tegak lurus terhadap panjang *strand* bambu. Tabel 1 menampilkan nilai koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) untuk hubungan antara SWV dan MOEs pada arah tegak lurus dan paralel, masing-masing sebesar 0,89 dan 0,93. Model estimasi nyata dihasilkan oleh kedua analisis regresi. Hal ini mengimplikasikan bahwa nilai MOEs dapat diestimasi baik dalam arah paralel maupun tegak lurus dengan menggunakan model akhir. Sementara itu, hubungan SWV dengan MOR sejajar dan tegak lurus masing-masing 0,36 dan 0,67. Nilai koefisien determinasi yang rendah menunjukkan SWV lebih rendah untuk menduga nilai MOR pada arah sejajar. Kecepatan gelombang suara telah terbukti dapat



**Gambar 6.** Modulus patah (MOR) OSB sejajar (//) (a) dan tegak lurus (^) (b) terhadap panjang strand pada berbagai rasio lapisan *face-core*

**Tabel 1.** Rangkuman hubungan SWV dan MOEd dengan MOEs dan MOR

Hubungan Correlations	Model Regresi Regression Models	r	R <sup>2</sup>	Signifikansi Significance (α=0.05)
1. SWV (x) dan MOEs (y) // serat	MOEs = 52,909x – 101097	0,9451	0,8932	0,0044*
2. SWV (x) dan MOEs (y) ⊥ serat	MOEs = 22,209x – 40821	0,9624	0,9262	0,0021*
3. SWV (x) dan MOR (y) // serat	MOR = 0,2749x – 553,65	0,5996	0,3595	0,2084 <sup>tn</sup>
4. SWV (x) dan MOR (y) ⊥ serat	MOR = 0,1638x – 244,49	0,8180	0,6691	0,0467*
5. SWV (x) dan MOEd (y) // serat	MOEd = 59,217x – 112974	0,9912	0,9826	0,000014*
6. SWV (x) dan MOEd (y) ⊥ serat	MOEd = 28,688x – 25616	0,9831	0,9664	0,000013*
1. MOEd (x) dan MOEs (y) // serat	MOEs = 1,0125x – 9673,4	0,9459	0,8948	0,0043*
2. MOEd (x) dan MOEs (y) ⊥ serat	MOEs = 0,6339x – 15102	0,9550	0,9121	0,0030*
3. MOEd (x) dan MOR (y) // serat	MOR = 0,0054x – 89,777	0,6216	0,3864	0,1877 <sup>tn</sup>
4. MOEd (x) dan MOR (y) ⊥ serat	MOR = 0,0046x – 53,578	0,8138	0,6623	0,0488*
5. MOEs (x) dan MOR (y) // serat	MOR = 0,0068x – 154,48	0,6318	0,4683	0,1068 <sup>tn</sup>
6. MOEs (x) dan MOR (y) ⊥ serat	MOR = 0,007x + 60,811	0,8252	0,6809	0,0432*

Keterangan (Remarks): R<sup>2</sup>=koefisien determinasi (*determination coefficient*), r=koefisien korelasi (*correlation coefficient*), α=tingkat kepercayaan taraf 5% (*significant effect confidence level at the 5%*), \*=nyata pada tingkat kepercayaan 5% (*significant at 5%*), tn=tidak signifikan (*no significant*).

memprediksi kekakuan dinamis (MOEd) dan statis (MOE dan MOR) dengan nilai koefisien lebih dari 0,50 (Karlinasari *et al.* 2010 & Arruda *et al.* 2011). Dibandingkan dengan arah paralel, arah tegak lurus memiliki koefisien determinasi yang lebih besar. Menurut (Morales, 2013), hal ini disebabkan oleh diskontinuitas yang lebih besar pada arah yang melibatkan dua lapisan permukaan papan yang tegak lurus. Menurut penelitian Han *et al.* (2006) terhadap OSB pinus solid dengan menggunakan metode gelombang tegangan, kayu tersebut memiliki nilai koefisien determinasi sebesar 0,60 dan 0,81 untuk MOE serta 0,58 dan 0,82 untuk MOR pada arah sejajar dan tegak lurus serat.

Temuan dari analisis regresi dasar yang menguji korelasi antara MOEd, MOEs, dan MOR pada arah paralel dan tegak lurus ditampilkan pada Tabel 1. Nilai koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) untuk hubungan antara MOEd dan MOEs pada arah tegak lurus dan paralel terhadap untai adalah 0,91 dan 0,89. Model estimasi yang benar dihasilkan oleh kedua analisis regresi tersebut. Oleh karena itu, berdasarkan nilai MOEd, model yang dihasilkan dapat digunakan untuk mengestimasi nilai MOEs baik dalam arah paralel maupun tegak lurus. Sementara itu, hubungan MOEd dengan MOR sejajar dan tegak lurus masing-masing 0,39

dan 0,66. Nilai koefisien determinasi yang rendah menunjukkan MOEd kurang baik untuk menduga nilai MOR pada arah sejajar. Sama halnya dengan nilai MOEs arah tegak lurus memiliki nilai koefisien determinasi rendah yang menunjukkan kurang baik dalam menduga nilai MOR pada arah sejajar. Namun secara keseluruhan, analisis regresi linear yang dilakukan menghasilkan nilai koefisien determinasi dan korelasi berada di atas 0,50. Kecepatan gelombang bunyi dapat menduga kekakuan dinamis (MOEd) dan statis (MOEs dan MOR) dengan nilai koefisien di atas 0,50. Karlinasari *et al.* (2010); Arruda *et al.* (2011); Morales (2013) menyatakan bahwa koefisien korelasi (r) yang tinggi berkaitan dengan tegangan yang berada pada bahan, yaitu dalam pengukuran dinamis didasarkan pada sifat mekanis berada pada batas elastis. Arah sejajar dan tegak lurus dengan batang bambu merupakan tempat di mana SWV dan MOEd memiliki hubungan yang paling erat, dengan nilai koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) masing-masing sebesar 0,99 dan 0,98. Analisis regresi menghasilkan model estimasi yang valid untuk kedua kasus tersebut. Hal ini mengimplikasikan bahwa berdasarkan nilai SWV, model akhir dapat digunakan untuk meramalkan nilai MOEd baik dalam arah paralel maupun tegak lurus. Secara keseluruhan, data kecepatan

gelombang tegangan dapat digunakan untuk melakukan pengujian dinamis pada produk papan komposit, sehingga pengujian lentur dinamis pada papan komposit menjadi lebih layak, efektif, dan cepat tanpa mengorbankan produk.

## KESIMPULAN

### Kesimpulan

Selain pengujian MOE dan MOR yang tegak lurus dengan rasio face-core 70:30 (35:30:35) dan 75:25 (37,5:25:37,5), hasil pengujian mekanika lentur OSB pada berbagai rasio lapisan face-core melalui perlakuan uap pada *strand* sebagian besar memenuhi standar CSA 0437.0 (Grade 0-2) dan EN 300 (Grade 2). Secara umum, sifat mekanis lentur papan menunjukkan bahwa rasio *face-core* yang semakin besar pada bagian permukaan (*face*) akan lebih menguntungkan untuk produk dengan aplikasi penggunaan OSB searah panjang *strand*. Sementara itu, untuk penggunaan OSB dengan arah potong tegak lurus terhadap arah memanjang *strand* sebaiknya rasio *face-core* tidak melebihi 55:45 (27,5:45:27,5). Kecepatan rambatan gelombang (SWV) melalui nilai MOEd memiliki koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang baik untuk menduga sifat mekanis lentur statis (MOEs) dan MOR pada berbagai komposisi rasio *face-core* papan OSB.

## KONTRIBUSI PENULIS

Ide, desain, dan rancangan percobaan dilakukan oleh Rima Vera Ningsih (RVN) dan Lina Karlinasari (LK); percobaan, dan perlakuan pengujian dilakukan oleh Lina Karlinasari (LK) dan Rima Vera Ningsih (RVN); pengumpulan data dan analisis data dilakukan oleh RVN dan LKS; penulisan manuskrip dilakukan oleh Rima Vera Ningsih (RVN) dan Lina Karlinasari (LK); perbaikan dan finalisasi manuskrip dilakukan oleh Rima Vera Ningsih (RVN).

## DAFTAR PUSTAKA

Adrin, Febrianto, F., & Sadiyo, S. (2013). Properties of oriented strand board prepared from steam treated bamboo strands under various adhesive combinations. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*, 11, 109–119.

- Arce-Villalobos. (1993). *Fundamentals of the design of bamboo structures (Tesis)* (Vol. 1, Issue September). Eindhoven (NL): Technische Universiteit Eindhoven. <https://doi.org/10.6100/IR402687>
- Arruda, L. M., Del Menezzi, C. H. S., Teixeira, D. E., & De Araújo, P. C. (2011). Lignocellulosic composites from Brazilian giant bamboo (*Guadua magna*) part 1: Properties of resin bonded particleboards. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, 13(1), 49–58. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2011000100005>
- Structural Board Association. (2005). *OSB Performance by Design: Oriented Strand Board in Wood Frame Construction*. Structural Board Association. <https://issuu.com/chrispoolman/docs/osb1>
- Bowyer, J. L., Shmulsky, R., & Haygreen, J. G. (2003). *Forest Products and Wood Science: An Introduction, 5th Edition* (p. 554).
- Davinsky, R., Maulana, S., Maulana, M. I., Satria, E. D., Nawawi, D. S., Sari, R. K., Hidayat, W., & Febrianto, F. (2021). Sifat fisis dan Mekanis Oriented Strand Board Hibrida Bambu Pada Berbagai Shelling Ratio. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*, 17(2), 152–159. <https://doi.org/10.51850/jitkt.v17i2.473>
- Fatrawan, A. (2018). *Perubahan Komponen Kimia Strand Bambu Betung dengan Modifikasi Steam dan Pengaruhnya Terhadap Sifat Oriented Strand Board*. Institut Pertanian Bogor.
- Febrianto, F., Jang, J. H., Lee, S. H., Santosa, I. A., Hidayat, W., Kwon, J. H., & Kim, N. H. (2015). Effect of bamboo species and resin content on properties of oriented strand board prepared from steam-treated bamboo strands. *BioResources*, 10(2), 2642–2655. <https://doi.org/10.15376/biores.10.2.2642-2655>
- Febrianto, F., Sumardi, I., Hidayat, W., & Maulana, S. (2017). *Papan Untai Bambu Berarah: Material Unggul untuk Komponen Bahan Bangunan Struktur* (1st ed.). IPB Press. <http://repository.lppm.unila.ac.id/2083/1/PapanUntaiBambuBerarah-MaterialUngguluntukKomponenBahanBangunanStruktur.pdf>
- Han, G., Wu, Q., & Wang, X. (2006). Stress-wave velocity of wood-based panels: Effect of moisture, product type, and material direction. *Forest Products Journal*, 56(1), 28–33.
- Hidayat, W., Suri, I. F., Safe, R., Wulandari, C., Satyajaya, W., Febryano, I. G., & Febrianto, F. (2019). Keawetan dan Stabilitas Dimensi Papan Partikel Hibrida Bambu-Kayu dengan Perlakuan Steam dan Perendaman Panas. *Jurnal Ilmu Teknologi Kayu Tropis*, 17(1), 68–82.

- Iswanto, A. H., Febrianto, F., Wahyudi, I., Hwang, W. J., Lee, S. H., Kwon, J. H., Kwon, S. M., Kim, N. H., & Kondo, T. (2010). Effect of pre-treatment techniques on physical, mechanical and durability properties of oriented strand board made from sentang wood (*Melia excelsa* Jack). *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University*, 55(2), 371–377. <https://doi.org/10.5109/18854>
- Japanese Standards Association. (2003). *JIS A 5908 Particleboards*. Japanese Standards Association. <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>
- Karlinasari, L., Ikhsan, M. F., Hermawan, D., Maddu, A., & Firmanti, A. (2011). Nondestructive bending strength testing of wood wool cement board from some fast growing species using stress wave velocity method. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*, 9(2), 172–181.
- Karlinasari, L., Rahmawati, M., & Mardikanto, T. (2010). Pengaruh Pengawetan Kayu Terhadap Kecepatan Gelombang Ultrasonik dan Sifat Mekanis Lentur serta Tekan Sejajar Serat Kayu Acacia Mangium Willd. *Jurnal Teknik Sipil*, 17(3), 163. <https://doi.org/10.5614/jts.2010.17.3.2>
- Koch, P. (1986). Utilization of Hardwoods Growing on Southern Pine Sites. In *University of Virginia* (Vol. 2).
- Madsen, B. (1992). *Structural behavior of timber*. Timber Engineering Ltd. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19950602177>
- Maulana, S., Gumelar, Y., Fatrawana, A., Maulana, M. I., Hidayat, W., Sumardi, I., Wistara, N. J., Lee, S. H., Kim, N. H., & Febrianto, F. (2019). Destructive and non-destructive tests of bamboo oriented strand board under various shelling ratios and resin contents. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 47(4), 519–532. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2019.47.4.519>
- Morales, E. A. M. (2013). Study of brazilian commercial oriented strand board panels using stress wave. *Wood Research*, 58(2), 295–306. <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/76248>
- Nugroho, N., Tri Bahtiar, E., & Budhijatmiko Lelono, A. (2022). Kekuatan Bambu Betung (*Dendrocalamus asper* Backer ex K.Heyne) Menahan Gaya Normal Tekanan dan Tarikan. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 40(1), 37–48. <https://doi.org/10.20886/jphh.2022.40.1.37-48>
- Nuryawan, A., Yusram Massijaya, M., & Hadi, Y. S. (2008). Sifat Fisis dan Mekanis Oriented Strands Board (OSB) dari Akasia, Ekaliptus dan Gmelina Berdiameter Kecil: Pengaruh Jenis Kayu dan Macam Aplikasi Perekat. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan*, 1(2), 60–66.
- Prakasa, P. A. (2020). *Pengaruh Kombinasi Strands Bambu Andong dan Betung Terhadap Kualitas Bambu Oriented Strand Board*. Institut Pertanian Bogor.
- Roger Rowell, Sandra Lange, J. M. and M. D. (2002). Modification of wood fiber using steam. *The Chemical Modificaton of Cellulosics*, 606–615.
- Ross, R. J. (2015). Nondestructive evaluation of wood. In *Nondestructive Evaluation of Wood* (2nd ed.). United States Department of Agriculture.
- Ross, R. J., & Pellerin, R. F. (1988). NDE of wood-based composites with longitudinal stress waves. *Forest Products Journal*, 38(5), 39–45.
- Rowell, R. M. (2012). Moisture properties. In *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, Second Edition* (Issue October). <https://doi.org/10.1201/b12487>
- Schabowicz, K. (2019). Non-destructive testing of materials in civil engineering. *Jurnal Materials*, 12(19), 1–13. <https://doi.org/10.3390/ma12193237>
- Sinaga, P. S. (2021). Kecepatan Rambatan Gelombang Suara dan Keteguhan Lentur Dinamis OSB (Oriented Strand Board) pada Berbagai Panjang Strand dan Campuran 3 Jenis Bambu. *Jurnal Wana Lestari*, 4(1), 248–253.
- Sumardi, I., Ono, K., & Suzuki, S. (2007). Effect of board density and layer structure on the mechanical properties of bamboo oriented strandboard. *Journal of Wood Science*, 53(6), 510–515. <https://doi.org/10.1007/s10086-007-0893-9>
- Suzuki, Shigehiko, & Takeda, K. (2000). Production and properties of Japanese oriented strand board I: Effect of strand length and orientation on strength properties of sugi oriented strand board. *Journal of Wood Science*, 46(4), 289–295. <https://doi.org/10.1007/BF00766219>
- Suzuki, Sumardi &, Sumardi, I., & Suzuki, S. (2014). Strandboard swelling. *BioResources*, 9(1), 1159–1167.
- Wang, X. (2021). Recent advances in nondestructive evaluation of wood: In-forest wood quality assessments. *Forests*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/f12070949>
- Zhang, Y., & Yu, W. (2015). Changes in surface properties of heat-treated phyllostachys pubescens bamboo. *BioResources*, 10(4), 6809–6818. <https://doi.org/10.15376/biores.10.4.6809-6818>