

## **PENYEMPURNAAN SIFAT PAPAN SERAT BERKERAPATAN TINGGI DARI CAMPURAN RUMPUT GELAGAH, TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT, DAN BAMBU**

***(Properties Improvement of Hardboard Made of Mixed Fibrous Materials:  
Saccharum spontaneum Grasses, Empty Oil-palm Bunches, and Bamboo)***

**Dian Anggraini Indrawan<sup>1</sup>, Han Roliadi<sup>1</sup>, Rossi Margareth Tampubolon<sup>1</sup>,  
Gustan Pari<sup>1</sup>, Adi Santoso<sup>1</sup>, & Mohamad Iqbal<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan

Jl. Gunung Batu No. 5, Bogor 16610, Telp. 0251-8633378, Fax. 0251-8633413

<sup>2</sup> Pusat Penelitian dan Pengembangan Sosial, Ekonomi, Kebijakan dan Perubahan Iklim

Jl. Gunung Batu 5, Bogor 16610, Tlp. (0251) 86339, Fax. (0251) 8634924

E-mail: elisabeth\_dian@yahoo.com

Diterima 29 Desember 2014, Direvisi 6 April 2015, Disetujui 15 April 2015

### **ABSTRACT**

*Laboratory-scale manufactured hardboard made of Saccharum Spontaneoun Grasses (SSG), Empty Oil-palm Bunches (EOPB), and andong bamboo is potentially developed. However, initial experiment shows the hardboard did not meet Japanese Industrial Standard (JIS) and International Standard Organization (ISO) for hardboard. This paper observes modification of the hardboard to satisfy the standards. Modification includes adding alkali concentration during pulp cooking and changing the additives composition. Result shows modification can enhance the hardboard quality to satisfy JIS and ISO requirements. Fiber mixture of SSG pulp and andong/betung bamboo pulp was cooked in 10.5% alkali concentration; and 12% alkali concentration for EOPB pulp. Additives composition used were tannin-resorcinol-formaldehyde/TRF adhesive, alum, and activated charcoal; without wax emulsion. The mixture of SSG pulp (50%) + EOPB pulp (50%) was the most prospective for hardboard, followed by SSG pulp (100%) solely; SSG pulp (50%) + andong bamboo pulp (50%); and SSG pulp (50%) + betung bamboo pulp (50%) as the lowest prospects. The least-prospective fibrous material (betung bamboo) are expectedly be improved by using more TRF adhesive, nano-size activated charcoal and cross-linking agents.*

*Keywords: Hardboard, Saccharum Spontaneoun Grasses (SSG), Empty Oil-palm Bunches (EOPB), bamboo, modification*

### **ABSTRAK**

Papan serat *hardboard* (HB) dari campuran Rumput Gelagah (RG), Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan bambu andong berpotensi untuk dikembangkan. Namun, percobaan pendahuluan menunjukkan HB tersebut tidak memenuhi persyaratan produk HB dari *Japanese Industrial Standard* (JIS) dan *International Standard Organization* (ISO). Tulisan ini mempelajari modifikasi pembuatan HB agar memenuhi standar produk tersebut. Modifikasi yang dilakukan meliputi penambahan konsentrasi alkali dalam pemasakan pulp dan merubah komposisi perekat. Hasil penelitian menunjukkan kualitas HB modifikasi meningkat dan mampu memenuhi persyaratan standar JIS dan ISO. Campuran serat pulp RG dan bambu andong/betung dimasak dengan konsentrasi alkali 10,5% dan 12% untuk serat dari TKKS. Campuran perekat yang digunakan adalah tannin-resorsinol-formaldehida (TRF), alum (tawas) dan emulsi lilin. Campuran serat yang paling banyak memenuhi standar adalah RG pulp (50%) + TKKS pulp (50%), diikuti RG pulp (100%), TKKS pulp (50%) + pulp bambu andong (50%), RG pulp (50%) + pulp bambu betung (50%). Serat yang masih kurang prospektif (bambu betung) diharapkan dapat

diperbaiki melalui penggunaan perekat TRF dalam jumlah lebih banyak, arang aktif berukuran nano dan *cross-linking agent*.

Kata kunci: *Hardboard*, Rumput Glagah (RG), Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), bambu, modifikasi

## I. PENDAHULUAN

Di Indonesia bahan serat konvensional untuk pulp dan produk turunannya (termasuk *hardboard*/HB) berasal dari kayu hutan alam, di mana saat ini potensinya semakin terbatas dan langka (KOMPAS, 2012; Departemen Kehutanan, 2013; BPS, 2013). Atas dasar itu, perlu dipikirkan pemanfaatan bahan serat alternatif non-kayu untuk HB yang potensinya berlimpah dan belum banyak dimanfaatkan, seperti rumput gelagah (RG), tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan bambu (KOMPAS, 2014).

Pada tahun 2013, Pusat Litbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan (P3KKPHH, Bogor) telah melakukan percobaan pembuatan papan HB dari campuran bahan serat (bentuk pulp) yaitu pulp rumput gelagah (RG) + pulp tandan kosong kelapa sawit (TKKS) + pulp bambu andong, pada berbagai proporsi (Anggraini, Roliadi, Tampubolon, Pari & Santoso 2013). Bahan aditif yang digunakan pada percobaan 2013 berkomposisi perekat tanin formaldehida (TF) + tawas + emulsi lilin. Hasil penelitian mengindikasikan penggunaan serat RG paling prospektif; sedangkan penggunaan serat TKKS menimbulkan masalah pada pembentukan lembaran HB yang diduga masih terdapat sisa lemak/minyak, sehingga berpengaruh negatif pada sifat terutama kekuatannya. Di samping itu, sebagian besar sifat fisis-mekanis produk HB tidak memenuhi persyaratan standar JIS A 5905 (2003) dan ISO (2013).

Pada penelitian ini dilakukan kegiatan penyempurnaan sifat HB antara lain dengan rekayasa teknologi pengolahan ketiga macam bahan serat tersebut (RG, TKKS dan bambu andong), introduksi serat alternatif lain (bambu betung), dan perubahan komposisi bahan aditif, antara lain penggunaan perekat tanin-resorsinol formaldehida (TRF) dan arang aktif. Indikator untuk mengetahui tingkat keberhasilan penelitian ini adalah dengan melakukan pencermatan secara

rinci terhadap seluruh aspek (sifat bahan baku serat, sifat pengolahan pulp dengan proses semikimia soda panas terbuka dan sifat fisis-mekanis produk). Penelitian ini bertujuan untuk menemukan komposisi terbaik dari modifikasi campuran bahan serat maupun bahan aditif yang digunakan untuk menghasilkan HB berkualitas baik, sehingga nantinya dapat menjadi informasi yang berguna bagi para stakeholders, khususnya pelaku industri kecil menengah (IKM) yang terkait dengan penerapan teknologi papan serat berindikasi ramah lingkungan.

## II. BAHAN DAN METODE

### A. Bahan dan Alat

Sumber serat yang digunakan adalah rumput gelagah/RG (*Saccharum spontaneum*), tandan kosong kelapa sawit (TKKS), bambu. TKKS berasal dari pohon induk kelapa sawit (*Elaeis guineensis*). Bambu terdiri dua macam yaitu bambu andong (*Gigantochloa pseudoarundinaceae*) dan bambu betung (*Dendrocalamus asper*). Jenis bambu andong, TKKS, dan RG sudah digunakan pada percobaan pembuatan HB sebelumnya (tahun 2013) (Anggraini et al., 2013). Keseluruhan contoh bahan serat diambil dari Provinsi Banten, Provinsi Jawa Barat dan Provinsi Jawa Tengah. Bahan kimia pemasak yang digunakan adalah soda api (NaOH). Sedangkan untuk pembentukan lembaran papan serat digunakan bahan aditif berupa tawas, perekat TRF dan arang aktif.

Peralatan yang digunakan untuk pembuatan papan serat skala kecil adalah ketel pemasak hasil rekayasa P3KKPHH, bak pencuci serpih hasil pemasakan dan *Hollander beater*. Pembentukan lembaran papan serat menggunakan cetakan papan serat (*fiberboard-mat former/deckle box*), *stock chest* (*headbox*), dan mesin pengempa dingin dan panas. Peralatan yang digunakan untuk pengujian sifat fisis-mekanis papan serat adalah *universal testing machine* (UTM), dan mencermati karakteristik serat secara individu dan ikatan/jalinan/

anyaman antar serat menggunakan alat/instrument berkemampuan nano yaitu X-ray diffraction (XRD).

## B. Metode Penelitian

### 1. Pembuatan pulp dari bahan serat

#### a. Penyiapan serpih RG, serpih TKKS, dan serpih bambu

Bahan serat RG, TKKS dan bambu (andong/betung) secara terpisah dan secara manual dijadikan serpih berukuran panjang 2-3 cm, lebar 2-2,5 cm, dan tebal 2-3 mm, lalu dikeringkan di tempat terbuka (di bawah atap) hingga mencapai kadar air kering udara, kemudian serpih kering tersebut siap dimasak menjadi pulp.

#### b. Pemasakan serpih bahan serat menjadi pulp

Masing-masing serpih RG, TKKS dan bambu (andong dan betung) secara terpisah diolah menjadi pulp menggunakan proses semi-kimia soda (NaOH) panas terbuka, dalam ketel pemasak berkapasitas (per *batch*) 1000 gram serpih (khusus kayu) kering oven. Kondisi tetap pemasakan adalah nilai banding bahan baku serat dengan larutan pemasak sebesar 1:8 (b/v) (Anggraini et al., 2013), dan suhu maksimum pemasakan (100°C) selama 2 jam. Pada pemasakan serpih RG dan bambu (andong/betung) hanya digunakan 1 taraf konsentrasi alkali (10,5%) (digunakan berdasarkan hasil percobaan 2013 di mana dari dua konsentrasi alkali yaitu 9,0% dan 10,5% untuk RG dan bambu andong, ternyata sifat fisis/kekuatan hardboard pada konsentrasi 10,5% lebih baik (Anggraini et al., 2013)). Selanjutnya untuk pemasakan serpih TKKS, konsentrasi alkali juga hanya 1 taraf yaitu 12,0% (konsentrasi alkali lebih tinggi (12,0%) bertujuan lebih mengintensifkan pelarutan lemak/minyak pada TKKS melalui reaksi saponifikasi, hasil percobaan tahun 2013 yang menggunakan konsentrasi alkali lebih rendah diduga masih banyak menyisakan lemak/minyak).

Serpih lunak hasil pencucian selanjutnya di-defibrasi hingga menjadi serat-serat terpisah (pulp) pada alat *Hollander beater* pada konsistensi 3-4% selama satu jam, derajat kehalusan pulp diperiksa. Penggilingan dilanjutkan hingga pulp mencapai derajat kehalusan 600-700 ml CSF (12-15°SR) (Casey, 1980; ISO, 2013), dan total waktu giling yang diperlukan dicatat. Pulp yang diperoleh selanjutnya diturunkan kadar airnya menggunakan alat

sentrifuse, lalu ditentukan rendemennya. Tiap pulp yang diperoleh (RG, TKKS dan bambu andong/betung) saling dicampur pada proporsi tertentu (Tabel 1) untuk pembentukan lembaran HB.

### 2. Pembentukan lembaran papan serat tipe HB

Campuran serat (pulp RG + pulp TKKS + pulp bambu andong + pulp bambu betung) untuk HB terdiri dari 4 macam proporsi (Tabel 1) yaitu berturut-turut 100+0+0+0 (p1); 50+50+0+0 (p2); 50+0+50+0 (p3); pulp bambu andong); 50+0+0+50 (p4). Selanjutnya, campuran dari tiap proporsi disuspensikan dengan media air hingga mencapai konsistensi 3-4% pada alat penggiling serat *Hollander beater* berskala semi-pilot dan kemudian dilakukan sirkulasi hingga terbentuk suspensi pulp-air yang homogen. Sambil terus disirkulasi, pada suspensi ditambahkan bahan aditif berupa alum (tawas) sebanyak 3%, bahan perekat tanin resorsinol formaldehida (TRF) 5% dan arang aktif 4%. Arang aktif tersebut merupakan hasil karbonisasi tempurung kelapa dilanjutkan dengan proses aktivasi (menggunakan uap *superheated* pada suhu 600°C selama 60 menit).

Papan HB pembanding (kontrol) dibuat dengan suspensi pulp-air dari tiap proporsi (p1-p4), tanpa aditif (Tabel 1). Pada suspensi kontrol ditambahkan tawas 3% dan dilakukan sirkulasi hingga campuran homogen, kemudian bahan serat dari tiap proporsi campuran, baik dengan aditif atau tanpa (kontrol) (Tabel 1) dibentuk menjadi lembaran HB (target kerapatan 1 g/cm<sup>3</sup>) dengan cara basah menggunakan alat *deckle box*. Sesudah lembaran terbentuk, dilakukan pengempaan dingin (suhu kamar, tekanan 5 kg/cm<sup>2</sup>), dilanjutkan dengan perlakuan panas selama 30 menit dan pengempaan panas (suhu 170°C, tekanan 30 kg/cm<sup>2</sup>, selama 10 menit). Lembaran HB selanjutnya dikondisikan pada ruang bersuhu (20±2)°C dan berkelembaban (65±5)% selama 24 jam, dan kemudian siap diuji sifat fisis dan mekanisnya (JIS A 5905, 2003).

Penentuan komposisi dan proporsi bahan serat (bentuk pulp) RG, TKKS dan bambu (andong dan betung) dengan notasi p1-p4 (Tabel 1) diharapkan dapat menghasilkan HB dengan kualitas baik. Adapun komposisi bahan serat pada penelitian ini yaitu campuran pulp dari RG (50%) + pulp TKKS (50%), RG (100%), campuran pulp RG (50%) + pulp bambu andong (50%) dan campuran pulp RG (50%) + pulp bambu betung (50%).

**Tabel 1. Komposisi dan proporsi bahan serat dan bahan aditif untuk pembentukan hardboard (HB)**

**Table 1. Composition and proportion of fiber stuffs and additives for the forming of hardboard (HB) mat**

Notasi/ Notation (P)	Bahan serat (bentuk pulp)/macam dan proporsi campuran <i>Fiber stuffs</i> (pulp form/kind and mixture proportion (%)*)				Konsentrasi alkali (Alkali concentration) (%)	Aditif (Additives)
	RG	TKKS	Bambu andong /(Andong bamboo)	Bambu betung/ (Betung bamboo)		
P1	100	0	0	-	N	K
	100	0	0	-	N	W
P2	50	50	0	-	N	K
	50	50	0	-	N	W
P3	50	0	50	-	N	K
	50	0	50	-	N	W
P4	50	0	-	50	N	K
	50	0	-	50	N	W

Keterangan (Remarks): \*)dasar berat kering (b/b)/based on oven-dry weight (w/w); RG = rumput gelagah (*Saccharum spontaneum* grasses/SSG); TKKS = tandan kosong kelapa sawit (empty oil-palm fruit bunches/EOPB); N = menggunakan konsentrasi alkali 10,5% untuk pengolahan pulp/Using 10,5% alkali concentration for the pulping of: RG dan/and bambu (andong/betung); N = menggunakan konsentrasi alkali 12% untuk pengolahan pulp TKKS (tandan kosong kelapa sawit) / Using 12% alkali concentration for the pulping of EOPB (empty oil-palm bunches); TRF = perekat/adhesive tannin-resorcinol-formaldehyde; K = Kontrol (Control), tetapi ditambahkan/but added with tawas/alum (3%); W = Dengan aditif (With additives), terdiri dari (consisted of ) TRF (5%) + tawas/alum (4%) + arang aktif/activated charcoal (4%). Pada percobaan tahun 2013 (Anggraini et al., 2013), proporsi campuran bahan serat serupa dengan notasi p1-p4, tetapi tidak melibatkan serat bambu betung; macam/komposisi aditif adalah perekat TF (4%) + tawas (3%) + emulsi lilin (5%), tanpa arang aktif; untuk kontrol (tanpa aditif): tawas tidak digunakan/ In the previous experiment (2013), mixture proporsion of fibrous stuffs comprised TF adhesive (4%) + alum (3%) + wax emulsion (5%), without activated charcoal; for control (without additives), alum was not used

### C. Pengujian

#### 1. Sifat dasar bahan baku

Pemeriksaan terhadap sifat dasar bahan baku serat (RG, TKKS dan bambu andong/betung) mencakup kadar air, kerapatan, dimensi serat dan nilai turunannya, serta analisa komponen kimia.

##### a. Kadar air, kerapatan dan komposisi kimia

Pemeriksaan kadar air, kerapatandan analisis komposisi kimia bahan serat dilakukan menurut Standar TAPPI (2010). Komposisi tersebut mencakup kadar 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 (RG, TKKS, dan bambu) dan nilai turunannya dilakukan menurut Prosedur Lembaga Penelitian Hasil Hutan

(Silitonga et al., 1972 dalam Apriani, 2010). Pemeriksaan mencakup panjang serat, diameter serat dan diameter lumen, tebal dinding serat, bilangan Runkel, bilangan Muhlstep, daya tenun, koefisien kekakuan dan kelemasan (koefisien fleksibilitas) serat.

##### 2. Sifat pemasakan (pengolahan) pulp

Pengujian tersebut mencakup rendemen pulp, konsumsi alkali, derajat kehalusan pulp awal (ml CSF), dan waktu mencapai derajat giling mencapai 600-700 ml CSF (12-15°SR), yang juga dilakukan menurut standar TAPPI (2010).

##### 3. Pengujian lembaran papan HB

###### a. Pengujian sifat fisis dan mekanis

Pengujian sifat fisis dan mekanik HB mengacu pada standar JIS (JIS A 5905, 2003) yang mencakup kerapatan riil, keteguhan lentur (MOE), modulus patah (MOR), kadar air, daya

serap air, pengembangan tebal, keteguhan rekat (*internal bonding*/IB), daya hantar panas (ketahanan panas) dan emisi formaldehida.

#### 4. Evaluasi/pencermatan pada skala nano

Evaluasi/pencermatan dilakukan terhadap bahan baku serat (RG, TKKS, dan bambu) dan produk jadi (HB) sebagai pelengkap data/informasi yang diperoleh dari hasil pengujian secara konvensional dengan menggunakan instrumen berkemampuan nano yaitu XRD (*X-ray diffraction*).

### D. Rancangan Percobaan dan Analisis Data

#### 1. Sifat dasar

Data sifat dasar bahan serat (berat jenis, kadar air, komposisi kimia, dimensi serat dan nilai turunannya) ditelaah dengan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) satu faktor (Ott, 1994). Sebagai faktor adalah macam bahan serat yaitu RG (s1), TKKS (s2), serat bambu andong (s3), dan serat bambu betung (s4). Pengamatan (ulangan) terhadap sifat masing-masing bahan serat dilakukan sebanyak 5 kali.

#### 2. Sifat pengolahan pulp

Penelaahan data sifat pemasakan (pengolahan) pulp untuk tipe HB, juga digunakan RAL satu faktor. Sebagai faktor (perlakuan) adalah macam bahan serat (S) yaitu RG (s1), TKKS (s2), bambu andong (s3), dan bambu betung (s4). Pengolahan pulp RG adalah pemasakan pada konsentrasi alkali 10,5% (s1); pulp TKKS pada konsentrasi 12% (s2) dan pulp bambu (andong dan betung) hanya pada satu taraf konsentrasi alkali (10,5%) dengan notasi berturut-turut s3, dan s4. Setiap taraf (macam bahan serat dan taraf konsentrasi alkali) diulang sebanyak 5 kali.

#### 3. Sifat fisis-mekanis HB

Data sifat fisis-mekanis ini adalah hasil pengujian HB yang dibentuk dari campuran pulp RG, pulp TKKS dan pulp bambu (andong dan betung) pada berbagai proporsi (P; dengan notasi p1-p4) (Tabel 1). Data tersebut ditelaah dengan RAL faktorial (Ott, 1994). Sebagai faktor adalah komposisi campuran bahan serat (bentuk pulp) (P) bernotasi p1-p4 tersebut (Tabel 7); dan faktor lainnya penggunaan aditif yang terdiri (A) dari 2 taraf yaitu campuran alum (4%) + perekat TRF (5%) + arang aktif (4%) (a1); dan kontrol/tanpa aditif, tetapi tetap dengan tawas (4%) (a0). Setiap

taraf dari kombinasi kedua faktor tersebut (P dan A) diulang sebanyak 5 kali.

Untuk ilustrasi, hardboard hasil tahun 2014 tersebut, perlu dibandingkan dengan hasil tahun 2013 (Anggraini et al., 2013), dengan mengevaluasi data sifat hardboard percobaan pada tahun tersebut. Evaluasi tersebut menerapkan rancangan acak berblok (Ott, 1990). Sebagai blok adalah penerapan teknologi tahun 2014 terhadap 2013. Teknologi tahun 2014 adalah proporsi campuran bahan serat dan penggunaan aditif. Proporsi campuran serat mencakup pulp RG (alkali 10.5%) + pulp TKKS (alkali 12.0%) + pulp bambu andong (alkali 10.5%) (notasi p1-p4; Tabel 1). Penggunaan aditif mencakup kontrol dan dengan aditif. Pada hardboard kontrol (tanpa-aditif), tawas tetap digunakan; sedangkan pada hardboard dengan-aditif, macam dan komposisi aditif adalah perekat TRF + tawas + arang aktif, tanpa emulsi lilin. Pada teknologi tahun 2013, proporsi campuran serat mencakup pulp RG + pulp TKKS + pulp bambu andong (masing-masing seluruhnya berkonsentrasi alkali 10.5%) (Tabel 1). Pada tahun 2013, aditif juga terdiri dari kontrol dan dengan aditif. Pada kontrol tersebut tidak digunakan alum; sedangkan yang dengan aditif, macam/komposisi aditifnya adalah perekat TF + tawas + emulsi lilin (tanpa arang aktif).

Untuk memperoleh indikasi lebih meyakinkan, bahan serat mana yang terbaik untuk HB (secara individu (RG, TKKS, serat bambu (andong/betung) ataupun komposisi campuran); bagaimana peranan aditif; dan perubahan konsentrasi alkali (Tabel 1), maka dilakukan telaahan lebih lanjut pada sifat dasar, sifat pengolahan pulp dan sifat produk HB dilakukan dengan analisis diskriminan berikut koefisien determinasi kanonik (Morrison, 2003; SAS, 2007).

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Sifat Dasar Bahan Serat

#### 1. Kadar air, kerapatan, dan komposisi kimia

Analisis keragaman terhadap kadar air, kerapatan dan komposisi kimia menunjukkan bahwa macam bahan serat (TKKS, RG, dan bambu berpengaruh nyata (Tabel 2 dan 3). Kerapatan bambu paling tinggi, diikuti berturut-turut oleh RG dan TKKS (terendah). Rendahnya

**Tabel 2. Analisis keragaman terhadap kerapatan dan komposisi kimia bahan serat berligno selulosa**

**Table 2. Analysis of variance on density and chemical composition of ligno-cellulosic fibrous stuffs**

Kerapatan dan komposisi kimia (Density and chemical composition)	Sumber keragaman / db (Sources of variation / df)			F-hit (F-calc)	P	Y	KK (%)	D0,05
	Total	Perlakuan / Treatment (T)	Galat (Error)					
Kadar air (Moisture content), %	19	3	16	5,94	*	6,805	8,23	1,298
Kerapatan (Density), g/cm <sup>3</sup>	19	3	16	18,97	**	0,383	6,42	0,0392
α-elulosa, %	19	3	16	34,18	**	53,532	9,21	2,29
Pentosan, %	19	3	16	5,97	*	17,088	5,34	1,671
Lignin, %	19	3	16	5,79	*	27,124	7,32	4,942
Abu (Ash), %	19	3	16	31,24	**	4,216	7,29	1,3189
Silika, %	19	3	16	12,92	**	0,836	6,73	0,2870
Kelarutan dalam alkohol-benzen (Solubility in alcohol-benzena), %	19	3	16	13,68	**	6,466	4,32	0,5891
Kelarutan dalam air dingin (Solubility in cool water), %	19	3	16	19,24	**	5,88	4,78	1,876
Kelarutan dalam air panas (Solubility in hot water), %	19	3	16	54,23	**	8,914	9,62	1,62
Kelarutan dalam NaOH 1% (Solubility in 1% NaOH), %	19	3	16	11,33	**	19,806	9,34	1,752

Keterangan (Remarks): T = Macam bahan serat berligno-selulosa (Kind of ligno-cellulosic fiber stuffs); db/df = derajat bebas / degrees of freedom; \* = P = Peluang (Probability); Y = Rata-rata keseluruhan (Overall means); nyata pada taraf (Significant at) 5% ; \*\* = nyata pada (Significant at) 1%; tn = tak nyata (Not significant); KK = koefisien keragaman (Coeff. of variation); D0,05 = nilai kritis uji jarak beda nyata jujur Tukey pada taraf (Critical value of the Tukey's honestly significant differencet range test at) 5%.

kerapatan diduga terkait dengan banyaknya porsi jaringan parenkhim, bahan ekstraktif (sisa lemak/minyak), dan bahan lain bukan penyusun dinding serat (Casey, 1980; Saupe, 2011). Sebaliknya, tingginya kadar bahan penyusun serat (lignin) terindikasi berhubungan erat dengan paling tinginya kerapatan bambu (Dransfield & Widjaja, 1995; Smook, 2002). Bambu andong menunjukkan kadar air tertinggi, diikuti oleh TKKS, bambu betung, dan rumput gelagah (paling rendah). Kadar air rendah diduga terkait dengan rendahnya kandungan pentosan (bersifat polar) dan tingginya kandungan senyawa kurang polar (hidrofobik) seperti lemak/minyak (diindikasikan dengan tingginya kelarutan dalam NaOH 1%). Hal tersebut terjadi pada rumput gelagah dan TKKS. Sebaliknya, kadar air tinggi diduga terkait dengan tingginya kadar pentosan dan rendahnya kadar lignin (kurang polar), sebagaimana diindikasikan pada bambu (andong) (TAPPI, 2010). Kadar air dan kerapatan bahan serat tinggi tidak dikehendaki sebab lebih mudah terdegradasi (hidrolisis), meningkatkan bobotnya, dan mempertinggi kebutuhan energi pengolahannya menjadi pulp (Casey, 1980).

Kadar abu tertinggi terdapat pada TKKS dan terendah pada bambu andong; sedangkan kadar silika tertinggi pada rumput gelagah (terendah pada bambu andong) (Tabel 2 dan 3). Kadar abu dan silika tinggi tak dikehendaki karena cepat mempertumpul peralatan logam, mengganggu ikatan/anyaman antara serat saat pembentukan lembaran hardboard sehingga menurunkan sifat fisis-mekanismya (Suchsland & Woodson, 1986). Kadar selulosa tertinggi adalah pada rumput gelagah, disusul oleh TKKS, dan bambu. Bambu menunjukkan kadar lignin tertinggi, diikuti oleh TKKS dan rumput gelagah (keduanya saling tak berbeda nyata). Kadar pentosan tertinggi pada bambu (andong), sedangkan terendah pada rumput gelagah. (Tabel 3). Kadar selulosa, lignin, dan pentosan tinggi dikehendaki untuk papan serat. Selulosa merupakan salah satu penyusun bahan serat, sedangkan lignin berperan sebagai pengikat (perekat) alami antar serat pada *hardboard*, dan pentosan memudahkan proses penggilingan serat pulp sehingga tak mudah rusak pada perlakuan mekanis. Sebaliknya kandungan tinggi bahan penyusun bukan-serat (jaringan parenkhim, lemak/minyak, dan karbohidrat) tak

**Tabel 3. Hasil uji jarak beda nyata jujur Tukey terhadap kerapatan dan komposisi kimia bahan serat - dinyatakan dalam mutu dan skor \*)**

**Table 3. Results of Tukey's honestly significant difference range test on density and chemical composition of fibrous stuffs – expressed in grades and scores \*)**

Kerapatan dan komposisi ( <i>Density and composition</i> )	Aspek ( <i>Items</i> )	Macam bahan serat ( <i>Kind of fibrous stuffs</i> )			
		TKKS ( <i>EOPB</i> )	RG ( <i>SSG</i> )	Bambu andong ( <i>Andong bamboo</i> )	Bambu betung ( <i>Betung bamboo</i> )
Kadar air ( <i>Moisture content</i> ), %	M	6,11	4,72	7,74	5,70
	G	C	D	B	CD
	S	3	4	2	3,5
Kerapatan ( <i>Density</i> ), g/cm <sup>3</sup>	M	0,1333	0,2016	0,7272	0,6824
	G	C	D	B	A
	S	4	3	2	1
$\alpha$ -selulosa, %	M	56,24	58,83	50,74	48,37
	G	B	A	D	E
	S	4	5	2	1
Pentosans, %	M	15,75	15,08	18,91	17,65
	G	BC	C	A	B
	S	2,5	2	4	3
Lignin, %	M	26,29	25,68	32,61	32,23
	G	B	B	A	A
	S	3	3	4	4
Abu ( <i>Ash</i> ), %	M	6,19	5,77	2,40	4,14
	G	A	B	D	C
	S	1	2	4	3
Silika ( <i>Silica</i> ), %	M	0,97	1,70	0,71	0,73
	G	B	A	C	C
	S	2	1	3	3
Kelarutan dalam alkohol-benzen ( <i>Solubility in alcohol-benzena</i> ), %	M	19,67	2,91	4,81	2,72
	G	A	C	B	CD
	S	1	3	2	3,5
Kelarutan dalam air dingin ( <i>Solubility in cool water</i> ), %	M	7,02	10,65	2,54	4,66
	G	B	A	C	BC
	S	2	1	3	2,5
Kelarutan dalam air panas ( <i>Solubility in hot water</i> ), %	M	7,56	11,25	4,32	15,50
	G	C	B	E	A
	S	3	2	5	1
Kelarutan dalam NaOH 1% ( <i>Solubility in 1% NaOH</i> ), %	M	19,92	30,13	17,11	16,86
	G	B	A	BC	C
	S	2	1	2,5	3
	<b>TS</b>	27,5	27,0	33,5	27,0

Keterangan (*Remarks*): M = Rata-rata dari 5 ulangan (*Average of 5 replications*); TKKS = tandan kosong kelapa sawit / EOPB = *empty oil-palm bunches*; RG = rumput gelagah / SSG = *Saccharum spontaneum grasses* \*) Untuk nilai D0,05 (*For D0.05 values*), lihat Tabel sebelumnya (*Please refer to the previous Table*); Angka (dalam kolom M) yang diikuti secara vertikal oleh huruf sama (kolom G) dan skor (kolom S) yang sama tak berbeda nyata / *Figures (in row M) followed vertically by the same letters (row G) are not significantly different*: A > B > C > D; TS = Total skor (Total score) = S1 + S2 + S3 + ..... + Sn

dikehendaki (diindikasikan pada tingginya kelarutan dalam pelarut non-polar, kurang polar, dan polar), karena antara lain mengkonsumsi banyak bahan kimia pemasak (*pulping*) dan juga menurunkan sifat fisis-mekanis produk papan serat (Casey, 1980; Smook, 2002).

Berdasarkan total skor (hasil manipulasi uji BNJ) di mana masing-masing karakteristik sifat dasar (baik dikehendaki atau tak-dikehendaki) yaitu kerapatan, komposisi kimia yang dibobot sama (Tabel 3), serat bambu andong memiliki total skor tertinggi (TS = 33,5), TKKS (TS = 27,5), hingga serat rumput gelagah dan bambu betung (TS = 27,0; terendah). Dengan demikian atas dasar ini, serat bambu andong berindikasi

paling berprospek untuk *hardboard*, sedangkan serat rumput gelagah paling rendah prospeknya.

## 2. Dimensi serat dan nilai turunannya

Analisis keragaman terhadap dimensi serat dan nilai turunannya menunjukkan bahwa perbedaan macam bahan serat juga berpengaruh nyata (Tabel 4). Penelaahan lebih lanjut (Uji BNJ) menunjukkan serat berdimensi terpanjang dan berdiameter terbesar adalah bambu betung, sedangkan serat terpendek pada TKKS dan diameter terkecil pada sisal dan TKKS. Diameter lumen terbesar juga pada bambu betung, diikuti berturut-turut oleh TKKS, bambu andong, dan akhirnya TKKS (Tabel 5). Paling besarnya

**Tabel 4. Analisis keragaman terhadap dimensi serat dan nilai turunannya bahan serat berlignoselulosa**

**Table 4. Analysis of variances on fiber dimensions and their derived values for ligno-cellulosic fibrous stuffs**

Dimensi serat dan nilai turunannya ( <i>Fiber dimensions and their derived values</i> )	Sumber keragaman / db ( <i>Sources of variation / df</i> )			F-hit ( <i>F-calc</i> )	P	Y	KK (%)	D0,05
	Total	Perlakuan / Treatment (T)	Galat ( <i>Error</i> )					
Panjang serat ( <i>Fiber length</i> ), L (µm)	39	3	36	17,32	**	2298,56	6,3214	157,82
Diameter serat ( <i>Fiber diameter</i> ), D (µm)	39	3	36	7,23	*	25,934	5,1165	1,312
Diameter lumen ( <i>Lumen diameter</i> ), l (µm)	39	3	36	13,68	**	16,564	7,1324	1,085
Tebal dinding serat ( <i>fiber-wall thickness</i> ), w (µm)	39	3	36	17,41	**	4,685	9,2772	0,5498
Daya tenun, ( <i>Felting power</i> ), L/d	39	3	36	9,32	**	80,55	6,4891	6,175
Bilangan Runkel ( <i>Runkel ratio</i> ), 2w/l	39	3	36	10,83	**	0,608	7,1298	0,047
Koef. fleksibilitas ( <i>Flexibility coeff</i> ), l/d	39	3	36	21,34	**	0,634	4,4433	0,048
Koef. kekakuan ( <i>Rigidity coeff</i> ), w/d	39	3	36	8,95	**	0,182	7,5312	0,021
Bilangan Muhlstep ( <i>Muhlstep number</i> ), $100 \cdot [(d^2 - l^2) / d^2]$ , %	39	3	36	11,74	**	59,012	5,1221	2,313

Keterangan (*Remarks*): T = Macam bahan serat berligno-selulosa (*Kind of ligno-cellulosic fiber stuffs*); db/df = derajat bebas / degrees of freedom; P = Peluang (*Probability*); Y = Rata-rata keseluruhan (*Overall means*); \* = nyata pada taraf (*Significant at*) 5% ; \*\* = nyata pada (*Significant at*) 1%; tn = tak nyata (*Not significant*); KK = koefisien keragaman (*Coeff. of variation*); D0,05 = nilai kritis uji jarak beda nyata jujur Tukey pada taraf 5% (*Critical value of the Tukey's honestly significant differencet range test at 5%*).

diameter lumen dan serat bambu betung dibandingkan bambu andong, terindikasi berkaitan dengan lebih rendahnya kerapatan bambu betung dibandingkan bambu andong (Tabel 3) (Apriani, 2010). Selanjutnya, dinding serat paling tebal adalah pada bambu betung (paling tipis pada TKKS dan rumput gelagah). Serat bambu betung menunjukkan daya tenun tertinggi, diikuti oleh bambu andong, rumput gelagah, hingga TKKS (terendah). Bilangan Muhlstep tertinggi pada bambu andong (terendah pada TKKS), sedangkan koefisien kekakuan tertinggi pada bambu andong, diikuti oleh bambu betung (terendah pada TKKS). Koefisien fleksibilitas serat tertinggi pada rumput gelagah (terendah bambu andong). Sebaliknya, bilangan Runkel tertinggi pada bambu andong (terendah pada TKKS).

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, daya tenun dan kelemasan serat tinggi; dan bilangan Runkel, koefisien kekakuan, dan bilangan Muhlstep rendah juga dikehendaki, karena semua hal tersebut berkaitan erat dengan sifat menggepeng, fleksibilitas, dan anyaman serat, sehingga berpengaruh positif terhadap kualitas produk pulp (hardboard) (Silitonga et al., 1972 dalam Apriani, 2010). Berdasarkan nilai total skor (TS) dimensi serat dan nilai turunannya (Tabel 5) di mana masing-masing sifat juga dibobot sama, ternyata serat TKKS paling berprospek untuk hardboard (TS tertinggi = 32), diikuti berturut-turut oleh bambu betung (TS = 27,5), RG (TS = 24.5), bambu andong yang paling tidak berprospek (TS = 24,0).



**Tabel 5. Hasil uji beda nyata jarak Tukey terhadap dimensi serat dan nilai turunannya pada bahan serat berligno-selulosa (dinyatakan dalam grade/mutu dan skor)**

**Table 5. Results of Tukey's honestly significant difference range test on fiber dimensions and their derived values of fibrous stuffs – expressed in grades and scores \*)**

Dimensi serat dan nilai turunannya ( <i>Fiber dimensions and their derived values</i> )	Aspek ( <i>Items</i> )	Macam bahan serat ( <i>Kind of fibrous stuffs</i> )			
		TKKS ( <i>EOPB</i> )	RG ( <i>SSG</i> )	Bambu andong ( <i>Andong bamboo</i> )	Bambu betung ( <i>Betung bamboo</i> )
Panjang serat ( <i>Fiber length</i> ), L (μm)	M	2528,24	1285,15	3655,22	4265,51
	G	C	E	B	A
	S	3	1	4	5
Diameter serat ( <i>Fiber diameter</i> ), D (μm)	M	27,02	21,64	27,71	31,68
	G	B	C	B	A
	S	3	2	3	4
Diameter lumen ( <i>Lumen diameter</i> ), l (μm)	M	19,55	14,45	16,63	19,77
	G	A	BC	B	A
	S	4	2,5	3	4
Tebal dinding serat ( <i>fiber-wall thickness</i> ), w (μm)	M	3,74	3,60	5,54	5,95
	G	C	C	B	A
	S	4	4	3	2
Daya tenun, ( <i>Felting power</i> ), L/d	M	93,60	59,07	121,28	134,65
	G	C	D	B	A
	S	2	1	3	4
Bilangan Runkel ( <i>Runkel ratio</i> ), 2w/l	M	0,41	0,51	0,71	0,64
	G	D	C	AB	B
	S	4	3	1,5	2
Koef. fleksibilitas ( <i>Flexibility coeff</i> ), l/d	M	0,72	0,66	0,60	0,62
	G	A	B	BC	BC
	S	4	3	2,5	2,5
Koef. kekakuan ( <i>Rigidity coeff</i> ), w/d	M	0,14	0,17	0,20	0,19
	G	C	B	A	A
	S	4	3	2	2
Bilangan Muhlstep ( <i>Muhlstep number</i> ), $100 \cdot [(d^2 - l^2) / d^2]$ , %	M	48,00	56,00	63,00	61,06
	G	D	C	B	B
	S	4	3	2	2
	<b>TS</b>	<b>32</b>	<b>24,5</b>	<b>24,0</b>	<b>27,5</b>

Keterangan (*Remarks*): M = Rata-rata dari 10 ulangan (*Average of 10 replications*); TKKS = tandan kosong kelapa sawit / EOPB = *empty oil-palm bunches*; RG = rumput gelagah / SSG = *Saccharum spontaneum grasses* \*) Untuk nilai D0,05 (*For D0.05 values*), lihat Tabel sebelumnya (*Please refer to the previous Table*); Angka (dalam kolom M) yang diikuti secara vertikal oleh huruf sama (kolom G) dan skor (kolom S) yang sama tak berbeda nyata / *Figures (in row M) followed vertically by the same letters (row G) are not significantly different*:: A > B > C > D; TS = Total skor (*Total score*) = S1 + S2 + S3 + ..... + Sn

## B. Sifat Pengolahan Pulp

Analisis keragaman terhadap sifat pengolahan pulp (rendemen, konsumsi alkali, derajat kehalusan-awal pulp, dan waktu giling mencapai 600-700 ml CSF), menunjukkan adanya pengaruh nyata dari perbedaan macam bahan serat (Tabel 6). Untuk pemasakan bambu (andong dan betung) pada konsentrasi alkali 10.5%, ternyata rendemen pulp bambu andong sedikit lebih rendah (Tabel 7), konsumsi alkali juga lebih rendah (baik dasar berat serat kering atau dasar konsentrasi alkali awal), derajat kehalusan pulp awal lebih tinggi, dan waktu giling lebih lama. Fenomena tersebut diduga terkait dengan lebih tingginya kandungan ekstraktif (bahan bukan serat) pada bambu andong, diindikasikan pada kelarutannya yang

lebih tinggi dalam alkohol-benzen dan dalam NaOH 1% (Tabel 3).

Selanjutnya, lebih tingginya konsumsi alkali pada *pulping* bambu betung diduga terkait dengan lebih tingginya kandungan bahan bukan-serat yang bersifat polar (diindikasikan pada kelarutannya yang lebih tinggi dalam air dingin dan air panas) (Tabel 3). Lebih tingginya derajat kehalusan awal pulp bambu andong (berakibat lebih lamanya waktu giling) terindikasi terkait dengan lebih kecilnya diameter lumen serat bambu tersebut, dan juga dengan tingginya kerapatan dan bilangan Runkel (Tabel 5). Hal tersebut berakibat serat bambu andong sukar menggepeng pada perlakuan mekanis (penggilingan) dibandingkan serat bambu betung.

**Tabel 6. Analisis keragaman terhadap sifat pengolahan pulp individu bahan serat, pada konsentrasi alkali tertentu**

**Table 6. Analysis of variance on pulp-processing properties for individual fibrous stuffs, at particular alkali concentration**

Sumber keragaman	db	Rendemen pulp (Pulp yield)		Konsumsi alkali (Alkali consumption) <sup>1)</sup>		Konsumsi alkali (Alkali consumption) <sup>2)</sup>		Derajat giling pulp awal ml (Initial pulp freeness),		Waktu giling mencapai (Beating duration to reach) 600-700 ml CSF	
		F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Total	19										
Macam bahan serat (Kind of fibrous stuffs), S	3	6,98	*	12,73	**	9,87	**	7,44	**	16,89	**
Galat (Error)	16	-	-	-	-	-7	-	-	-	-	-
Rata-rata (Means), Y	-	68,859		9,245		91,221		702/778		67,3333	
Satuan (Units)	-	%		%		%		ml CSF		menit	
KK, %	-	12,32		9,45		10,89		8,92		13,76	
D 0.05	-	4,69		0,4074		3,821		4,274		3,9874	

Keterangan (Remarks): <sup>1)</sup> berdasar berat serpih bahan serat kering oven / Based on oven-dry weight of fibrous chips; <sup>2)</sup> berdasarkan konsentrasi awal alkali pada pemasakan / Based on initial alkali concentration at cooking; F = F-hitung / F-calc. P = Peluang (Probability); Y = Rata-rata keseluruhan (Overall means); \* = nyata pada taraf (Significant at) 5% ; \*\* = nyata pada (Significant at) 1%; tn = tak nyata (Not significant); KK = koefisien keragaman (Coeff. of variation); D0,05 = nilai kritis uji jarak beda nyata jujur Tukey pada taraf (Critical value of the Tukey's honestly significant differencet range test at) 5%.

**Tabel 7. Hasil uji beda nyata jarak Tukey terhadap sifat pengolahan pulp individu bahan serat, pada konsentrasi alkali tertentu (dinyatakan dalam grade/mutu dan skor \*)**

**Table 7. Results of Tukey's honestly significant difference range test on pulp-processing properties for individual fibrous stuffs, at particular alkali concentration – expressed in grades and scores \*)**

Macam bahan serat, dan konsentrasi awal alkali (Kind of fiber stuffs, and initial alkali concentration)	Aspek (Items)	Sifat pengolahan pulp (Pulp-processing properties)					TS
		Rendemen pulp (Pulp yield) %	Konsumsi alkali (Alkali consumption) <sup>1)</sup> %	Konsumsi alkali (Alkali consumption) <sup>2)</sup> %	Derajat giling pulp awal ml (Initial pulp freeness), ml CSF	Waktu giling mencapai (Beating duration to reach) 600-700 ml CSF, menit (minutes)	
RG / SSG (10,5% NaOH)	M	70,318	9,38	89,3	642,5	60	-
	G	AB	AB	AB	E	E	-
	S	3,5	1,5	1,5	5	5	16,5
TKKS / EOPB (12,0% NaOH)	M	64,601	10,523	87,69	700	65	-
	G	BC	A	B	D	C	-
	S	2,5	1	2	4	3	12,5
Bambu andong / Andong bamboo (10,5% NOH)	M	64,251	7,952	75,73	710	68	-
	G	BC	D	D	BC	BC	-
	S	2,5	4	4	2,5	2,5	15,5
Bambu betung / Betung bamboo (10,5% NOH)	M	67,714	10,690	100	677,5	63	-
	G	B	A	A	DE	CD	-
	S	3	1	1	4,5	3,5	13,0

Keterangan (Remarks): M = Rata-rata dari 5 ulangan (Averages of 5 replications); <sup>1)</sup> berdasar berat serpih bahan serat kering oven / Based on oven-dry weight of fibrous chips; <sup>2)</sup> berdasarkan konsentrasi awal alkali pada pemasakan / Based on initial alkali concentration at cooking; TKKS = tandan kosong kelapa sawit / EOPB = empty oil-palm bunches; RG = rumput gelagah / SSG = Saccharum spontaneum grasses \*) Untuk nilai D0,05 (For D0.05 values), lihat Tabel sebelumnya (Please refer to the previous Table); Angka (dalam kolom M) yang diikuti secara vertikal oleh huruf sama (kolom G) dan skor (kolom S) yang sama tak berbeda nyata / Figures (in row M) followed vertically by the same letters (row G) are not significantly different:: A > B > C > D; TS = Total skor (Total score) = S1 + S2 + S3 + ..... + Sn

Pada konsentrasi alkali 10,5%, rendemen pulp tertinggi adalah dari pemasakan rumput gelagah, diikuti berturut-turut oleh bambu betung, dan bambu andong dan TKKS (pada konsentrasi 12,0%) (Tabel 7). Kandungan lignin dan selulosa awal yang tinggi diduga ikut berperan pada tingginya rendemen pulp, seperti terjadi pada serat rumput gelagah, dan bambu betung (Tabel 3). Sebaliknya, kandungan bahan bukan serat yang tinggi (antara lain jaringan parenkhim, sisa lemak/minyak, dan ekstraktif lain yang polar dan non-polar) terkait erat dengan rendahnya rendemen pulp, sebagaimana terindikasi pada pemasakan serat bambu andong dan TKKS. Pada konsentrasi tersebut, konsumsi alkali terbesar (dasar berat serat kering) terjadi pada pemasakan serat bambu betung, diikuti berturut-turut oleh TKKS, rumput gelagah, dan bambu andong (terendah). Diduga besarnya konsumsi terkait pula dengan sisa lemak/alkali (pada TKKS), dan tingginya kadar lignin dan bahan ekstraktif (rumput gelagah dan bambu betung).

Untuk konsentrasi alkali 10,5% pula, nilai derajat kehalusan awal pulp tertinggi (dasar CSF) terdapat pada serat TKKS, diikuti oleh bambu andong, bambu betung, dan rumput gelagah (terendah). Derajat kehalusan tinggi diduga erat hubungannya dengan tingginya sisa lemak/minyak dan rendahnya kadar pentosan (pada TKKS), dan tebal dinding serat (bambudan rumput gelagah). Adanya sisa lemak/tinggi dan tebal dinding serat cenderung meningkatkan derajat kehalusan pulp (Casey, 1980), sebaliknya kadar pentosan tinggi menurunkan derajat kehalusan tersebut (Smook, 2002; Apriani, 2010). Semakin tinggi derajat kehalusan, maka semakin lama waktu giling pulp; dan sebaliknya (Suchsland & Woodson, 1986).

Keseluruhan rendemen pulp hasil percobaan (60,53-78,87%) (Tabel 7) terletak pada selang rendemen yang umum pada pengolahan pulp semi-kimia (60-85%) (Casey, 1980; Smook, 2002). Secara umum yang dikehendaki pada pulping untuk papan serat adalah rendemen pulp tinggi; dan konsumsi alkali, derajat kehalusan awal pulp rendah, dan waktu giling singkat. Ini terkait dengan kapasitas produksi, pemakaian bahan kimia, dan konsumsi energi (panas atau listrik). Kriteria tersebut dipakai sebagai dasar penentuan nilai total skor (TS) keempat sumber serat tersebut (Tabel 7). Untuk rumput gelagah, penggunaan

konsentrasi alkali 10,5% menghasilkan pulp paling berprospek untuk hardboard (TS = 16,5). Selanjutnya pada konsentrasi alkali 10,5%, pulp dari bambu andong (TS = 15,5) lebih berprospek untuk hardboard dibandingkan bambu betung (TS = 13,0). Untuk TKKS, penggunaan konsentrasi alkali 12,0% (TS = 12,5) berprospek paling rendah.

### C. Sifat Fisis-Mekanis Hardboard

#### 1. Hasil penyempurnan sifat hardboard

Penyempurnaan dilakukan melalui rekayasa teknologi pengolahan (tahun 2014) yaitu melibatkan campuran bahan serat berkonsentrasi alkali-pemasak lebih tinggi; dan perubahan macam/komposisi bahan aditif; dan hasilnya ditelaah dengan bantuan analisis keragaman dan uji BNJ (Tabel 8 dan 9).

#### a. Kadar air, penyerapan air, dan pengembangan tebal

Berdasarkan analisa keragaman, pengaruh proporsi campuran bahan serat, dan penggunaan aditif nyata terhadap ketiga sifat tersebut (Tabel 8). Penggunaan aditif menyebabkan penurunan nilai kadar air, pengembangan tebal, dan penyerapan air; dibandingkan tanpa-aditif (kontrol); sebagaimana diindikasikan dari hasil uji BNJ (Tabel 9). Perekat TRF yang terdapat dalam aditif sebelum mengeras (*curing*), bergerak/ mengalir masuk ke dalam struktur serat (*void spaces*) dan juga mengisi rongga-rongga antar serat saat pembentukan lembaran hardboard (Hussein, Ibrahim, & Abdullah, 2011; KOMPAS, 2012). Akibatnya, sifat higroskopis serat menurun dan kestabilan dimensi hardboard meningkat. Di samping itu, arang aktif (juga terdapat dalam aditif) tersebut berindikasi berperan pula pada fenomena tersebut (terutama penyerapan air dan pengembangan tebal). Arang merupakan massa (*cluster*) partikel-partikel berukuran kecil, dan komposisi kimianya didominasi oleh unsur karbon (C), disamping terdapat unsur lain berupa hidrogen (H) dan oksigen (O) dengan porsi lebih sedikit. Hal tersebut menyebabkan arang aktif memiliki luas permukaan besar dan bersifat polar (higroskopis); sehingga efektif sebagai bahan adsorben senyawa polar (termasuk air) (Pari, Widyawati & Yoshida, 2009). Pada kasus ini, agaknya sifat higroskopis/adsorptif arang aktif berperan mengurangi porsi air yang memasuki struktur serat penyusun hardboard.

**Tabel 8. Analisis keragaman terhadap sifat fisis-mekanis *hardboard*, hasil penyempurnaan *Table 8. Analysis of variance on physical-mechanic properties of hardboard, that resulted from improvement***

Sumber Keragaman (Sources of variation)	db / df	Sifat fisis-mekanis (Physical-mechanic properties)																	
		Keteguhan lentur (Modulus of elasticity/MOE) <sup>-1</sup>		Keteguhan patah (Modulus of rupture/MOR)		Keteguhan internal (Internal bond/IB)		Kadar air (Moisture content)		Kerapatan (Density)		Pembembangan tebal (Thickness swelling)		Penyerapan air (Water absorption)		Daya hantar panas (Thermal conductance)		Kerabanan panas (Heat resistance)	
		F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Total	39																		
P	3	7,243	**	8,213	**	5,723	*	7,345	*	11,176	**	10,58	**	6,49	*	8,13	*	7,15	**
A	1	1,781	tn	5,986	*	7,945	**	12,74	*	2,213	tn	19,87	**	7,54	**	15,15	*	4,76	*
P*A	3	6,314	**	7,214	**	8,921	**	13,21	**	9,145	**	5,78	*	9,12	**	16,45	**	4,81	*
Galat (Error)	32																		
Y	-	40939,25		332,126		4,202		5,322		0,962		35,824		84,542		0,0739410		0,07153	
Samaan (units)	-	kg/cm <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>		%		g/cm <sup>3</sup>		%		%		M <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup>		W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	
KK, %	-	14,92		8,159		12,654		6,632		10,521		12,31		5,935		3,612		5,183	
D 0.05	-	12182,33		17,24		1,231		1,247		0,136		10,424		12,855		0,0206		0,00147	

Keterangan (Remarks): P = Proporsi campuran bahan serat / Mixture proportion of fibrous stuffs; A = Bahan aditif (perekat TRF + tawas + emulsiliilin); \* = nyata pada taraf 5%; / Additives (TRF adhesive + alum + wax emulsion); ; F = F-hitung / F-calc. P = Peluang (Probability); Y = Rata-rata keseluruhan (Overall means); \* = nyata pada taraf (Significant at) 5%; \*\* = nyata pada (Significant at) 1%; tn = tak nyata (Not significant); KK = koefisien keragaman (Coeff. of variation); D0,05 = nilai kritis uji jarak beda nyata jujur Tukey pada taraf (Critical value of the Tukey's honestly significant difference range test) 5%.

Tabel 9. Data sifat fisis-mekanis *hardboard* hasil penyempurnaan, diikuti dengan uji jarak beda nyata jujur (Tukey) – dinyatakan dalam mutu (G); dan dengan analisis diskriminan (Y-dioscr) berikut korelasi kanonik (R)  
 Table 9. Data on physical-mechanical properties of the improved *hardboard*, that resulted from improvement, followed with Tukey's honestly significant difference range test – expressed in grades (G); and with discriminant analysis and canonic correlation (R)

Perlakuan (Treatment)	Keteguhan lentur (MOE) kg/cm <sup>2</sup>	Keteguhan patah (MOR) kg/cm <sup>2</sup>	Keteguhan internal (IB) kg/cm <sup>2</sup>	Kadar air (Moisture content), %	Kerapatan (Density), (D) g/cm <sup>3</sup>	Pengembangan tebal (Thickness swelling) TS, %	Penyerapan air (Water absorption) WA, %	Daya hantar panas (Thermal conductance) HC, W.m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	Ketahanan panas (Heat resistance), HR, m <sup>2</sup> .K.W. <sup>-1</sup>	Y-discr												
P	N	A	T	Y1	G	Y2	G	Y3	G	Y4	G	Y5	G	Y6	G	Y7	G	Y8	G	Y9	G	Y-discr
1	2	0	1	44565,5	B	370,595	A	4,050	AB	4,4352	F	0,9913	A	64,4432	B	113,30	AB	0,081542	BC	0,062950	GH	138,71
1	2	1	2	50554,0	A	358,865	AB	5,145	AB	5,8299	E	0,9780	AB	33,3715	F	84,64	CDE	0,071983	DE	0,073740	E	153,24
2	2	0	3	41131,0	BC	356,330	B	4,540	AB	4,8336	EF	0,9507	B	31,0646	G	84,21	DEF	0,070838	F	0,071120	FG	143,43
2	2	1	4	34810,0	BC	307,425	CD	5,480	AB	4,8545	EF	0,9539	AB	15,1478	H	75,64	FG	0,061552	HI	0,083426	BC	157,23
3	2	0	5	44090,5	B	346,850	B	2,615	B	5,2272	E	0,9767	AB	32,1135	G	77,47	EFG	0,065379	I	0,073877	E	149,11
3	2	1	6	31579,5	CD	270,550	EF	3,360	AB	3,8818	FG	0,9462	B	32,6902	G	84,60	DEF	0,092230	A	0,059233	I	128,52
4	2	0	7	46898,0	AB	321,025	C	3,760	AB	8,2561	BC	0,9510	AB	45,4418	D	88,30	DEF	0,062174	I	0,086258	B	144,13
4	2	1	8	33885,5	BC	325,365	BC	4,665	AB	5,2569	E	0,9448	B	32,3210	F	68,18	GH	0,085830	AB	0,061634	H	138,57
Koefisien persamaan diskriminan / Coeff. for discriminant equation, (bi)																						
Persyaratan (Requirements)																						
JIS	29589																					
ISO	30610																					
Keterangan (Remarks): M = Rata-rata dari 5 ulangan / Averages of 5 replications; RG / SSG = rumput gelagah / <i>Saccharum spontaneum</i> grasses; TKKS / EOPB = tandan kosong kelapa sawit / Empty oil-palm bunches; P = Proporsi campuran bahan serat / Mixture proportion of fibrous stuffs; p1 = pulp RG (100%) / p1 = SSG pulp (100%) / p2 = pulp RG (50%) + pulp TKKS (50%) / p2 = SSG pulp (50%) + EOPB pulp (50%), p3 = pulp RG (50%) + pulp bambu andong (50%) / p3 = SSG pulp (50%) + andong-bamboo pulp (50%), p4 = pulp RG (50%) + pulp bambu betung (50%) / p4 = SSG pulp (50%) + betung bamboo pulp (50%); N = bahan serat dengan konsentrasi alkali tertentu / N = fibrous stuffs with particular cooking-alkali concentration; n2 = untuk pulp RG dan pulp bambu andong/betung, masing-masing dari pemasakan dengan NaOH 10.5% / for SSG pulp and andong/betung bamboo pulps, each from the cooking with 10.5% alkali concentration; n2 = untuk pulp TKKS, dan pemasakan dengan NaOH 12% / for EOPB pulp, from the cooking with 12.0% alkali concentration; A = pengendapan aktif / use of additives; ao = kontrol (tanpa aktif, tetapi dengan tawar) / control (without additive, but with akear), a1 = dengan aktif (TRF 5% + tawar 3% + arang aktif 4%) / with additives (TRF 5% + alum 3% + activated charcoal 4%); T = kombinasi faktor-faktor P, N, dan A / treatment combination of P, A, and N factors; * Untuk nilai D0,05, lihat Tabel sebelumnya. / for D value, please refer to the previous Table. A > B > C > D; Y-discr = $\sum biYi = b1Y1 + b2Y2 + b3Y3 + b4Y4 + b5Y5 + b6Y6 + b7Y7 + b8Y8 + b9Y9$ , di mana / where: Y-discr = nilai discriminan / urutan mutu (discriminant value / rank value), bi = koefisien determinan / determinan coeff, dan / and Yi = sifat <i>hardboard</i> dengan notasi T ke-i, (i = 1, 2, ... 8) yang sudah dibakukan menjadi nilai tanpa satuan, dengan koef. korelasi kanonik nyata. / Properties of <i>hardboard</i> with notation T at ith (i = 1, 2, ..., 8), after being standardized (without units), with significant canonic correlation (R2=0.934**), yang menunjukkan tingkat peranan absolute (angka mutlak) masing-masing sifat (bi) dari yang terbesar hingga terkecil / which revealed the ordered role (in absolute number) each of the properties (bi) from the greatest to the smallest consecutively (i.e. b2 > b1 > b3 > b4 > b5 > b6 > b7 > b8 > b9 > b4 > b7 JIS = Japan Industrial Standard (JIS A 5905, 2003); ISO = International Standard Organization (2013)																						

Pada saat perlakuan panas dan pengempaan panas saat pembentukan lembaran *hardboard*, sebagian besar air dalam arang aktif terevaporasi sehingga kadar air menurun dan kestabilan dimensi *hardboard* meningkat (Saptadi, 2009).

Kadar air, penyerapan air, dan pengembangan tebal tertinggi terdapat pada *hardboard* dari pulp rumput gelagah 100%, atau dari campuran pulp rumput gelagah (50%) + pulp bambu betung (50%), terutama tanpa aditif (Tabel 9). Diduga ini ada kaitannya dengan tingginya kandungan senyawa kimia penyusun serat yang bersifat polar (selulosa dan pentosan) pada rumput gelagah dan bambu betung (total mencapai 66,02-73,91%) (Tabel 3). Juga tingginya kandungan ekstraktif polar pada bambu betung (diindikasikan pada kelarutan yang tinggi dalam air panas dan NaOH (1%) diduga ikut berperan pula terhadap tingginya ketiga nilai sifat tersebut. Untuk rumput gelagah, tingginya kelarutan dalam air panas/NaOH 1%, ditambah dengan tingginya kelarutan dalam air dingin, diduga berperan pula terhadap tingginya kadar air/penyerapan air/pengembangan tebal *hardboard*, seperti yang terjadi pada *hardboard* dari bahan serat yang melibatkan bambu betung. Akibatnya, sifat higroskopis *hardboard* meningkat dan kestabilan dimensi turun. Di lain hal, kadar air, pengembangan tebal, dan penyerapan air terendah terdapat pada *hardboard* dari campuran pulp bambu andong (50%) + pulp rumput gelagah (50%), dan dari pulp TKKS (50%) + pulp rumput gelagah (50%), keseluruhannya dengan aditif (Tabel 9). Diduga tingginya kandungan lignin (bersifat kurang polar) pada bambu (andong), dan sisa kandungan lemak/minyak pada TKKS (Tabel 9) terkait dengan fenomena tersebut (Casey, 1980; Sani, 2012).

Kadar air *hardboard* hasil percobaan (3,88-9,26%), sebagian besar (62,5%) memenuhi persyaratan JIS A 5905 (2003) dan ISO (2013); tetapi pengembangan tebal (15,15-64,44%), hanya sebagian kecil (12,5%), dan keseluruhan penyerapan air (68,19-113,30%) tidak memenuhi persyaratan JIS dan ISO tersebut (Tabel 9).

#### b. Kerapatan, MOE, MOR, dan IB

Proporsi campuran berpengaruh nyata terhadap keempat sifat *hardboard* tersebut; tetapi penggunaan aditif hanya berpengaruh terhadap MOR dan IB (Tabel 8). Uji BNJ mengkonfirmasi

bahwa penggunaan aditif sedikit menurunkan MOR dan IB *hardboard* dibandingkan dengan kontrol (Tabel 9). Fenomena ini terjadi, diduga arang aktif mengakibatkan gangguan terhadap ikatan antar serat dan juga ikatan antara perekat TRF dengan serat, sehingga menurunkan MOR dan IB. Untuk *hardboard* kontrol, diduga penggunaan tawas mengintensifkan kontak/ikatan antar serat sehingga meningkatkan kekuatannya (Saptadi, 2009; Departemen Kehutanan, 2013).

Lebih lanjut, *hardboard* yang dibentuk dari pulp rumput gelagah (RG) 100%, dari campuran pulp RG (50%) + pulp TKKS (50%), dan dari pulp RG (50%) + pulp bambu betung (50%) cenderung memiliki nilai kerapatan, MOE, MOR, dan IB tertinggi atau nilai pada urutan kedua (Tabel 9). Untuk RG dan bambu betung, diduga ini terkait dengan tingginya nilai daya tenun dan paling rendahnya bilangan Runkel seratnya (Tabel 5). Hal tersebut berpengaruh positif terhadap ikatan dan anyaman antar serat dalam produk jadi (*hardboard*) (Apriani, 2010; KOMPAS, 2012). Juga, penggunaan konsentrasi alkali (12,0%) untuk pulping TKKS, yang lebih tinggi dari pada percobaan sebelumnya (9,0-10,5%; tahun 2013) terindikasi lebih banyak melarutkan sisa lemak/minyak (bersifat non/kurang polar). Hal tersebut mempertinggi polaritas serat sehingga mengintensifkan kontak/ikatan OH (*hydrogen bonding*) antar fiber. Kadar lignin yang tinggi (sebagai perekat alami) pada bambu betung (Tabel 9) terindikasi berperan positif pula terhadap keempat sifat tersebut (Anggraini et al., 2013).

Sebaliknya, *hardboard* yang dibentuk pula dari campuran pulp RG (50%) + pulp bambu andong/betung (50%), memiliki nilai sifat kekuatan terendah. Fenomena ini diduga terkait dengan tingginya kadar lignin pada bambu (dibandingkan bahan serat lain) (Tabel 3). Akibatnya serat bambu jadi agak kaku (sukar menggepeng), karena sifat lignin yang agak kaku (*rigid*), sehingga menurunkan kekuatan/kerapatannya (Suchsland & Woodson, 1986).

Kerapatan dan MOE *hardboard* dan hasil percobaan berturut-turut 0,9448-0,9913 kg/cm<sup>2</sup> seluruhnya (100%) memenuhi persyaratan JIS dan ISO (Tabel 9). Untuk MOR (270,55-370,66 kg/cm<sup>2</sup>) dan IB (2,615-5,480 kg/cm<sup>2</sup>) juga memenuhi persyaratan tersebut tetapi secara parsial yaitu berturut-turut 87,5% dan 25,0%.

c. Daya hantar panas dan ketahanan panas

Berdasarkan analisis keragaman yang dilanjutkan dengan uji BNJ (Tabel 8 dan 9), daya hantar panas *hardboard* meningkat dengan penggunaan aditif, dan ketahanan panas menurun. Ini juga memperkuat indikasi sebelumnya, bahwa perekat TRF (sebelum mengeras/*curing*) banyak mengisi rongga sel dan ruang antar sel dalam *hardboard*, sehingga menurunkan pula volume rongga-rongga udaranya (Suchsland & Woodson, 1986).

Proporsi campuran bahan serat berpengaruh pada kedua sifat tersebut (Tabel 8). Daya hantar panas *hardboard* tertinggi (atau ketahanan panas terendah) adalah dari pulp RG 100%, dan dari campuran pulp RG (50%) + pulp bambu andong/betung (50%). Fenomena ini terjadi diduga ada kaitannya dengan tingginya kadar lignin pada bambu (Tabel 3) dan tingginya kerapatan *hardboard* dari pulp RG 100% dan campuran bahan serat tersebut (Tabel 9). Unsur karbon (C) pada senyawa organik berperan paling dominan terhadap daya hantar panasnya, disamping terdapat unsur lain seperti hidrogen (H) dan oksigen (O), di mana daya hantar panas C sebesar  $25470 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . Kadar C pada lignin sekitar 67,50% (Casey, 1980; KOMPAS, 2013). Untuk serat RG, tebal dinding seratnya paling tipis (Tabel 5). Hal tersebut memungkinkan penurunan volume rongga udara didalam *hardboard* dan akibatnya daya hantar panasnya meningkat. Sebaliknya, daya hantar panas terendah (atau ketahanan panas tertinggi) adalah dari campuran pulp RG (50%) + pulp TKKS (50%). Diduga ini terkait dengan masih terdapatnya sisa minyak/lemak pada pulp TKKS. Sebagaimana diketahui minyak/lemak memiliki viskositas (kekentalan) dan titik didih tinggi ( $>100^\circ\text{C}$ ), sehingga merupakan penghantar panas yang lamban (Bennet & Myers, 1999)

*Hardboard* hasil percobaan menunjukkan variasi nilai daya hantar panas ( $0,061552\text{-}0,092230 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ) dan ketahanan panas ( $0,059233\text{-}0,086258 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$ ) (Tabel 9). Ternyata nilai daya hantar panas tersebut masih dibawah persyaratan ISO (2013) yaitu  $0,1081656\text{-}0,2017840 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . Lebih rendahnya nilai tersebut berindikasi pada *hardboard* hasil percobaan masih terdapat rongga-rongga udara dengan volume tertentu, dan sehingga berpengaruh negatif terhadap daya hantar panas tersebut.

2. Evaluasi hasil penyempurnaan sifat *hardboard*

a. Kadar air, pengembangan tebal, dan penyerapan air.

Analisa keragaman menunjukkan bahwa penerapan teknologi penyempurnaan (tahun 2014) berpengaruh nyata terhadap ketiga sifat *hardboard* tersebut, dibandingkan dengan hasil teknologi 2013 (Tabel 10). Uji BNJ lebih lanjut (Tabel 11) pada *hardboard* kontrol tetapi melibatkan tawas (bagian dari teknologi 2014) berindikasi nilai kadar air, pengembangan tebal, dan penyerapan air yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai *hardboard* kontrol yang tidak melibatkan tawas (bagian dari teknologi 2013). Diduga tawas berperan pada fenomena tersebut dengan mengintensifkan kontak/ikatan antar serat sehingga menurunkan jumlah gugusan OH bebas (Smook, 2002; Hussein, Ibrahim & Abdullah, 2011; KOMPAS, 2012).

Selanjutnya untuk *hardboard* dengan-aditif, penglibatan perekat TRF (bagian dari teknologi 2014) tak merubah penyerapan air, tetapi menurunkan kadar air dan pengembangan tebal dibandingkan nilai *hardboard* dengan-aditif yang melibatkan perekat TF (bagian dari teknologi 2013). Agaknya perubahan perekat TF ke TRF, dan lebih rendahnya suhu *curing* TRF ikut berperan (Suchsland & Woodson, 1986; Saptadi, 2009).

Nilai kadar air, pengembangan tebal, dan penyerapan air hasil penyempurnaan sifat *hardboard* (teknologi 2014) menunjukkan variasi (Tabel 11) yaitu berturut-turut 3,8818-5,8299%; 15,1478-66,4432%; dan 75,6411-113,2957%. Dibandingkan dengan persyaratan JIS dan ISO, maka sebagian kadar air memenuhi syarat (33,33%), pengembangan tebal yang memenuhi syarat hanya 16,67%, dan seluruh penyerapan air tidak memenuhi syarat (0%). Untuk hasil percobaan sebelumnya (teknologi 2013), ketiga nilai tersebut juga menunjukkan variasi (Tabel 11) yaitu berturut-turut 6,24-8,90% (kadar air); 33,63-56,73% (pengembangan tebal); dan 72,81-118,56% (penyerapan air). Kalau dibandingkan dengan persyaratan JIS dan ISO, disini seluruh kadar air memenuhi syarat 100%, sedangkan seluruh pengembangan tebal dan penyerapan air tidak memenuhi syarat. Ditinjau dari ketiga sifat ini, terindikasi ada sedikit keberhasilan usaha penyempurnaan sifat *hardboard*.

Tabel 10. Analisis keragaman terhadap sifat fisis dan kekuatan papan serat tipe *hardboard*, tentang evaluasi hasil penyempurnaan *Table 10. Analysis of variance on physical-mechanical properties of hardboard, regarding assessment on improvement results*

Sumber Keragaman (Sources of variation)	Sifat fisis-mekanis (Physical-mechanic properties)																		
	Keteguhan lentur (Modulus of elasticity/MOE) $\tau$		Keteguhan patah (Modulus of rupture/MOR)		Keteguhan internal (Internal bond/IB)		Kadar air (Moisture content)		Kerapatan (Density)		Pembembangan tebal (Thickness swelling)		Penyerapan air (Water absorption)		Daya hantar panas (Thermal conductance)		Ketahanan panas (Heat resistance)		
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	
Total																			
L	1	24,66	**	20,31	**	6,87	*	18,93	**	4,18	*	16,10	**	5,08	*	19,34	**	6,08	*
P	2	17,86	**	17,20	**	6,32	*	5,26	*	7,41	**	15,37	**	15,76	**	6,99	*	15,76	**
A	1	4,36	tn	9,90	**	12,45	**	6,31	*	14,13	**	24,15	**	14,30	**	17,34	**	14,30	**
P*A	2	4,19	*	22,74	**	6,89	*	6,43	*	7,83	**	4,89	*	10,63	**	15,77	**	21,63	**
L*A	1	7,39	**	2,34	tn	11,45	**	12,87	**	22,97	**	7,25	**	4,78	*	13,85	**	5,78	*
Galat (Error)	52																		
Y	-	36290,92		318,241		3,674		6,001		0,9544		38,886		86,445		0,0766945		0,09754	
Satuan (unit)	-	kg/cm <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>		%		g/cm <sup>3</sup>		%		%		M <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup>		W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	
KK, %	-	13,132		4,878		14,397		4,289		3,351		12,813		6,927		5,312		3,589	
D 0,05	-	9420		61,64		1,376		1,023		0,097		17,892		11,478		0,0115		0,009712	

Keterangan (Remarks): L = teknologi penyempurnaan (improvement technology); P = penggunaan perekat TRF terhadap TF; penggunaan pulp TKKS pada konsentrasi lebih tinggi (12%), tidak menggunakan emulsi lilin, dan penggunaan arang aktif / L = *improvement technology (use of TRF adhesive against TF adhesive; use of EOPB pulp at higher alkali concentration (12%), not involving wax emulsion, and using activated charcoal; P = Proporsi campuran bahan serat / Mixture proportion of fibrous stuffs; A = Bahan aditif / Additives; F = F-hitung / F-calc. P = Peluang (Probability); Y = Rata-rata keseluruhan (Overall means); \* = nyata pada taraf (Significant at) 5%; \*\* = nyata pada (Significant at) 1%; tn = tak nyata (Not significant); KK = koefisien keragaman (Coeff. of variation); D0,05 = nilai kritis uji jarak beda nyata jujur Tukey pada taraf (Critical value of the Tukey's honestly significant difference range test) 5%.*



**Table 11. Pencermatan hasil penyempurnaan sifat hardboard (Teknologi yang diterapkan tahun 2014 dibandingkan Teknologi pada 2013) Table 11. Assessments on results of improvement on hardboard properties (Technology as implemented in 2014 against the technology in 2013)**

No	Sifat (Properties)	Teknologi penyempurnaan / Improvement technology (2014) *			Teknologi sebelumnya / Previous technology (2013) **			Persyaratan (Requirements)			Kesehuruhan porsi yang memenuhi syarat (Overall portion that met the requirement), %
		K1	W1	K2	W2	JIS	ISO	TP (2014)	TS (2013)		
1	Keteguhan lentur / MOE (kg/cm <sup>2</sup> ), Y3	41131.0-44565.0	31579.5-30554.0	16538.5-45990	27374.5-40190.0	29589	30610	100	50.00-66.66		
2	Keteguhan patah / MOR (kg/cm <sup>2</sup> ), Y4	346.85-370.60	270.55-358.87	187.73-449.68	220.31-360.73	272.60	306.51	16.66-66.67	50		
3	Keteguhan ikatan internal / Internal bonding (kg/cm <sup>2</sup> ), Y5	2.62-4.54	3.36-5.48	2.0-4.1	1.9-5.0	-	**	33.33	0		
4	Kadar air / Moisture content (%), Y2	4.4352-5.2272	3.8818-5.8299	6.560-7.470	6.24-8.90	5-13		33.33	100		
5	Kerapatan / Density (g/cm <sup>3</sup> ), Y1	0.9507-0.9913	0.9462-0.9780	0.771-0.960	0.981-1.012	0.80-1.20	≥0.900	100	83.33		
6	Pengembangan rebal / Thickness swelling (%), Y7	31.0646-64.4432	15.1478-33.3715	39.35-56.73	33.63-54.73	-		16.67	0		
7	Penyerapan air / Water absorption (%), Y6	77.4645-113.2957	75.6412-84.6436	74.68-118.56	72.81-88.62	≤30		0	0		
8	Hantaran panas / Thermal conductance (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ), Y8	0.065379-0.081542	0.061552-0.092230	0.070450-0.080120	0.074680-0.088650		0.108099-0.201784	0	0		
9	Ketahanan panas / Thermal resistance (m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> ), Y9	0.059233-0.083426	0.062950-0.073877	0.065379-0.081542	0.061552-0.092230						

Keterangan (Remarks): \*) Teknologi yang diterapkan tahun 2014 mencakup campuran serat berupa pulp RG + pulp TKKS + pulp bambu andong/betung, pada berbagai proporsi (Tabel 1) di mana pulp RG dan pulp bambu andoni/betung, berasal dari pemasakan dengan alkali berkonsentrasi 10.5%, sedangkan pulp TKKS dengan alkali berkonsentrasi 12% / macam/komposisi aditif (W1) terdiri dari perekat TRF (5%) + tawas (3%) + arang aktif (4%) + emulsi lilin; untuk kontrol (tanpa aditif, tetapi melibatkan tawas 3%) (K1) / \*)The technology as implemented in 2014 covered fibrous mixture comprising SSG pulp + EOPB pulp with 12% alkali concentration; kind/composition of additives consisted of TRF andong/betung pulp were from the cooking with 10.5% alkali concentration, while EOPB pulp with 12% alkali concentration; kind/composition of additives consisted of TRF adhesive (5%) + alum (3%) + activated charcoal (4%) + wax emulsion (W1); for the control (without additives, but with alum 3%) (K1). \*\*) Teknologi yang diterapkan tahun 2013 mencakup campuran serat berupa pulp RG + pulp TKKS + pulp bambu andong (tanpa melibatkan bambu betung, juga pada berbagai proporsi (Tabel 1), di mana pulp RG, pulp TKKS, dan pulp bambu keseluruhan dari pemasakan berkonsentrasi alkali 10.5%; macam/komposisi aditif terdiri dari perekat TF (4%) + emulsi lilin (5%) + tawas (3%), tanpa arang aktif (W2); untuk kontrol (tanpa aditif, tawas tak dilibatkan) (K2) / \*\*) The technology as implemented in 2013 incorporated the fibrous mixture of SSG pulp + EOPB pulp + andong bamboo pulp, at various proportion (Table 1), where SSG pulp, EOPB pulp, and andong bamboo pulp were entirely from the cooking 10.5% alkali concentration; kind/composition of additives comprised TF adhesive (4%) + wax emulsion (5%) + alum (3%), without activated charcoal (W2), for control (without additives, alum, was not used) (K2). K1 = tanpa aditif / without aditif, W1 = dengan aditif / with additives (untuk teknologi 2014 / for technology 2014); K2 = tanpa aditif / without aditif, W2 = dengan aditif / with additives (untuk teknologi 2013 / for technology 2013)

b. Kerapatan, MOE, MOR, dan IB

Analisa keragaman menunjukkan bahwa penerapan teknologi 2014 berupa perbaikan kondisi pengolahan/pembentukan *hardboard*, dan perubahan macam/komposisi aditif (L) berpengaruh nyata terhadap keempat sifat tersebut (Tabel 10), dibandingkan hasil teknologi 2013. Dari hasil uji BNJ (Tabel 11), untuk *hardboard* kontrol (tanpa aditif), ternyata teknologi 2014 mengakibatkan peningkatan kerapatan, MOE, MOR, dan IB. Diduga ini terkait pula dengan penggunaan tawas dan penggunaan pulp TKKS berkonsentrasi alkali 12% (bagian dari teknologi 2014). Alkali tersebut mengintensifkan saponifikasi lemak/minyak, sehingga polaritas serat TKKS meningkat dan memperbanyak ikatan OH antara serat. Selanjutnya, untuk *hardboard* dengan-aditif, antara penerapan teknologi 2014 dengan penerapan teknologi 2013, tidak mengakibatkan perubahan kerapatan *hardboard*, tetapi meningkatkan ketiga sifat kekuatan tersebut (MOE, MOR, dan IB) (Tabel 11). Diduga dengan tidak dilibatkannya emulsi lilin pada aditif (bagian dari teknologi 2014) menyebabkan peningkatan ketiga sifat kekuatan tersebut, dibandingkan dengan yang melibatkannya (bagian teknologi 2013).

Nilai kerapatan, MOE, MOR, dan IB *hardboard* hasil usaha penyempurnaan (teknologi 2014) menunjukkan variasi (Tabel 11) yaitu berturut-turut 0,9462-0,9913 g/cm<sup>3</sup>; 31579,5-50554,0 kg/cm<sup>2</sup>; 270,55-370,60 kg/cm<sup>2</sup>; dan 2,615-5,145 kg/cm<sup>2</sup>. Dibandingkan dengan persyaratan JIS dan ISO, seluruh kerapatan dan MOE memenuhi syarat (100%), sedangkan sebagian nilai MOR dan IB memenuhi secara parsial (berturut-turut 16,66-66,67% dan 33,33%). Untuk hasil percobaan sebelumnya (teknologi 2013), nilai-nilai tersebut berturut-turut adalah 0,771-1,012 g/cm<sup>3</sup> (kerapatan), 16538,5-45990,0 kg/cm<sup>2</sup> (MOE), 187,73-449,68 kg/cm<sup>2</sup> (MOR), dan 1,90-5,00 kg/cm<sup>2</sup> (IB). Dibandingkan dengan persyaratan JIS dan ISO), porsi-porsi yang memenuhi syarat adalah 83,33% (kerapatan), 50,00-66,66% (MOE), 50% (MOR), dan 0% atau tak ada yang memenuhi (IB). Dengan demikian ditinjau dari keempat sifat tersebut, juga terindikasi ada hasil efektif usaha perbaikan/penyempurnaan tersebut.

c. Daya hantar panas dan ketahanan panas

Penerapan teknologi 2014 (penglibatan pulp TKKS pada konsentrasi alkali 12% dan perubahan komposisi aditif) juga berpengaruh nyata terhadap kedua sifat *hardboard* tersebut (Tabel 16). Untuk *hardboard* baik kontrol (tanpa-aditif) atau dengan-aditif, atas dasar uji BNJ (Tabel 17), penerapan teknologi 2014 mengakibatkan penurunan daya hantar panas *hardboard* (peningkatan ketahanan panas), dibandingkan hasil teknologi 2013. Ini berindikasi lagi sebagai akibat penggunaan pulp TKKS pada konsentrasi alkali 12%. Alkali tersebut selain lebih banyak melarutkan sisa lemak/minyak, juga mengintensifkan delignifikasi. Kandungan lignin berkorelasi positif dengan hantaran panas.

Nilai daya hantar panas dan ketahanan panas *hardboard* hasil usaha penyempurnaan (teknologi tahun 2014) menunjukkan variasi (Tabel 11) yaitu berturut-turut 0,061552-0,092230 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> dan 0,059233-0,083426 m<sup>2</sup>.K/W. Nilai serupa untuk hasil teknologi 2013 adalah 0,070450-0,088650 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> (daya hantar panas) dan 0,059000-0,076760 m<sup>2</sup>.K/W. Dibandingkan dengan persyaratan ISO untuk hantaran panas yaitu 0,108097-210784 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> (Tabel 17). Ternyata nilai daya hantar panas untuk kedua hasil percobaan tersebut (tahun 2014 dan 2013) tidak memenuhi syarat. Sekiranya *hardboard* ditujukan untuk bahan penyekat/insulasi, maka dikehendaki nilai daya hantar panas yang rendah (ketahanan panas tinggi). Atas dasar itu, terdapat indikasi hasil usaha penyempurnaan tersebut menunjukkan sedikit perbaikan.

#### D. Telaahan Sifat Fisis dan Mekanis Hardboard Hasil Penyempurnaan

Telaahan sifat fisis mekanis pada seluruh produk *hardboard* ini bertujuan mencermati individu serat mana atau proporsi campuran mana (dari p1-p4) (Tabel 1), yang dianggap berprospek terbaik secara teknis untuk pembuatan *hardboard*, mulai dari urutan tertinggi (*ranking*) hingga terendah (Tabel 9).

Lebih lanjut berdasarkan sifat *hardboard* yang dikehendaki konsumen (antara lain: kadar air, penyerapan air, pengembangan tebal, daya hantar panas yang rendah; dan kerapatan, sifat kekuatan (MOE, MOR, IB), dan ketahanan panas tinggi;

dan dari hasil penerapan analisis diskriminan, diperoleh persamaan diskriminan yaitu  $Y\text{-discr} = \sum b_i \cdot Y_i = +58,916331 Y_1 \text{ (MOE)} + 68,220716 Y_2 \text{ (MOR)} + 49,915031 Y_3 \text{ (IB)} - 24,134231 Y_4 \text{ (kadar air)} + 48,226198 Y_5 \text{ (kerapatan)} - 24,227186 Y_6 \text{ (pengembangan tebal)} - 10,112347 Y_7 \text{ (penyerapan air)} - 34,154327 Y_8 \text{ (daya hantar panas)} + 26,144523 Y_9 \text{ (ketahanan panas)}$ ; di mana nilai  $Y_i$  juga merupakan nilai sifat *hardboard* yang sudah dibakukan (*standardized*) menjadi tanpa satuan (Tabel 9). Nilai mutu ( $Y$  diskriminasi) yang terbesar dari persamaan tersebut mengindikasikan proporsi campuran terbaik (paling prospektif dari notasi p1-p4), pada penggunaan aditif dan asal konsentrasi alkali tertentu. Sebaliknya, nilai  $Y$  diskriminasi terendah menindikasikan pula proporsi campuran paling-tidak-prospektif, juga pada penggunaan aditif dan konsentrasi alkali tertentu. Persamaan diskriminan tersebut dianggap memadai karena memiliki nilai koefisien determinasi kanonik nyata ( $R^2 = 0,934^{**}$ ). Selanjutnya, berdasarkan koefisien persamaan tersebut ( $b_i$ ; angka mutlak), maka peranan masing-masing sifat *hardboard* ( $Y_i$ ) tak sama terhadap nilai mutu *hardboard* yaitu  $b_2 > b_1 > b_3 > b_5 > b_8 > b_9 > b_6 > b_4 > b_7$ .

Nilai diskriminan ( $Y\text{-discr}$ ) hasil penyempurnaan *hardboard* menunjukkan variasi (Tabel 9). Nilai diskriminan tertinggi adalah pada *hardboard* yang dibentuk dari campuran pulp RG (50%) + pulp TKKS (50%) ( $Y\text{-discr} = 143,13\text{-}157,23$ ), disusul berturut-turut oleh *hardboard* dari pulp RG 100%, dan dari campuran pulp RG (50%) + pulp bambu andong (50%) sebagai urutan ke dua ( $Y\text{-discr} = 128,52\text{-}153,24$ ) dan ke tiga ( $Y\text{-discr} = 138,57\text{-}149,11$ ). Urutan terendah (atau ke empat) adalah pada *hardboard* dari campuran pulp RG (50%) + pulp bambu betung (50%) ( $Y\text{-discr} = 138,57\text{-}144,13$ ). Nilai diskriminasi yang paling tinggi tersebut mengindikasikan bahwa aspek positif serat TKKS, seperti tebal dinding serat paling tipis, kekakuan serat rendah (Tabel 5); kadar lignin moderat, total kadar selulosa + pentosan tinggi (Tabel 3); dan derajat kehalusan pulp (CSF) awal rendah, waktu giling pulp cukup singkat, penggunaan konsentrasi alkali 12% yang berindikasi banyak melarutkan lemak/minyaknya (Tabel 7) mengalahkan aspek negatifnya, antara lain daya tenun serat rendah, serat paling pendek (Tabel 5); kelarutan dalam alkohol-benzen dan

NaOH 1% cukup tinggi, kadar abu paling tinggi (Tabel 3); dan rendemen pulp agak rendah, konsumsi alkali paling tinggi (Tabel 7).

Untuk rumput gelagah (RG), aspek positifnya adalah rendemen pulp tertinggi, derajat kehalusan pulp awal terendah, waktu giling tersingkat (Tabel 7); panjang serat moderate, lumen agak lebar, dinding serat agak tipis, bilangan Muhlstep paling rendah, fleksibilitas serat paling tinggi, bilangan Runkel dan kekakuan serat paling rendah (Tabel 5); dan kandungan pentosan dan lignin moderat (Tabel 9). Sementara itu, aspek negatif serat RG adalah kandungan abu dan silika tinggi, kelarutan dalam air dingin, air panas, dan NaOH 1% tinggi (Tabel 3); dan konsumsi alkali cukup tinggi (Tabel 7). Agaknya, untuk pembuatan *hardboard*, aspek positif RG mengalahkan aspek negatifnya pula. Untuk serat bambu andong aspek positifnya (terutama dibandingkan bambu betung) adalah dinding serat lebih tipis, kadar abu dan silika lebih rendah, kadar lignin cukup tinggi, total kadar selulosa + pentosan lebih tinggi; kelarutan dalam air dingin lebih rendah (Tabel 3), dan konsumsi alkali lebih rendah (Tabel 7). Selanjutnya, aspek positif bambu betung adalah (diantaranya dibandingkan pula dengan bambu andong) adalah serat lebih dan paling panjang, diameter serat dan lumen paling lebar, daya tenun serat lebih dan paling tinggi (Tabel 5), dan rendemen pulp lebih tinggi derajat giling awal lebih rendah dan waktu lebih singkat (Tabel 7) Agaknya aspek positif bambu andong sedikit mengalahkan aspek positif bambu betung. Hal ini dapat dilihat pada nilai diskriminannya yang tak jauh berbeda ( $Y\text{-discr} = 128,52\text{-}149,11$  terhadap  $138,57\text{-}144,13$ ) (Tabel 9). Selang nilai  $Y\text{-discr}$  serat bambu andong yang lebih lebar dari pada selang nilai bambu betung mengindikasikan pula prospek bambu tersebut untuk *hardboard* sedikit lebih rendah dibandingkan bambu andong.

Penggunaan aditif (diantaranya melibatkan perekat TRF dan arang aktif) sebagian berindikasi memperbaiki mutu *hardboard* (dibandingkan dengan kontrol/tanpa-aditif), dan sebagian lagi agak berpengaruh negatif terhadap mutu tersebut. Hal ini dapat dilihat dari selang selang nilai diskriminasi mutu *hardboard* dengan aditif ( $Y\text{-discr} = 128,52\text{-}157,23$ ) yang lebih lebar, dibandingkan dengan selang nilai untuk tanpa aditif ( $Y\text{-discr} = 135,71\text{-}149,11$ ) (Tabel 15).

**Tabel 12. Kristalinitas masing-masing bahan serat**  
**Table 12. Crystallinity of each fibrous stuffs**

No.	Macam bahan serat ( <i>Kind of fibrous stuffs</i> )	Kristalinitas ( <i>Crystallinity</i> ), %
1.	Tanda kosong kelapa sawit (TKKS) / <i>Empty oil-palm fruit bunches</i> (EOPB)	27.44
2.	Rumput gelagah (RG) / <i>Saccharum spontaneum grassess</i> (SSG)	32.93
3.	Bambu andong / <i>Andong bamboo</i>	35.27
4.	Bambu betung / <i>Betung bamboo</i>	41.91

Diduga ini ada kaitannya dengan interaksi antara peranan perekar TRF dan arang aktif. Perekar TRF (suhu *curing* lebih rendah dari pada suhu untuk TF) diindikasikan kuat berperan positif terhadap sifat kekuatan produk rekonstitusi kayu atau bahan serat berlignoselulosa lain, termasuk *hardboard* (Santoso, 2010; Anggraini et al., 2013). Di sisi lain, arang aktif juga berperan positif menurunkan penyerapan air dan pengembangan tebal (kestabilan dimensi), akan tetapi terindikasi mengganggu ikatan antara TRF dengan serat dan antar serat sendiri sehingga menurunkan kekuatan *hardboard* (Saptadi, 2009).

#### E. Pencermatan Berkala Nano

Pencermatan dilakukan pada kristalinitas tiap bahan serat (Tabel 12). Berdasarkan kristalinitas, urutan kekuatan individu bahan serat berturut-turut adalah bambu betung, bambu andong, RG, dan TKKS. Akan tetapi urutan tersebut berbeda dengan hasil analisis diskriminan atau nilai urutan prospek untuk *hardboard* (Tabel 9), di mana pertama adalah *hardboard* dari campuran pulp TKKS (50%) + pulp RG (50%); diikuti oleh pulp RG (100%), campuran pulp RG (50%) + pulp bambu andong (50%), dan campuran pulp RG (50%) + pulp bambu betung (50%) berturut-turut sebagai prospek kedua, ketiga, dan keempat (terendah) (Tabel 8). Ini berindikasi bahwa aspek positif non-nano bahan serat tersebut mendominasi aspek negatif nanonya (kristalinitas serat agak rendah). Sebaliknya, kurang berprospeknya serat bambu betung untuk *hardboard* menunjukkan pula bahwa aspek negatif non-nananya lebih kuat dari pada aspek positif nanonya (kristalinitas serat tinggi) (Tabel 12).

## IV. KESIMPULAN

### A. Kesimpulan

Penyempurnaan *hardboard* (percobaan tahun 2014) dilakukan dengan membuatnya dari campuran serat pulp rumput gelagah (RG) + TKKS + bambu (andong/betung), pada berbagai proporsi, dimana pulp RG dan pulp bambu andong dimasak dengan konsentrasi alkali pemasak 10,5%, sedangkan pulp TKKS dari konsentrasi 12,0% terlihat prospektif secara teknis.

Berdasarkan pencermatan sifat (dasar bahan serat, pengolahan pulp, fisis-mekanis *hardboard*), serat yang paling berprospek secara berurutan adalah campuran pulp RG (50%) + pulp TKKS (50%), diikuti oleh pulp RG (100%), campuran pulp RG (50%) + pulp bambu andong (50%), dan campuran pulp RG (50%) + pulp bambu betung (50%). Produk *hardboard* dengan prospek tertinggi pertama, kedua, dan ketiga banyak memenuhi persyaratan (JIS dan ISO) dan secara kualitas lebih baik dari hasil percobaan tahun 2013.

Perekar TRF sebagai aditif berpengaruh positif terhadap kekuatan *hardboard*, sementara arang aktif berpengaruh negatif. Performa TRF lebih baik dibandingkan TF (aditif pada percobaan 2013). Peniadaan emulsi pada aditif (percobaan 2014) berpengaruh positif pada sifat HB, dibandingkan dengan yang menggunakannya (percobaan 2013).

Secara keseluruhan prospek bahan serat secara individu untuk *hardboard* mulai dari yang tertinggi hingga terendah adalah TKKS, RG, bambu andong, dan bambu betung.

## B. Saran

Untuk memperbaiki performa *hardboard* dari bambu betung, disarankan menggunakan penambahan porsi perekat TRF, arang aktif berukuran nano, dan *cross-linking agent*.

Perbaikan mutu *hardboard* hasil penyempurnaan dapat dilakukan dengan urutan prioritas mula-mula MOR, lalu berturut-turut MOE, kerapatan, IB, daya hantar panas, ketahanan panas, pengembangan tebal, kadar air, dan akhirnya penyerapan air.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, D., Roliadi, H., Tampubolon, R.M., Pari, G. & Santoso, A. (2013). Pembuatan papan serat tipe *hardboard* dan MDF dari campuran rumput gelagah, tandan kosong kelapa sawit, serat bambu andong, pelepah nipah, dan sabut kelapa. *Laporan Hasil Penelitian*. Bogor: Pusat Litbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan.
- Anggraini, D., Roliadi, H., Tampubolon, R.M., Pari, G. & Santoso, A. (2014). Teknologi Penyempurnaan sifat *hardboard* dan campuran rumput gelagah, tandan kosong kelapa sawit, dan serat bambu (andong/betung). *Laporan Hasil Penelitian*. Bogor: Pusat Litbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan.
- Apriani, Y. (2010). Kemungkinan pemanfaatan kayu mahang sebagai bahan baku alternatif untuk pulp kertas. *Buletin Penelitian Hasil Hutan*, 16(2), 141-149.
- BPS. (2013). *Statistik Indonesia*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Departemen Kehutanan. (2013). *Statistik Kehutanan Indonesia*. Jakarta: Departemen Kehutanan.
- Dransfield, S. & Widjaja, E.A., (1995). *Bamboo: Plant resources of South East Asia No. 7*. Bogor: PROSEA.
- Hussein, A.S., Ibrahim, K.I., & Abdullah, K.M. (2011). Tannin-phenol formaldehyde resins as binders for cellulosic fibers: Mechanical properties. *Natural Resources*, (2), 98-101. [www.scirp.org/journal/paperdownload.aspx?paperid=5262](http://www.scirp.org/journal/paperdownload.aspx?paperid=5262).
- ISO. (2013). *ISO/DIS 27769-2, Wood-based panels – Wet process fiberboard, part 1: Specification; and ISO/DIS 16895-2 and 27769-1, Wood based panels – Dry process fiberboard and wet process fiberboard: Requirements*. SC/TC 89/SC1. Geneva, Switzerland.
- JIS A 5905. (2003). *Japanese Industrial Standard (JIS): Fiberboard*. Tokyo, Japan.
- SAS. (2007). *SAS (Statistical Analysis System) guide for personal computers, (6 Edition)*. SAS Institute Inc. Cary, NC. 27512-8000.
- TAPPI. (2010). *Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI)'s Test Methods*. Atlanta, Georgia: TAPPI Press.
- KOMPAS. (2014). Produsen sawit dorong percepatan CPO. *Harian Kompas*, tanggal 15 November 2014, hal 13. Kompas. Jakarta.
- KOMPAS. (2013a). Menjaga hutan bambu demi mata air. *Harian Kompas*, tanggal 9 Mei 2013, hal 16. Jakarta.
- KOMPAS. (2013b). CPO kian sulit bersaing: Bea keluar 9% untuk bulan Februari. *Harian Kompas*, tanggal 1 Februari 2013. Jakarta
- KOMPAS. (2012). Data hutan: Laju deforestasi hutan 0,5 juta hektar. *Lingkungan*. *Harian Kompas*, tanggal 9 Mei 2012. Jakarta.
- Madsen, B. & Gamstedt, E.K. (2013). Wood versus Plant Fibers: Similarities and Differences in Composite Applications. *Advances in Materials Science and Engineering*. Volume 2013 (2013), Article ID 564346, 14 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2013/564346>.
- Morrison, D.F. (2003). *Multivariate statistical Methods*. 2<sup>nd</sup> ed. New York – London – Tokyo – Toronto: McGraw-Hill Book Co.
- Ott, R.L. (1994). *An introduction to statistical methods and Data Analysis*. Belmont, CA. USA: Duxbury Press.
- Pari, G., Widywati, T. & Yoshida, M. (2009). Mutu arang aktif dan serbuk gergaji kayu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 27(4), 381-398.

Saptadi, D. (2009). Kualitas papan isolasi dari campuran kayu amngium dan arang. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 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: LPHH.