

KUALITAS HARDBOARD DUA JENIS BAMBUN DENGAN TAMBAHAN TANIN RESORSINOL FORMALDEHIDA (*Quality of Hardboard Made from Two Bamboo Species with Addition of Tannin Resorcinol Formaldehyde*)

Dian Anggraini Indrawan, I.M. Sulastiningsih, Rossi Margareth Tampubolon,
Gustan Pari, & Adi Santoso

Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan
Jl. Gunung Batu No. 5, Bogor 16610
Telp. 0251-8633378, Fax. 0251-8633413
E-mail: elisabeth_dian@yahoo.com

Diterima 19 Januari 2017, Direvisi 28 Februari 2017, Disetujui 24 Maret 2017

ABSTRACT

*All kinds of ligno-cellulose fiber stuffs are technically suitable for hardboard manufacture. In Indonesia, currently the available conventional ligno-cellulose fibers (esp. tropical natural-forest woods) become scarce and depleted. Meanwhile, domestic fiberboard-production is lower than its demands. Alternative fibers, abundantly potential and largely still unutilized, should be introduced, e.g. bamboo. Research on bamboo utilization for hardboard has been carried out using two bamboo species i.e. tali bamboo (*Gigantochloa apus*) and ampel bamboo (*Bambusa vulgaris*). Each bamboo species was pulped using open hot-soda semi-chemical process. Five proportions of bamboo pulp mixtures were prepared from tali-bamboo pulp and ampel-bamboo pulps i.e. 100%+0%, 75%+25%, 50%+50%, 25%+75%, and 0%+100%. Tannin-resorcinol-formaldehyde (TRF) adhesive was added to each bamboo pulp mixtures at three different resin contents, i.e. 0%, 6% and 8% based on dry weight of the bamboo pulp mixture. Bamboo hardboards were manufactured using wet-forming process and the resulted boards were then tested for their physical and mechanical properties. Results showed that addition of TRF (up to 8%) improved hardboard properties. Hardboard made from the ampel-bamboo pulp (100%) produced the highest hardboard quality, as its properties mostly conform with the standards (JIS and ISO) requirements for density, modulus of elasticity (MOE), modulus of rupture (MOR) and internal bond (IB); while hardboards made from tali-bamboo pulp (100%) possessed the lowest quality. Hardboard from tali-bamboo pulp and ampel-bamboo pulp mixture (at 50%+50% and 25% + 75% proportions) afforded the second and third performances. The least prospective tali-bamboo pulp (100%) could expectedly be improved by using more TRF.*

Keywords: Hardboard, bamboo, tannin resorcinol formaldehyde, physical and mechanical properties

ABSTRAK

*Hardboard dapat dibuat dari berbagai macam bahan serat berligno-selulosa. Di Indonesia dewasa ini ketersediaan bahan baku serat konvensional (khususnya kayu hutan alam tropis) untuk hardboard semakin terbatas dan langka, sedangkan produksi domestik hardboard belum dapat memenuhi kebutuhan yang ada. Bahan baku serat alternatif yang potensinya berlimpah dan belum banyak dimanfaatkan perlu diperkenalkan, diantaranya bambu. Penelitian pemanfaatan bambu sebagai bahan baku pembuatan hardboard telah dilakukan dengan memanfaatkan dua jenis bambu yaitu bambu tali (*Gigantochloa apus*) dan bambu ampel (*Bambusa vulgaris*). Masing-masing jenis bambu diolah menjadi pulp dengan proses semi-kimia soda panas terbuka. Hardboard dibuat dengan 5 proporsi campuran pulp bambu tali + bambu ampel yaitu 100%+0%, 75%+25%, 50%+50%, 25%+75%, dan 0%+100%. Tiap proporsi ditambahkan perekat tanin-resorsinol-formaldehida (TRF) sebesar 0%, 6% and 8% dari berat kering pulp. Lembaran hardboard dibentuk dengan cara basah lalu diuji sifat fisis dan mekanisnya. Hasil*

penelitian menunjukkan penambahan TRF hingga 8% meningkatkan sifat fisis dan mekanis *hardboard*. *Hardboard* dari serat pulp bambu ampel 100% memiliki kualitas tertinggi karena sifatnya banyak memenuhi persyaratan JIS dan ISO untuk kerapatan, modulus elastisitas lentur (MOE), modulus patah (MOR) dan keteguhan rekat internal (IB). Sementara itu, *hardboard* dari serat bambu tali 100% memiliki kualitas terendah. Performa *hardboard* dari campuran pulp bambu tali + bambu ampel pada proporsi 50%+50% dan 25%+75% memiliki tingkatan kualitas pada urutan kedua dan ketiga. Papan serat bambu tali yang berkualitas rendah diharapkan dapat diperbaiki melalui penambahan perekat TRF.

Kata kunci: *Hardboard*, bambu, tanin resorsinol formaldehida, sifat fisis mekanis

I. PENDAHULUAN

Papan serat adalah salah satu produk panel hasil rekonstitusi kayu atau bahan berserat lignoselulosa lain. Papan serat dibuat dengan pertama-tama menceraiberaikan kayu atau bahan berserat berlignoselulosa lain menjadi pulp, dan selanjutnya dibentuk menjadi lembaran papan serat menggunakan cara basah atau cara kering. Ikatan antar serat umumnya berasal dari lignin bahan itu sendiri, sehingga bahan perekat tidak selalu diperlukan. Guna memperbaiki sifat-sifat papan serat seperti kekuatan, ketahanan air, keawetan, dan ketahanan api, bahan lain bisa ditambahkan sebagai aditif internal selama pembentukan lembaran atau aditif eksternal/*finishing* sesudah lembaran terbentuk, seperti perekat *thermosetting* atau *thermoplastic*, emulsi lilin, bahan laminasi/*coating*, bahan pengawet, bahan tahan api, dan perlakuan minyak/*oil tempering*. Salah satu keuntungan papan serat adalah dapat dibuat dari bahan berserat ligno-selulosa bermutu rendah, seperti kayu berukuran kecil, limbah kayu, limbah pertanian, dan limbah perkebunan. Kegunaan papan serat banyak menyamai, atau bahkan bisa melebihi, papan kayu solid (Labosky, Yobp, Janowiak, & Blankenhorn, 1993).

Berdasarkan kerapatan, papan serat terdiri dari tiga macam, yaitu rendah (papan isolasi/*insulation board*; 0,02-0,40 g/cm³), sedang (*medium density fiberboard*/MDF; 0,40-0,80 g/cm³), dan tinggi (*hardboard*; 0,80-1,20 g/cm³). Semakin tinggi kerapatan papan serat, maka semakin besar pula potensi kemampuannya untuk tujuan konstruksi/struktural (Suchsland & Woodson, 1986; Tsoumi, 1993).

Di Indonesia arti penting kegunaan papan serat tercermin dari kecenderungan lebih besarnya volume impor papan serat dibandingkan volume eksportnya pada periode 2009-2013

yaitu 191,2-244,7 juta kg terhadap 73,9-112,8 juta kg (Badan Pusat Statistik, 2014). Data ini menunjukkan bahwa saat ini produksi papan serat Indonesia belum dapat memenuhi kebutuhan domestik.

Menurut Sulastiningsih dan Santoso (2012), saat ini usaha untuk mencari alternatif bahan sebagai substitusi kayu pertukangan semakin meningkat karena pasokan bahan baku kayu untuk industri pengolahan kayu di Indonesia baik dari hutan alam maupun hutan tanaman tidak mencukupi kebutuhan yang ada. Sehubungan dengan itu, perlu diperhatikan kemungkinan pemanfaatan bahan serat alternatif non-kayu yang potensinya berlimpah dan belum banyak dimanfaatkan, antara lain bambu. Bambu merupakan salah satu jenis tumbuhan cepat tumbuh. Oleh karena itu pembudidayaan bambu merupakan usaha yang cepat menghasilkan karena dalam waktu empat tahun sudah dapat melakukan pemanenan yang pertama (Sulthoni, 1994). Bambu juga merupakan bahan berserat lignoselulosa, sehingga secara teknis layak untuk pulp dan produk turunannya termasuk papan serat (*hardboard*). Menurut Kant (2010) dalam Fatriasari, Damayanti, dan Anita (2013) bambu memiliki kandungan selulosa 20-40 ton/ha/tahun yaitu 7-30% lebih tinggi dari kayu. Dengan demikian pemanfaatan bambu untuk papan serat akan memberikan dampak positif secara ganda yaitu meningkatkan daya guna atau nilai tambah bambu dan secara bersamaan merangsang penanaman atau budidaya bambu sehingga mengintensifkan peran positifnya terhadap lingkungan. Menurut Kollmann, Kuenzi, dan Stamm (1975) bahan serat non kayu seperti bambu dan sabut kelapa, cocok digunakan sebagai bahan baku papan serat dan papan partikel. Nurrani (2012) menyebutkan beberapa kelebihan yang dimiliki oleh papan serat dibandingkan

dengan produk papan tiruan lainnya adalah strukturnya homogen, menghasilkan permukaan papan yang halus dan licin, permukaan pinggiran yang kuat, bisa diukir dan dibentuk seperti kayu asalnya (solid), tahan abrasi dan tidak mudah retak/pecah.

Salah satu bahan perekat berbasis fenol yang dapat digunakan untuk memperbaiki papan serat (termasuk *hardboard*) adalah tanin-formaldehida (TF) dan tanin-resorsinol-formaldehida (TRF). TF merupakan senyawa hasil polimerisasi antara monomer yang terbentuk akibat reaksi antara tanin dengan formaldehida. Demikian pula, TRF adalah hasil polimerisasi monomer yang terbentuk dari reaksi antara tanin, resorsinol dan formaldehida. Tanin dapat diperoleh antara lain dari ekstrak kulit jenis tumbuhan tertentu (terutama *Acacia* spp.), sehingga perekat TF dan TRF memiliki sifat terbarukan. Lebih lanjut, tanin merupakan polifenol, dengan demikian diharapkan sifat dan kemampuan perekat berbasis fenol tersebut (TF dan TRF) sebanding dengan perekat lain yang berbasis fenol dan lazim digunakan, seperti fenol-formaldehida (PF) dan resorsinol formaldehida (RF). Perekat PF dan RF bersifat *thermosetting* dan *waterproof* sehingga sesuai untuk tujuan eksterior. Keunggulan perekat RF dibandingkan PF adalah suhu untuk *curing / hardening*

lebih rendah (Hussein, Ibrahim, & Abdulla, 2011).

Tulisan ini mempelajari kualitas *hardboard* menggunakan bahan serat alternatif dari dua jenis bambu, yaitu jenis bambu tali dan ampel dan mengidentifikasi karakteristik (sifat dasar dan sifat fisis mekanis) produk papan serat dari masing-masing bambu untuk mengetahui kesesuaian dua jenis bambu tersebut sebagai bahan baku papan serat.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan

Bahan utama penelitian adalah dua jenis serat yaitu bambu tali (*Gigantocloa apus*) dan bambu ampel (*Bambusa vulgaris*). Contoh kedua jenis bambu tersebut diambil dari daerah Sukabumi, Jawa Barat.

B. Prosedur Kerja

1. Pembuatan pulp dari bahan serat

a. Penyiapan serpih bambu

Bambu tali dan bambu ampel, secara terpisah dijadikan serpih berukuran panjang 2-3 cm, lebar 2-2,5 cm, dan tebal 2-3 mm menggunakan cara manual, dan selanjutnya dikeringkan di tempat

Tabel 1. Komposisi bahan serat dan bahan aditif untuk pembentukan hardboard

Table 1. Composition of fiber stuffs and additives for the forming of hardboard

Kode Sampel (Sample code)	Proporsi campuran bahan serat (Mixing proportion of pulps, %)		Aditif (Additive, TRF)
	Bambu tali (Tali bamboo)	Bambu ampel (Ampel bamboo)	
A1	100	0	0%
A2	100	0	6%
A3	100	0	8%
B1	75	25	0%
B2	75	25	6%
B3	75	25	8%
C1	50	50	0%
C2	50	50	6%
C3	50	50	8%
D1	25	75	0%
D2	25	75	6%
D3	25	75	8%
E1	0	100	0%
E2	0	100	6%
E3	0	100	8%

Keterangan (Remarks): Proporsi campuran berdasarkan berat kering oven masing-masing bahan serat (bentuk pulp) (Mixing proportion based on oven-dry weight of fiber stuffs (pulp form)); TRF = perekat tanin-resorsinol-formaldehida (tannin resorcinol formaldehyde adhesive); 0% = kontrol tanpa perekat (control without adhesive)

terbuka (di bawah atap) hingga mencapai kadar air kering udara ($\pm 15\%$), dan kemudian serpih kering tersebut siap dimasak menjadi pulp.

b. Pemasakan serpih bambu menjadi pulp

Serpih bambu tali dan bambu ampel, yang masing-masing telah mencapai kadar air kering udara ($\pm 15\%$) secara terpisah dibuat menjadi pulp menggunakan proses semi-kimia soda panas terbuka, dengan konsentrasi alkali (NaOH) 10,5%, nilai banding bahan baku serat dengan larutan pemasak sebesar 1:8 (b/v), dan suhu maksimum pemasakan (100°C) selama dua jam. Pemasakan dilakukan dalam ketel pemasak berkapasitas (per *batch*) 1000 gram serpih kering oven. Selesai pemasakan dilakukan penetapan konsumsi alkali.

Serpih lunak hasil pencucian selanjutnya dipisah-pisahkan hingga menjadi serat-serat (berupa pulp) pada alat *Hollander beater* sekitar satu jam, hingga mencapai derajat kehalusan pulp 600-700 ml CSF ($12-15^{\circ}\text{SR}$) yaitu nilai yang umum untuk pembentukan lembaran papan serat (Casey, 1980; Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI), 2007). Pulp yang diperoleh selanjutnya ditentukan rendemennya. Masing-masing pulp dicampur dengan komposisi seperti yang tertera pada Tabel 1.

2. Pembentukan lembaran papan serat tipe *hardboard*

Pembentukan lembaran *hardboard* dilakukan dengan cara basah, dengan target ukuran 30 cm x 30 cm x 1 cm dan target kerapatan 1,00 g/cm³ menggunakan alat *deckle box*. Kemudian dilakukan pengempaan dingin terhadap lembaran (suhu kamar, tekanan 5 kg/cm²) hingga lembaran sudah tidak lagi mengeluarkan air. Setelah kempa dingin dilanjutkan dengan pengempaan panas (suhu 170°C , tekanan 30 kg/cm², selama 10 menit). *Hardboard* selanjutnya dikondisikan pada suhu kamar selama 1 minggu sebelum dilakukan pengujian sifat fisis dan mekanis.

C. Pengujian

1. Sifat dasar bahan baku

Pengujian terhadap sifat dasar bahan baku serat (bambu tali dan bambu ampel) mencakup kadar air, kerapatan, dimensi serat dan nilai turunannya, serta analisa komponen kimia.

a. Kerapatan dan analisis komponen kimia bahan serat

Pengujian kerapatan dan analisis kimia dilakukan menurut Standar TAPPI (2007). Analisis kimia mencakup penetapan kadar selulosa, kadar lignin, kadar alfa-selulosa, kadar pentosan, kadar abu, kadar silika, kelarutan dalam alkohol-benzen 1:2, dalam air dingin/panas, dan kelarutan dalam NaOH 1%

b. Dimensi serat dan nilai turunannya

Pemeriksaan dimensi serat (bambu tali dan bambu ampel) dan nilai turunannya dilakukan menurut prosedur Lembaga Penelitian Hasil Hutan (Silitonga, Siagian, & Nurachman, 1972; Apriani, 2010). Pemeriksaan tersebut mencakup panjang serat, diameter serat dan diameter lumen, tebal dinding serat, bilangan Runkel, bilangan Muhlstep, daya tenun, koefisien kekakuan, kelemasan (koefisien fleksibilitas) serat, dan diameter sel pembuluh.

2. Sifat pemasakan (pengolahan) pulp

Pengujian sifat pengolahan mencakup rendemen pulp, konsumsi alkali, derajat kehalusan pulp (ml CSF), yang juga dilakukan menurut standar TAPPI (2007).

3. Pengujian sifat fisik-mekanis *hardboard*

Pengujian sifat fisik dan kekuatan *hardboard* mengacu pada standar Japanese Industrial Standard (ISO) (2013) dan International Organization for Standardization (2013), yaitu mencakup kerapatan aktual, keteguhan lentur (MOE), modulus patah (MOR), keteguhan rekat internal (IB), kadar air, daya serap air, pengembangan tebal, konduktivitas panas, dan ketahanan panas.

4. Pencermatan pada skala nano

Pencermatan ini dilakukan terhadap (bambu tali dan bambu ampel) dalam bentuk serbuk, dengan menggunakan instrumen berkemampuan nano yaitu XRD (*X-ray diffraction*) berupa nilai derajat kristalinitas.

D. Rancangan Percobaan dan Analisis Data

1. Sifat dasar

Untuk menelaah data sifat dasar bahan serat (kerapatan, kadar air, komposisi kimia, dan dimensi serat berikut nilai turunannya) digunakan rancangan acak lengkap satu faktor. Sebagai

faktor (T) adalah macam bahan serat yaitu bambu tali (t1) dan bambu ampel (t2). Pengamatan (ulangan) terhadap sifat masing-masing bahan serat dilakukan sebanyak 5-10 contoh bambu dari masing-masing jenis (sebagai ulangan).

2. Sifat pengolahan pulp

Untuk menelaah data sifat pemasakan (pengolahan) pulp untuk tipe *hardboard*, juga digunakan rancangan acak lengkap satu faktor. Sebagai faktor (perlakuan) adalah macam bahan serat (T) yaitu bambu tali (t1) dan bambu ampel (t2). Pengolahan pulp masing-masing jenis bambu diulang 5 kali.

3. Sifat fisis dan mekanis *hardboard*

Data hasil pengujian sifat fisis-mekanis *hardboard* ditelaah dengan rancangan percobaan acak lengkap berpola faktorial. Sebagai faktor adalah proporsi campuran serat dan penggunaan aditif. Proporsi campuran serat (P) yaitu pulp bambu tali + pulp bambu ampel, terdiri dari 5 taraf yaitu 100%+0% (p1), 75%+25% (p2), 50%+50% (p3), 25%+75% (p4), dan 0%+100% (p5). Penggunaan aditif (T) terdiri dari tiga macam yaitu kontrol/tanpa aditif (t1), TRF 6% (t2), dan TRF 8% (t3) (Tabel 1). Ulangan dari masing-masing kombinasi faktor P dan T dilakukan sebanyak 5 kali. Sekiranya pengaruh faktor secara individu (P dan A), dan bentuk interaksinya (P*A) nyata terhadap sifat *hardboard*, maka dilakukan penelaahan lebih lanjut menggunakan uji Beda Nyata Jujur (BNJ) atau Tukey.

Analisa lanjutan untuk mengetahui porsi campuran mana (pulp bambu tali + pulp bambu ampel) yang paling prospektif serta mengetahui peranan aditif/perekat TRF (Tabel 1) terhadap mutu produk *hardboard*, maka dilakukan pencermatan sifat dasar, sifat pengolahan pulp, dan sifat fisik-mekanis *hardboard* tersebut menggunakan analisis diskriminan beserta koefisien determinasi kanonik (Statistical Analysis System, 1997; Morrison, 2003).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sifat Dasar Bahan Serat

1. Kadar air, kerapatan, dan komposisi kimia

Pengujian sifat dasar untuk perbedaan macam atau jenis bahan serat bambu tali dan bambu

ampel (Tabel 2) berpengaruh nyata terhadap hampir seluruh aspek tersebut (uji F), kecuali kadar selulosa. Uji F juga menunjukkan bahwa kerapatan bambu tali, berikut kadar air, kelarutannya dalam alkohol-benzen, dalam air dingin, dan dalam NaOH 1%, lebih rendah dibandingkan dengan nilai-nilai serupa untuk bambu ampel. Sebaliknya, kadar abu, silika, lignin, pentosan, dan kelarutan dalam air panas pada bambu tali lebih tinggi; sedangkan kadar selulosa tidak saling berbeda nyata antara kedua jenis bambu tersebut.

Rendahnya kerapatan bambu tali diduga terkait dengan rendahnya kandungan ekstraktif, seperti diindikasikan dengan kelarutannya yang lebih rendah dalam ketiga macam pelarut tersebut, kecuali dalam air panas. Semakin tinggi kandungan ekstraktif, maka umumnya semakin tinggi pula kerapatan bahan serat berligno-selulosa (termasuk bambu); dan sebaliknya (Haygreen & Bowyer, 1999). Selanjutnya, terindikasi pula bahwa zat ekstraktif pada bambu tali dengan kandungan lebih rendah tersebut bersifat menarik-air (semi polar dan polar), karena pelarut yang digunakan yaitu alkohol-benzen bersifat semi-polar; dan pelarut air dingin dan NaOH 1% bersifat polar. Mengenai kelarutan bambu tali dalam air panas yang lebih tinggi, terindikasi pula bahwa bahan yang terlarut tersebut bisa mencakup lemak/minyak, resin, dan senyawa kurang/non-polar lainnya. Fenomena kesemuanya ini mengisyaratkan bahwa bambu tali bersifat kurang higroskopis dan berakibat kadar airnya lebih rendah bila dibandingkan pada bambu ampel (Smook, 2002; Saptadi, 2009).

Kadar air dan kerapatan bahan serat tinggi tidak dikehendaki sebab menjadi lebih mudah terdegradasi (hidrolisis dan enzimatis), meningkatkan bobotnya, dan mempertinggi kebutuhan energi pengolahannya menjadi pulp (Casey, 1980). Demikian pula, kandungan ekstraktif (bahan bukan penyusun serat) yang tinggi tidak dikehendaki, karena antara lain mengkonsumsi banyak bahan kimia pemasak (*pulping*) dan menurunkan sifat fisis-kekuatan produk papan serat (Sjostrom, 2002; Smook, 2002).

Selanjutnya, kadar abu dan silika tinggi tak dikehendaki pula karena cepat mempertumpul peralatan logam, mengganggu ikatan antar serat selama pembentukan lembaran papan serat

Tabel 2. Kerapatan dan komposisi kimia bambu
Table 2. Density and chemical composition of bamboo

Parameter (Parameters)	Jenis bambu (<i>Bamboo species</i>)		uji-F (<i>F-test</i>)
	Bambu tali (<i>Tali bamboo</i>)	Bambu ampel (<i>Ampel bamboo</i>)	
Kerapatan (<i>Density</i> , g/cm ³)	0,54	0,65	*
Kadar air (<i>Moisture content</i> , %)	12,94	14,09	**
Selulosa (<i>Cellulose</i> , %)	47,11	48,12	tn
Pentosan, %	14,51	10,54	*
Lignin, %	28,91	27,91	*
Abu (<i>Ash</i> , %)	2,67	1,57	**
Silika (<i>Silica</i> , %)	1,164	1,005	**
Kelarutan dalam alkohol- benzen (<i>Solubility in alcohol- benzena</i> , %)	2,90	5,25	**
Kelarutan dalam air dingin (<i>Solubility on cold water</i> , %)	5,00	6,99	**
Kelarutan dalam air panas (<i>Solubility in hot water</i> , %)	9,30	6,01	**
Kelarutan dalam NaOH 1% (<i>Solubility in 1% NaOH</i> , %)	15,97	19,26	*

Keterangan (*Remarks*): * = nyata pada taraf (*significant at level*) 5%; ** = sangat nyata pada taraf (*very significant at level*) 1%, tn = tidak nyata (*not significant*)

(termasuk tipe *hardboard*) sehingga berakibat negatif terhadap sifat fisis dan kekuatannya (Suchsland & Woodson, 1986). Sebaliknya, kadar selulosa, lignin, dan pentosan tinggi dikehendaki untuk papan serat. Lignin bersifat termoplastik sehingga akan melunak dan dapat dibentuk pada suhu tinggi dan saat suhu kembali dingin akan kembali mengeras. Sifat ini menjadi dasar pembuatan papan serat (*hardboard*) (Haygreen & Bowyer, 1999).

Berdasarkan total skor (hasil manipulasi uji BNJ) di mana masing-masing karakteristik sifat dasar (baik dikehendaki atau tak-dikehendaki) yaitu kerapatan, kadar air, dan komposisi kimia dibobot sama, terindikasi bahwa serat bambu tali lebih berprospek untuk *hardboard* dibandingkan serat bambu ampel, berdasarkan total skornya (TS) yaitu hasil manipulasi uji-F masing-masing aspek dibobot sama, masing-masing yaitu berturut-turut 9 dan 5.

2. Dimensi serat dan nilai turunannya

Dimensi serat dan nilai turunannya juga berpengaruh nyata terhadap perbedaan macam bahan serat (Tabel 3). Penelaahan lebih lanjut (uji F) mengindikasikan bahwa panjang serat,

diameter serat, diameter lumen, tebal dinding serat, bilangan Muhlstep, bilangan Runkel, kekakuan serat, dan diameter pembuluh pada bambu tali lebih rendah dibandingkan pada bambu ampel. Sebaliknya, daya tenun serat dan kelemasan/fleksibilitas serat pada bambu ampel lebih rendah. Lebih tipisnya tebal dinding serat bambu tali diduga erat kaitannya dengan lebih rendah kerapatannya dibandingkan kerapatan bambu ampel.

Serat yang panjang lebih dikehendaki untuk papan serat/*hardboard* karena memungkinkan jalinan dan anyaman serat lebih intensif selama pembentukan lembaran papan tersebut. Dinding serat tipis, diameter serat dan lumen besar, diameter pembuluh besar pula, daya tenun dan kelemasan serat tinggi; dan bilangan Runkel, koefisien kekakuan, dan bilangan Muhlstep rendah juga dikehendaki, karena semua hal tersebut terindikasi berkaitan erat dengan sifat menggepeng, fleksibilitas, dan ikatan antar-serat, sehingga berpengaruh positif terhadap kualitas produk pulp (*hardboard*) (Silitonga et al., 1972; Apriani, 2010). Berdasarkan nilai total skor (TS) dimensi serat dan nilai turunannya (Tabel 5) di mana masing-masing sifat dibobot sama pula,

bambu tali (TS = 6) juga berindikasi lebih berprospek untuk *hardboard* dibandingkan bambu ampel (TS = 4).

B. Sifat Pengolahan Pulp

Perbedaan macam bahan serat (bambu tali dan bambu ampel) tidak berpengaruh nyata terhadap rendemen pulp dan konsumsi alkali (Tabel 4). Rendemen pulp kedua jenis bambu tersebut (72,504-72,590%) terletak dalam selang rendemen yang umum untuk pengolahan pulp semi-kimia yaitu 60-85% (Tsoumi, 1993; Smook, 2002). Selanjutnya konsumsi alkali sebesar 10,35-10,49% berindikasi bahwa sekitar 98,57-99,90% dari total/konsentrasi alkali (NaOH) awal yang digunakan (10,5%) dikonsumsi selama pengolahan pulp kedua jenis bambu tersebut. Angka konsumsi sebesar itu cukup tinggi karena mendekati 100%.

Terhadap derajat kehalusan pulp, perbedaan jenis bambu berpengaruh nyata (Tabel 4), dimana derajat kehalusan pulp bambu tali lebih rendah dibandingkan pulp bambu ampel. Hal ini menunjukkan bahwa serat bambu tali lebih mudah digiling menjadi pulp, dari pada serat bambu ampel. Perbedaan ini diduga berkaitan dengan lebih tingginya kadar pentosan bambu tali dibandingkan serat bambu ampel (Tabel 2). Pentosan merupakan polimer berantai lurus dan bercabang, dengan derajat polimerisasi jauh lebih rendah dari pada selulosa. Di samping itu, pada

pentosan lebih banyak terdapat gugusan fungsional bersifat polar (seperti OH, CO, dan COO). Akibatnya afinitas pentosan terhadap air atau pelarut polar lainnya lebih tinggi dari pada selulosa. Ini berakibat fibrilisasi serat bambu tali lebih intensif selama penggilingannya menjadi pulp (Suchsland & Woodson, 1986; Smook, 2002; Kollmann & Côté Jr, 2012).

Pada pengolahan pulp, secara umum dikehendaki rendemen yang tinggi, konsumsi bahan kimia pemasak rendah, dan serat lebih mudah digiling. Hal tersebut berperan penting dalam penerapan pengolahan pulp (termasuk untuk *hardboard*) secara komersial, sebab ini terkait dengan besarnya kapasitas produksi pulp, pemakaian bahan kimia pemasak, perlu atau tidaknya dilakukan daur ulang bahan kimia tersebut, dan konsumsi energi baik berupa bahan bakar atau listrik (Casey, 1980; Smook, 2002). Kriteria ini dipakai sebagai dasar penentuan nilai total skor (TS) kedua jenis sumber serat tersebut, di mana masing-masing sifat pengolahan pulp juga dibobot sama. Ternyata, serat pulp bambu tali (TS = 3) juga sedikit lebih berprospek untuk *hardboard*, dibandingkan serat pulp bambu ampel (TS = 2).

C. Sifat Fisis Mekanis Hardboard

1. Kadar air, pengembangan tebal, dan penyerapan air

Perbedaan proporsi campuran serat (pulp

Tabel 3. Dimensi serat bahan alternatif (jenis bambu) dan nilai turunannya

Table 3. Fiber dimensions of alternative stuffs (bamboo species) and their derived values

Aspek (<i>Aspects</i>)	Jenis bambu (<i>Bamboo species</i>)		uji.F (<i>F-test</i>)
	Bambu tali (<i>Tali bamboo</i>)	Bambu ampel (<i>Ampel bamboo</i>)	
Panjang serat (<i>Fiber length, L, μm</i>)	3228,3	4023,5	**
Diameter serat (<i>Fiber dimension, D, μm</i>)	25,61	31,60	*
Diameter lumen (<i>Lumen diameter, l, μm</i>)	15,68	17,41	**
Tebal dinding serat (<i>Fiber-wall thickness, w, μm</i>)	4,96	7,10	**
Daya tenun (<i>Felting power, L/d</i>)	130,66	112,26	*
Bilangan Runkel (<i>Runkel ratio, 2w/l</i>)	0,71	1,00	**
Koef. fleksibilitas (<i>Flexibility coeff., l/d</i>)	0,62	0,54	**
Koef. kekakuan (<i>Rigidity coeff., w/d</i>)	0,19	0,23	**
Bilangan Muhlstep (<i>Muhlstep No., 100*[(d²-l²)/d²], %</i>)	0,59	0,69	**
Diameter pembuluh (<i>Vessel diameter, μm</i>)	233,0	261,7	**

Keterangan (*Remarks*) * = Nyata (*Significant*); ** = Sangat nyata (*Very significant*), tn = Tidak nyata (*Not significant*)

bambu tali + pulp bambu ampel) dan penggunaan aditif memiliki pengaruh nyata terhadap kadar air, pengembangan tebal, dan penyerapan air (Tabel 5).

Dari uji BNJ (Tabel 6), terindikasi penggunaan aditif (perekat TRF) menghasilkan *hardboard* dengan nilai ketiga sifat tersebut lebih rendah dibandingkan sifat *hardboard* kontrol (tanpa aditif). Selanjutnya, terindikasi pula nilai ketiga sifat *hardboard* pada penggunaan TRF 8% lebih rendah dari pada penggunaan TRF 6%. Perekat TRF sebelum mengeras (*curing*), bergerak atau mengalir masuk ke dalam struktur serat (*void spaces*), mengisi rongga-rongga antar serat, dan membasahi permukaan (*wetting*) serat saat pembentukan lembaran *hardboard* dengan pengempaan panas (Santoso, 2011; Hussein, et al., 2011). Akibatnya, setelah TRF mengeras, sifat higroskopis serat menurun dan kestabilan dimensi *hardboard* meningkat.

Semakin tinggi persentase (proporsi) pulp bambu ampel terhadap porsi pulp bambu tali pada campuran serat cenderung menurunkan kadar air, pengembangan tebal, dan penyerapan air produk *hardboard*, berdasarkan uji BNJ (Tabel 6). Diduga ini terkait dengan tingginya kandungan ekstraktif bersifat menolak-air (non-polar) pada bambu ampel, sebagaimana tampak pada kelarutannya yang lebih tinggi dalam alkohol-benzen dan air panas (Tabel 2). Zat ekstraktif non-polar tersebut antara lain adalah lilin, malam, dan resin (Sjostrom, 2002; Ashaari, Salim, Halis, Yusof, & Sahri, 2010). Keberadaan zat non-polar pada serat bambu ampel cenderung menyebabkan sifat higroskopis pada produk *hardboard*-nya (termasuk *hardboard* dari campuran serat bambu ampel + bambu tali) menurun dan akibatnya kestabilan dimensi meningkat.

Kadar air *hardboard* hasil percobaan, hampir seluruhnya (93,33%) memenuhi persyaratan Japanese Industrial Standard (JIS) (2013); tetapi pengembangan tebal dan penyerapan air keseluruhannya (0%) tidak memenuhi persyaratan tersebut (Tabel 6). Diharapkan kelemahan kedua sifat terakhir tersebut dapat diperbaiki dengan menerapkan perlakuan minyak (*oil-tempering*). Minyak akan melapisi permukaan serat sehingga meningkatkan *water-repellency hardboard*. Secara bersamaan, energi panas dari minyak tersebut diharapkan dapat memicu reaksi *cross-linking* antara gugus OH pada permukaan serat dengan

melepaskan molekul air, sehingga terjadi ikatan antar serat (serat-O-serat) dan akibatnya meningkatkan kestabilan dimensi *hardboard* (Ashaari, Salim, Halis, Yusuf, & Sahri, 2010; Kollmann & Côté Jr, 2012).

2. Kerapatan, MOE, MOR, dan IB

Campuran pulp bambu tali + pulp bambu ampel, pada lima taraf proporsi; dan penggunaan aditif (perekat TRF) berpengaruh nyata terhadap keempat sifat *hardboard* tersebut (Tabel 5). Berdasarkan uji BNJ, nilai-nilai kerapatan, MOE, MOR, dan IB produk *hardboard* dengan perekat TRF (6% dan 8%) cenderung lebih tinggi dibandingkan nilai untuk *hardboard* kontrol (Tabel 6). Nilai keempat sifat tersebut pada *hardboard* dengan TRF 8% juga lebih tinggi dari pada dengan TRF 6%.

Seperti telah diuraikan sebelumnya, perekat TRF terutama yang membasahi permukaan serat (sebelum *curing*) memungkinkan kinerja perekatannya efektif dan intensif pada saat serat-serat saling berkontak satu sama lain, ketika dilakukan pembentukan lembaran *hardboard* dengan pengempaan panas. Pada saat perekat TRF mulai dan sudah mengeras (*cured*), fenomena ini dapat berperan positif terhadap kerapatan dan ketiga sifat kekuatan *hardboard* tersebut (Suchsland & Woodson, 1986; Santoso, 2011; Hussein et al., 2011).

Uji BNJ mengisyaratkan pula, bahwa kerapatan, MOE, MOR, dan IB produk *hardboard* meningkat dengan semakin besar proporsi bambu ampel terhadap pulp bambu tali pada campuran serat (Tabel 6). Diduga ini terkait dengan sifat dasar serat bambu ampel seperti panjang serat, diameter serat, diameter lumen, dan diameter sel pembuluh dimana nilai-nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan nilai untuk bambu tali (Tabel 3). Karakteristik tersebut berakibat serat dan sel pembuluh bambu ampel lebih mudah menggepeng sehingga memungkinkan kontak/ikatan antar serat yang lebih intensif saat pembentukan lembaran *hardboard*. Juga serat bambu ampel yang lebih panjang memungkinkan anyaman/jalinan antar serat lebih intensif pula dengan orientasi baik sejajar atau tegak lurus permukaan serat. Orientasi yang sejajar tersebut banyak berperan positif terhadap MOE dan MOR, sedangkan orientasi tegak lurus positif terhadap IB (Labosky, Yobp, & Janowiak 1993). Di samping itu, lebih

Tabel 5. Analisis keragaman terhadap sifat fisis-kekuatan papan serat tipe hardboard
Table 5. Analysis of variances on physical-strength properties of hardboard-type fiberboard

Sumber keragaman (Sources of variation)	db (df)	Sifat (Properties)									
		Keteguhan lentur/ (MOE)	Keteguhan patah (MOR)	Keteguhan internal/ internal bond (IB)	Kadar air (Moisture content)	Kerapatan (Density)	Pengembangan tebal (Thickness swelling)	Penyerapan air (Water absorption)	Daya hantar panas (Heat conductivity)	Ketahanan panas (Thermal resistance)	
		F-hitung (F-calc.)	F-hitung (F-calc.)	F-hitung (F-calc.)	F-hitung (F-calc.)	F-hitung (F-calc.)	F-hitung (F-calc.)	F-hitung (F-calc.)	F-hitung (F-calc.)	F-hitung (F-calc.)	F-hitung (F-calc.)
P	4	7,243**	8,213**	2,723*	3,345*	11,176**	10,58**	3,49*	3,34*	7,15**	
A	2	3,781*	3,986*	7,945**	12,745*	5,213*	19,87**	7,54**	15,15*	5,56*	
P*A	8	6,314**	7,214**	8,921**	13,218**	9,145**	5,97*	9,12**	16,45**	5,61*	
Galat / Error	60										
Rata-rata (Means)	-	41021,2	329,8	3,14	7,5	0,93	53,88	89,40	0,093	0,056	
Satuan (Units)	-	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	%	g/cm ³	%	%	m ² .K.W-1	W.m ⁻¹ .K ⁻¹	
KK, %	-	10,92	7,159	12,65	6,63	10,52	9,31	5,93	3,61	5,18	
D 0,05	-	1271,5	15,61	0,15	0,16	0,027	2,42	0,74	0,0021	0,004	
Total	74										

Keterangan (Remarks): P = Proporsi campuran bahan serat (pulp bambu tali + pulp bambu ampel / Mixing proportion of fiber stuffs (tali bamboo pulp + ampel bamboo pulp); A = Penggunaan bahan aditif (perekat tanin-resorsinol-formaldehida / TRF) / Use of additive (tamin-resorsinol-formaldehyde adhesive / TRF); db (df) = derajat bebas (Degree of freedom); * = nyata pada taraf 5%; ** = nyata pada taraf 1%; tn = tak nyata; KK = koefisien keragaman (Coeff. of variation); D0,05 = nilai kritis uji jarak beda nyata jujur (BNJ) Tukey pada taraf 5% / Critical value of honestly significant difference (HSD) / Tukey test.

Tabel 6. Sifat fisis mekanis hardboard, yang diikuti dengan hasil uji BNJ (Tukey) dinyatakan dalam mutu dan analisis diskriminan berikut koefisien determinasi korelasi kanonik
Table 6. *Physical mechanical properties of hardboard, followed with results of HSD (Tukey) test expressed in grades and discriminant analysis together with canonic determination coefficient*

Kode sampel (<i>Sample code</i>)	Keteguhan lentur (<i>MOE, kg/cm²</i>)	Keteguhan patah (<i>MOR, kg/cm²</i>)	Keteguhan rekat internal (<i>IB, kg/cm²</i>)	Kadar air (<i>Moisture content, %</i>)	Kerapatan (<i>Density, g/cm³</i>)	Pengembangan tebal (<i>Thickness swelling, %</i>)	Penyerapan air (<i>Water absorption, %</i>)	Daya hantar panas (<i>Heat conductivity, W.m⁻¹K⁻¹</i>)	Ketahanan panas (<i>Thermal resistance, m².K.W⁻¹</i>)	Y-diskr
A1	33610	276,81	1,690	9,335	0,9198	60,4426	97,5200	0,082876	0,067607	8,4181
A2	36547	308,33	2,475	8,612	0,9589	57,6165	96,0792	0,103464	0,054753	13,1298
A3	42631	345,60	2,410	7,316	0,9443	55,6897	87,4750	0,095836	0,054760	17,4697
B1	30997	270,97	2,620	9,199	0,9370	58,2766	94,7429	0,093819	0,056524	12,3232
B2	44574	302,75	2,705	8,183	0,9351	56,8081	86,2471	0,096086	0,054982	16,8224
B3	55800	358,97	2,805	7,970	0,9624	53,9587	84,3487	0,096136	0,054974	22,6385
C1	39029	318,11	2,255	6,633	0,9084	55,6151	89,5363	0,091036	0,057230	15,5869
C2	41726	351,92	3,285	6,321	0,9450	54,2901	86,3104	0,097163	0,051045	23,5465
C3	50846	379,76	5,190	4,218	0,9449	49,4195	83,8201	0,100990	0,051666	39,6974
D1	32389	288,62	1,860	8,485	0,8798	53,9104	93,2824	0,086766	0,063101	10,7223
D2	36884	281,11	4,180	7,178	0,9331	51,4195	90,4161	0,087829	0,056758	27,1818
D3	38800	316,40	4,570	7,180	0,9898	50,6328	84,8514	0,090165	0,055765	32,1907
E1	41298	246,20	3,255	8,489	0,8669	54,6384	89,5146	0,088352	0,057814	17,8324
E2	42726	431,56	3,030	7,055	0,9192	47,8289	89,1873	0,093691	0,054146	26,6011
E3	47462	470,53	4,810	6,846	0,9578	47,7360	87,7572	0,099639	0,050864	39,2779
Koefisien diskriminan / <i>Discriminant coeff. (bi)</i>	b1=+0,72531	b2=+2,55276	b3=+6,47013	b4=-1,14918	b5=+1,35298	b6=-1,45867	b7=-0,47318	b8=-1,61623	b9=+0,32143	
Japanese Industrial Standard (2013)	29589	272...6			0,80-1,20	<23	<30			
International Organization for Standardization (2013)	30610	306,51	>5,102	5-13	>0,900			0,108099-0,201784		

Keterangan (Remarks): Y diskriminasi = Nilai diskriminan (*discriminant values*), bi = koefisien determinan/*determinant coeff.*, dan Yi = sifat *hardboard* ke i yang sudah dibakukan menjadi nilai tanpa satuan / *properties of hardboard at ith which each have been standardized into unitless values*, dengan koef. determinasi kanonik nyata / *with significant canonic determination coeff.* ($R=0.9804^{**}$)

rendahnya kandungan silika dan abu pada bambu ampel diduga ikut berperan positif terhadap keempat sifat *hardboard* tersebut (Tabel 3). Adanya abu dan silika pada serat dapat pula mengganggu atau berpengaruh negatif terhadap ikatan antara serat-serat dan antara serat-perekat-serat (Casey, 1980; Saptadi, 2009).

Kerapatan dan MOE *hardboard* hasil percobaan seluruhnya (100%) memenuhi persyaratan JIS (2013) dan International Organization for Standardization (2013) (Tabel 6). Sedangkan MOR dan IB juga memenuhi persyaratan tersebut tetapi secara parsial yaitu berturut-turut 66,66-86,66% dan 6,67%.

3. Daya hantar panas dan ketahanan panas

Daya hantar panas *hardboard* meningkat dengan penggunaan perekat TRF, dan secara bersamaan ketahanan panas menurun (Tabel 5 dan 6). Lebih lanjut, peningkatan persentase TRF (6-8%) berakibat pula peningkatan daya hantar panas dan penurunan ketahanan panas. Fenomena tersebut terjadi karena hubungan antara kedua sifat tersebut memang saling berbanding terbalik (International Organization for Standardization, 2013). Ini juga memperkuat indikasi sebelumnya, bahwa perekat TRF (sebelum mengeras/*curing*) mengintensifkan ikatan/anyaman antar serat dalam *hardboard*, sehingga menurunkan pula volume rongga-rongga udara didalamnya (Suchsland & Woodson, 1986).

Proporsi campuran bahan serat juga berpengaruh pada kedua sifat tersebut, dimana semakin tinggi proporsi pulp bambu ampel terhadap pulp bambu tali berakibat peningkatan daya hantar panas dan penurunan ketahanan panas (Tabel 5 dan 6). Diduga ini ada kaitannya dengan kerapatan *hardboard* yang cenderung meningkat dengan meningkatnya proporsi pulp bambu ampel tersebut. Peningkatan kerapatan berakibat struktur serat dalam *hardboard* lebih kompak dan lebih sedikit rongga udara, akibatnya lebih mudah menghantarkan panas atau menurunkan ketahanan panas (ISO, 2013). Seperti diketahui daya hantar panas suatu bahan umumnya berbanding terbaik dengan ketahanan panasnya (Haygreen & Bowyer, 1999).

Hardboard hasil percobaan menunjukkan variasi nilai daya hantar panas dan ketahanan panas yang seluruhnya masih dibawah persyaratan ISO (2013). Lebih rendahnya nilai

tersebut menunjukkan bahwa pada *hardboard* hasil percobaan masih terdapat rongga-rongga udara dengan volume tertentu, sehingga berpengaruh negatif terhadap daya hantar panas tersebut. Diharapkan kelemahan ini dapat diperbaiki dengan penerapan perlakuan minyak, karena minyak selain dapat menghantarkan panas secara statis (seperti halnya bahan padatan) juga bisa secara konveksi (untuk bahan yang berbentuk fluida, termasuk minyak), meningkatkan daya hantar panas *hardboard* (Suchsland & Woodson, 1986; Bennet & Myers, 1999).

4. Telaahan sifat fisis dan mekanis *hardboard*

Telaahan tersebut dilakukan dengan memperhatikan sifat fisis-kekuatan (mutu) *hardboard* yang dikehendaki konsumen, yaitu antara lain: kadar air, penyerapan air, pengembangan tebal, daya hantar panas yang rendah kerapatan, sifat mekanis (MOE, MOR, IB), dan ketahanan panas tinggi. Dengan penerapan analisis diskriminan di mana sifat *hardboard* baik yang dikehendaki atau tak-dikehendaki tersebut dipakai sebagai masukan, dapat diperoleh persamaan diskriminan Y -diskr = $\sum b_i \cdot Y_i = + 0,72531 Y_1$ (MOE) + $2,55276 Y_2$ (MOR) + $6,47013 Y_3$ (IB) - $1,14918 Y_4$ (kadar air) + $1,35298 Y_5$ (kerapatan) - $1,45867 Y_6$ (pengembangan tebal) - $0,47318 Y_7$ (penyerapan air) - $1,61623 Y_8$ (daya hantar panas) + $0,32143$ (ketahanan panas); di mana nilai Y_i merupakan nilai sifat/mutu *hardboard* (secara kuantitatif) yang sudah dibakukan (*standardized*) menjadi nilai tanpa satuan (Tabel 6).

Persamaan diskriminan memiliki indikasi bahwa pulp bambu ampel 100% (Tabel 1 dan 6) paling berkualitas untuk pembuatan *hardboard*, karena nilai diskriminan produk *hardboard*nya paling tinggi. Ini mengisyaratkan bahwa aspek positif sifat dasar bambu ampel dan sifat pengolahan pulp bambu tersebut (antara lain kandungan abu/silika rendah; serat lebih panjang; dan diameter serat, lumen, dan pembuluh lebih besar) mendominasi/mengalahkan aspek negatifnya (antara lain kadar lignin lebih rendah; porsi ekstraktif yang larut dalam alkohol-benzen, air dingin, dan NaOH 1% lebih tinggi; daya tenun dan kelemasan serat lebih rendah; kekakuan serat, bilangan Runkel, bilangan Muhlstep lebih tinggi; dinding serat lebih tebal; dan pulpnya lebih sukar digiling (Tabel 2, 3, dan 4). Hal ini berdasarkan pada sifat *hardboard* dari pulp bambu ampel 100%

Tabel 7. Kristalinitas bambu
Table 7. Bamboo cristalinitas

No.	Jenis bambu (<i>Bamboo species</i>)	Kristalinitas (<i>Crystallinity</i> , %)
1.	Bambu tali (<i>tali bamboo</i>)	35,28
2.	Bambu ampel (<i>ampel bamboo</i>)	34,89

yang paling banyak memenuhi persyaratan JIS (2013) dan ISO (2013) sebagaimana tampak pada Tabel 6. Sedangkan persamaan diskriminan menunjukkan bahwa pulp bambu tali 100% memiliki prospek paling rendah (Tabel 1 dan 6), karena nilai diskriminan produk *hardboard* paling rendah. Dan *hardboard* dari campuran pulp bambu tali + pulp bambu ampel pada proporsi 50% + 50% dan proporsi 25% + 75% (hampir menyamai performa *hardboard* dari pulp bambu ampel 100%). Hal ini juga diperkuat berdasarkan sifat *hardboard* dari kedua proporsi campuran tersebut yang banyak memenuhi persyaratan JIS (2013) dan ISO (2013).

Nilai diskriminan produk *hardboard* yang menggunakan perekat TRF 8% lebih tinggi dari pada nilai diskriminan produk dengan perekat TRF 6%. Selanjutnya, kedua nilai diskriminan tersebut juga lebih tinggi dari pada nilai diskriminan produk *hardboard* kontrol atau tanpa perekat. Nilai ini memperkuat uraian sebelumnya bahwa penggunaan perekat TRF berperan positif terhadap sifat produk *hardboard* yang diuji.

Namun demikian, hasil analisis diskriminan tersebut tidak mendukung hasil telaahan sifat dasar dan sifat pengolahan pulp bahan serat. Hasil telaahan sifat dasar dan sifat pengolahan, dengan menerapkan sistim skor dan total skor hasil manipulasi uji BNJ (Tabel 2, 3, dan 4) mengindikasikan bahwa serat bambu tali lebih berkualitas untuk pembuatan *hardboard* dari pada serat bambu ampel. Namun analisis diskriminan mengisyaratkan hasil sebaliknya (Tabel 6), di mana serat bambu ampel lebih berkualitas untuk *hardboard* dibandingkan serat bambu tali. Penjelasannya adalah telaahan dengan sistim skor (dan total skor) dilakukan dengan memberi bobot yang sama pada setiap aspek (item) pada sifat dasar masing-masing yaitu kerapatan, kadar air, dan komposisi kimia (Tabel 2); dimensi serat dan nilai turunannya (Tabel 3); dan sifat pengolahan pulp (Tabel 4).

D. Hasil Pengujian Skala Nano

Semakin tinggi nilai kristalinitas suatu serat, maka semakin rendah porsi amorfnya, dan semakin banyak porsi rantai selulosa yang berorientasi sejajar sumbu serat dan saling bersentuhan satu terhadap lainnya secara lateral membentuk mikrofibril (TAPPI, 2007). Berdasarkan Almalaika & Csot (1983) dalam Agusnas (2004), kristalinitas merupakan sifat pada polimer yang menunjukkan ikatan antar rantai molekul sehingga menghasilkan susunan yang lebih teratur. Sifat kristalinitas yang tinggi menyebabkan tegangan yang tinggi dan kaku. Hasil pencermatan dengan alat XRD menunjukkan bahwa kristalinitas serat bambu tali sedikit lebih tinggi dari pada kristalinitas serat bambu ampel (Tabel 7). Akan tetapi, lebih tingginya nilai diskriminan produk *hardboard* dari pulp bambu ampel 100% dari pada nilai produk dari pulp bambu tali 100% (Tabel 6) mengindikasikan bahwa kekuatan individu serat bambu dalam kaitan ini tidak atau sedikit-sekali berperan terhadap sifat mekanis *hardboard* yang diuji.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa sifat dasar bahan serat (bambu tali dan bambu ampel), sifat pengolahan pulp, dan sifat fisis-mekanis produk *hardboard*, bahan serat yang paling baik untuk *hardboard* adalah pulp bambu ampel 100%, sedangkan *hardboard* yang memiliki kualitas terendah adalah yang dibuat dari pulp bambu tali 100%. Bahan serat berupa campuran pulp bambu tali + pulp bambu ampel pada proporsi 50%+50% dan 25%+75% berturut-turut menempati urutan sifat *hardboard* terbaik kedua dan ketiga.

Sifat fisis-mekanis *hardboard* yang diberi tambahan bahan perekat TRF 8% lebih baik

dibandingkan dengan TRF 6%. Sifat *hardboard* dengan dengan penambahan perekat TRF lebih baik daripada sifat *hardboard* kontrol (tanpa TRF).

Peningkatan sifat *hardboard* dari bambu tali dapat dilakukan dengan mencampurkan serat pulp bambu jenis ampel dengan porsi $\geq 50\%$ serta penambahan perekat TRF.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih sebesarnya disampaikan pada Bapak Dr. Ir. Han Roliadi, MSc. purna tugas peneliti senior Pusat Litbang Hasil Hutan, Bogor atas segala saran dan informasinya mengenai aspek Teknologi Papan Serat; dan juga pengolahan data terkait aspek statistik publikasi ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Agusnar, H. (2004). Penentuan derajat kristalinitas larutan kitin dengan variasi waktu penyimpanan menggunakan difraksi sinar X (XRD). *Jurnal Sains Kimia*, 8(2), 43-45.
- Apriani, Y. (2010). Kemungkinan pemanfaatan kayu mahang sebagai bahan baku alternatif untuk pulp kertas. *Buletin Hasil Hutan*, 16(2), 141-149.
- Ashaari, Z., Salim, S., Halis, R., Yusof, M. N. M., & Sahri, M. H. (2010). Characteristics of pulp produced from refiner mechanical pulping of tropical bamboo (*Gigantochloa scortechinii*). *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 33(2), 251-258.
- Badan Pusat Statistik. (2014). *Statistik Indonesia*. Jakarta.
- Bennet, C., & Myers, J. (1999). *Momentum, heat, and mass transfer*. 4th edition. New York - London - Toronto: McGraw-Hill Book Co.
- Casey, J. (1980). *Pulp and paper chemistry and technology*. (3rd edition, Vol. I). New York - Brisbane - Toronto: A Wiley-Interscience Publication.
- Fatriasari, W., Damayanti, R., & Anita, S. H. (2013). Fiber qualities of pretreated betung bamboo (*Dendrocalamus asper*) by mixed culture of white-rot fungi with respect to its use for pulp/paper. *Journal of Forestry Research*, 10(2), 95-105. doi: 10.20886/ijfr.2013.10.2.89-99.
- Haygreen, J., & Bowyer, J. (1999). *Forest products and wood science: An introduction*. Ames, Iowa: Iowa State University.
- Hussein, A. S., Ibrahim, K., & Abdulla, K. (2011). Tannin-Phenol Formaldehyde resins as binders for cellulosic fibers: Mechanical properties. *Natural Resources*, 2, 98-101. doi: 10.4236/nr.2011.22013.
- International Organization for Standardization (ISO). (2013). *ISO/DIS 27769-2, Wood-based panels - Wet process fiberboard, part 1: Specification; and ISO (International Standard Organization) /DIS 16895-2 and 27769-1, Wood based panels - Dry process fiberboard and wet process fiberboard: Requirements. SC/TC 89/SC1*. Geneva, Switzerland.
- Japanese Industrial Standard (JIS). (2003). *Particleboards, JIS A 5908:2003*. Tokyo, Japan: Japanese Standards Association (JSA).
- Kollmann, F. F. P., & Côté Jr, W. A. (2012). *Principles of wood science and technology: Solid wood*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-87928-9.
- Kollmann, F. F. P., Kuenzi, E. W., & Stamm, A. J. (1975). *Principle of wood science and technology, (Vol. II) Wood based materials*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Labosky, P., Yobp, R. D., Janowiak, J. J., & Blankenhorn, P. R. (1993). Effect of steam pressure refining and resin levels on properties of UF-bonded red maple MDF. *Forest Products Journal*, 43(11/12), 82-87. doi: 10.13073/0015-7473-60.2.173.
- Morrison, D. (2003). *Multivariate statistical methods. (2nd edition)*. New York - London - Tokyo - Toronto: McGraw-Hill Book Co.
- Nurrani, L. (2012). Pemanfaatan batang pisang (*Musa* sp.) sebagai bahan baku papan serat dengan perlakuan termo-mekanis. *Penelitian Hasil Hutan*, 30(1), 1-9. doi: 10.20886/jphh.2012.30.1.1-9.

- Ott, R. (1994). *An introduction to statistical methods and data analysis*. Belmont, CA. USA: Duxbury Press.
- Santoso, A. (2011). Tanin dan lignin dari *Acacia mangium* Willd sebagai bahan perekat kayu majemuk masa depan. Dalam *Orasi Pengukuban Profesor Riset Bidang Pengolahan Hasil Hutan*, Jakarta, 25/10/2011 Kementerian Kehutanan - LIPI, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Kementrian Kehutanan.
- Saptadi, D. (2009). Kualitas papan isolasi dari campuran kayu mangium dan arang. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 27(4), 291-302. doi: 10.20886/jphh.2009.27.4.291-302.
- Silitonga, T., Siagian, R. M., & Nurachman, A. (1972). Cara pengukuran dimensi serat kayu dan bahan berligno-selulosa lain di Lembaga Penelitian Hasil Hutan (LPHH). *Publikasi Khusus No. 12*. Bogor: Lembaga Penelitian Hasil Hutan.
- Sjostrom, E. (2002). *Wood chemistry: Fundamentals and applications*. New York - London - Toronto - Tokyo: Academic Press, Inc.
- Smook, G. (2002). *Handbook for pulp and paper technologists*. Atlanta, Georgia: Joint Textbook Committee of the Paper Industry.
- Statistical Analysis System. (1997). *Guide for personal computers, (6th edition)*. Cary, NC. 27512-8000: SAS Institute Inc.
- Suchsland, O., & Woodson, G. E. (1986). *Fiberboard manufacturing practices in the United States*. USA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, University of Virginia.
- Sulastiningsih, I. M., & Santoso, A. (2012). Pengaruh jenis bambu, waktu kempa dan perlakuan pendahuluan bilah bambu terhadap sifat papan Bambu Lamina. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 30(3), 199-207. doi: 10.20886/jphh.2012.30.3.199-207.
- Sulthoni, A. (1994). *Permasalahan sumber daya bambu di Indonesia. Strategi penelitian bambu Indonesia*. Bogor: Yayasan Bambu Lingkungan Lestari.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). (2007). *TAPPI test method*. Atlanta, Georgia: TAPPI Press.
- Tsoumi, G. (1993). *Science and technology of wood: structure, properties, and utilization*. New York: Van Nostrand Reinhold Co.