

**PENYEMPURNAAN SIFAT PAPAN SERAT KERAPATAN SEDANG
DARI PELEPAH NIPAH DAN CAMPURANNYA
DENGAN SABUT KELAPA**
*(Improvement on Properties of Medium-Density Fiberboard Manufactured
from Nypa Midrib and Its Mixture with Coconut Coir)*

Dian Anggraini Indrawan, Han Roliadi, Rossi Margareth Tampubolon & Gustan Pari

Pusat Litbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan
Jl. Gunung Batu No. 5 Bogor Telp./Fax. (0251) 8633378, 8633413
e-mail: elisabeth_dian@yahoo.com; hroliadi@yahoo.com

Diterima 11 Maret 2013, disetujui 19 Juni 2013

ABSTRACT

Nowadays, the potency of conventional fibrous materials (i.e. woods) for the manufacture of medium-density fiberboard (MDF) becomes depleted and scarce. Use of alternative fibers which are abundantly available and still largely unutilized, i.e. nypa midribs and coconut coirs, has been attempted for MDF (medium-density fiberboard), using urea-formaldehyde (UF) adhesive. However, such study showed that MDF from each of the two fiber sources could not satisfy the JIS and ISO standards. In relevant, improvement trial on MDF properties was accomplished using both kinds of fibers.

Intially, those fiber stuffs had their basic properties examined, i.e. specific gravity, chemical composition, and fiber dimensions and their derived values. The MDF's fibrous pulping employed a hot semi-chemical soda process under atmospheric pressure at two alkali concentrations (8% and 12%). The resulting pulps were then added with additives, i.e. 5% alum, 5% tannin-formaldehyde (TF) adhesive either incorporated with activated charcoal (5%) or not; and then shaped into MDF mat using wet process. Physical-strength properties and formaldehyde emission of the resulted MDF were examined.

Assessing those properties, nypa-midrib fibers were more prospective for MDF than coconut-coir fibers. Activated-charcoal addition lowered MDF's formaldehyde-emission and improved dimensional stability, but decreased its strengths. In properties, MDFs from nypa fibers 100% were significantly the closest in satisfying the standard (JIS and ISO). Yet, coconut-coir fibers could still be prospective for MDF by mixing them (pulp form) with nypa-fiber pulp at the proportion (w/w): 25%+75% and 50%+50%. The MDF with TF adhesive afforded better properties than the previous experiment (using UF), e.g. greater strengths, lowered emission; and satisfying more of the JIS and ISO standard.

Keywords: MDF, alternative fibers, nypa midrib and coconut coirs, improvement on MDF properties

ABSTRAK

Dewasa ini, potensi bahan serat konvensional (khususnya kayu) untuk pembuatan papan serat berkerapatan sedang (MDF) semakin terbatas dan langka. Penggunaan bahan serat alternatif yang tersedia berlimpah dan belum banyak dimanfaatkan, yaitu pelepah nipah dan sabut kelapa, telah dicoba untuk MDF, menggunakan perekat urea formaldehida (UF). Akan tetapi, sifat produk MDF sebagian besar tidak memenuhi persyaratan JIS dan ISO. Sebagai kaitannya, percobaan perbaikan sifat MDF dilakukan dengan tetap menggunakan ke dua macam bahan serat tersebut.

Mula-mula masing-masing bahan serat diperiksa sifat dasarnya yaitu berat jenis, komposisi kimia, dan dimensi serat dan nilai turunannya. Pengolahan pulp untuk MDF menerapkan proses semi-kimia soda panas terbuka (bertekanan atmosfer) pada 2 taraf konsentrasi alkali (8% dan 12%). Pulp yang dihasilkan kemudian ditambahkan bahan aditif berupa alum 5%, bahan perekat tanin formaldehida (TF) baik dikombinasikan dengan arang aktif 5% atau tidak; dan selanjutnya dibentuk menjadi lembaran MDF dengan cara basah. MDF tersebut lalu diperiksa sifat fisis-mekanis dan emisi formaldehida.

Hasil pencermatan sifat fisis-mekanis mengindikasikan bahwa serat pelepah nipah lebih prospektif untuk MDF dibandingkan sabut kelapa. Arang aktif berakibat penurunan sifat kekuatan/mekanis MDF dan emisi formaldehida, tetapi memperbaiki kestabilan dimensinya. Sifat MDF dari pelepah nipah 100% paling banyak mendekati persyaratan (JIS dan ISO). Meskipun demikian, sabut kelapa diharapkan bisa prospektif untuk MDF dengan mencampurnya (bentuk pulp) dengan pulp pelepah nipah pada proporsi (b/b) 25%+75% dan 50%+50%. MDF yang menggunakan perekat TF memiliki sifat lebih baik dibandingkan MDF percobaan sebelumnya (menggunakan perekat UF), antara lain kekuatan lebih tinggi, emisi formaldehida lebih rendah, dan lebih banyak memenuhi persyaratan JIS dan ISO.

Kata kunci : Papan serat berkerapatan sedang (MDF), serat alternatif, pelepah nipah dan sabut kelapa, perbaikan sifat

I. PENDAHULUAN

Kayu merupakan bahan serat yang umum digunakan untuk pembuatan papan serat, termasuk yang berkerapatan sedang (MDF). Namun demikian, pasokan serat dari hutan alam semakin menipis (Anonim, 2006; 2012), sehingga perlu dicari sumber serat alternatif yang dapat digunakan untuk MDF. Beberapa sumber yang dapat digunakan antara lain tandan kosong kelapa sawit, ampas tebu (*bagasse*), pelepah pisang, bambu, pelepah nipah dan sabut kelapa. Pelepah nipah dan sabut kelapa merupakan sumber serat yang sangat berpotensi digunakan sebagai bahan baku MDF.

Nipah (*Nypa fruticans* Wumb) merupakan jenis palma (golongan monokotil) yang banyak tumbuh di ekosistem hutan bakau (*mangrove forest*), di daerah pasang-surut dekat tepi laut, atau lepas pantai (De Bos dan Adnan, 1958; Wikipedia, 2009; IUCNLIST, 2013). Saat ini nipah dapat disadap niranya, yaitu cairan manis yang diperoleh dari tandan bunga nipah yang belum mekar. Nira tersebut dimasak hingga kental dan lalu dikeringkan kemudian dipasarkan dalam bentuk gula nipah (*palm sugar*). Produksi nipah berlimpah hingga nipah berumur 10-12 tahun, lebih dari umur tersebut produksi nipah kurang ekonomis lagi, dan menyisakan limbah berupa pelepah nipah. Pelepah nipah berupa serat berligno-selulosa, yang secara teknis dapat dimanfaatkan untuk pembuatan pulp, kertas, dan turunan selulosa lainnya, termasuk papan serat (IUCNLIST, 2013). Selain itu ketersediaan pohon nipah di Indonesia mencapai 20-30 juta ha, merupakan sumber serat yang cukup potensial untuk MDF (Wikipedia, 2009; Anonim, 2011; Rahman *et al.*, 2011).

Bahan alternatif lain yang terdapat dalam jumlah besar adalah sabut kelapa. Sabut kelapa merupakan bagian mesokarp buah kelapa, yang menyusun sekitar 30% dari total berat buah kelapa (Iskandar dan Supriadi, 2010). Pohon kelapa (*Cocos nucifera*), sama halnya dengan nipah, juga termasuk golongan monokotil yang merupakan serat berligno-selulosa yang mengandung selulosa, lignin, dan bahan ekstraktif sehingga secara teknis dapat digunakan pula untuk pulp, kertas, dan MDF (Arsyad, 2010). Diperkirakan areal tanaman kelapa di Indonesia mencapai sekitar 3,3 juta ha pada tahun 2010 dengan produksi buah kelapa sebesar 5,7 juta ton. Atas dasar itu diperkirakan potensi sabut kelapa Indonesia sebesar 1,7 juta ton pada tahun yang sama (Anonim, 2011).

Percobaan penggunaan pelepah nipah dan sabut kelapa untuk MDF telah dilakukan oleh beberapa peneliti diantaranya Roliadi *et al.* (2011), menggunakan perekat urea formaldehida (UF) dan aditif arang aktif. Penggunaan arang aktif dapat menurunkan emisi formaldehida MDF, tetapi menurunkan sifat kekuatannya. Sebagian besar sifat fisis dan kekuatan (mekanis) MDF tidak memenuhi persyaratan JIS (Anonim, 2003) dan ISO (Anonim, 2009b). Tulisan ini mendiskusikan usaha perbaikan sifat MDF telah dilakukan dengan menggunakan ke dua macam bahan serat tersebut, dan campurannya dalam berbagai proporsi. Bahan perekat yang digunakan adalah tanin formaldehida (TF), dikombinasikan dengan aditif lain. Perekat UF dan TF sama-sama bersifat *thermoset*, tetapi keperagaan TF lebih *waterproof*. Lebih lanjut, perekat UF merupakan hasil sintesa minyak bumi atau batu bara yang sifatnya tidak terbarukan, dan pertimbangan dipilihnya perekat UF saat itu karena harganya

yang relatif murah. Di lain hal, tanin sebagai senyawa penyusun TF bersifat terbarukan karena diperoleh antara lain sebagai ekstrak kulit jenis tumbuhan tertentu (terutama *Acacia* spp.) (Santoso, 2011). Keperagaan perekat TF yang lebih *waterproof* dapat mengurangi kemungkinan air memasuki struktur papan MDF yang selanjutnya dikhawatirkan dapat mengganggu ikatan serat-perekat-serat. Dengan demikian percobaan pembuatan MDF menggunakan perekat TF diharapkan memberi hasil lebih baik dan ramah lingkungan.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

Sumber serat yang digunakan adalah pelepah nipah dan sabut kelapa. Contoh serat (pelepah nipah dan sabut kelapa) diambil dari daerah Banten (Provinsi Banten); Bogor, Sukabumi, dan Pangandaran (Provinsi Jawa Barat). Pelepah nipah tersebut diambil dari pohon induk yang sudah tidak ekonomis disadap niranya. Dalam pembentukan lembaran papan serat digunakan bahan aditif berupa alum (aluminum sulfat), perekat tanin formaldehida (TF) dan fenol-formaldehida (PF), emulsi lilin, dan arang aktif.

Peralatan yang digunakan untuk pembuatan papan serat skala laboratorium adalah ketel pemasak, *Hollander beater*, *stone refiner*, *freeness tester*, *fiberboard-mat former (deckle box)*, *stock chest*, dan mesin pengempa dingin dan panas. Peralatan yang digunakan untuk pengujian sifat fisik dan kekuatan/mekanik papan serat mencakup *universal testing machine* (UTM); serta mengetahui karakteristik individu dan jalinan serat digunakan instrumen berkemampuan nano yaitu *X-ray diffraction* (XRD).

B. Metode

1. Sifat dasar bahan baku serat

a. Berat jenis, kadar air, dan analisis komposisi kimia

Pemeriksaan berat jenis, kadar air, dan analisis komposisi kimia bahan serat (pelepah nipah dan sabut kelapa) dilakukan menurut standar TAPPI (Anonim, 2007). Komposisi kimia tersebut mencakup kadar selulosa, kadar lignin, kadar holoselulosa, kadar alfa-selulosa, kadar pentosan,

kadar hemiselulosa, kadar abu, kadar silika, kelarutan dalam air dingin, air panas, alkohol-benzen 1:2, dan dalam NaOH 1%.

b. Dimensi serat dan nilai turunannya

Pengukuran dimensi serat dan perhitungan nilai turunannya dilakukan menurut Prosedur Lembaga Penelitian Hasil Hutan (Silitonga *et al.*, 1972; Apriani, 2010). Pemeriksaan tersebut 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. Pembuatan pulp nipah dan pulp sabut kelapa

a. Penyiapan serpih pelepah nipah dan sabut kelapa, dan pemasakannya menjadi pulp

Pelepah nipah dan sabut kelapa secara terpisah dijadikan serpih berukuran panjang 2-3 cm, lebar 2-2,5 cm, dan tebal 2-3 mm secara manual, dan selanjutnya dikeringkan di tempat terbuka (di bawah atap) hingga mencapai kadar air kering udara. Serpih pelepah nipah dan serpih sabut kelapa, yang telah mencapai kadar air kering udara secara terpisah dimasak pada ketel pemasak hasil rekayasa Pustekolah berkapasitas 50 kg serpih kering oven per *batch*, menggunakan proses semi kimia soda panas terbuka. Pemasakan serpih bahan serat tersebut dilakukan dengan dua variasi konsentrasi alkali (NaOH) yaitu 8% dan 12% (berdasarkan berat kering bahan serat) pada suhu mendidih air (100°C) selama 3 jam. Kondisi tetap pemasakan lainnya adalah nilai banding bahan baku serat terhadap larutan pemasak sebesar 1: 8 (b/v). Selesai pemasakan, serpih lunak dipisahkan dari larutan pemasak dan dicuci dengan air sampai bebas bahan kimia pemasak. Dari sisa larutan pemasak (yang sudah mengalami pengenceran akibat penggunaan air pencuci tersebut) diambil contoh untuk keperluan pemeriksaan konsumsi alkali. Serpih lunak hasil pencucian selanjutnya diurai hingga menjadi serat-serat terpisah (pulp) menggunakan alat *Hollander beater* pada konsistensi 3-4% dan dilanjutkan pada *stone refiner*, hingga mencapai derajat kehalusan 600-700 ml CSF (15-17°SR), dan waktu giling yang diperlukan untuk mencapai derajat kehalusan tersebut dicatat. Pulp yang diperoleh selanjutnya diturunkan kadar airnya (menggunakan *centrifuge*), dan selanjutnya ditentukan rendemennya, kemudian siap dibentuk menjadi lembaran MDF.

c. Pembentukan lembaran papan serat tipe MDF

Pulp pelepah nipah dan dan pulp sabut kelapa hasil pemasakan menggunakan 2 taraf konsentrasi alkali (8% dan 2%), masing-masing taraf tersebut saling dicampur (bentuk tersuspensi dalam air) dalam 3 taraf proporsi yaitu 100%+0%, 75%+25%, dan 50%+50% (b/b, dasar berat kering oven). Bahan aditif yang digunakan terdiri dari 4 taraf yaitu perekat fenol formaldehida (PF) 5% + emulsi lilin 5% + tawas 5%; perekat tanin formaldehida (TF) 5% + emulsi lilin 5% + tawas 5%; perekat TF 5% + emulsi lilin 5% + tawas 5% + arang aktif 4%; dan tanpa aditif (kontrol). Penggunaan perekat PF (fenol formaldehida) ditujukan sebagai pembandingan terhadap TF. Ukuran lembaran MDF adalah 30 cm x 30 cm x 1 cm, bertarget kerapatan 0,70 g/cm³, dibentuk secara basah dengan alat pencetak *deckle box*, dilanjutkan dengan pengempaan dingin (suhu kamar, tekanan 5 kg/cm², 10 menit), perlakuan panas (suhu >100°C, 30 menit), pengempaan panas (170°C, 30 kg/cm², 10 menit). Lembaran MDF yang terbentuk dikondisikan (24 jam), dan siap diuji sifat fisis, mekanis, dan emisi formaldehida menurut standar JIS (Anonim, 2003).

3. Pengujian

a. Sifat pengolahan pulp

Pengujian tersebut mencakup rendemen pulp, konsumsi alkali, derajat kehalusan awal, dan waktu giling mencapai derajat kehalusan 600-700 ml CSF (15-17°SR), menurut standar TAPPI (Anonim, 2007).

b. Sifat fisis dan mekanis MDF

Pengujian sifat fisis dan mekanis MDF mengacu pada standar JIS (Anonim, 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.

c. Pencermatan dengan XRD

Pencermatan ini dilakukan sebagai tambahan atau pelengkap data/informasi yang diperoleh dari hasil pengujian secara konvensional, yaitu mencermati karakteristik berskala nano bahan serat (pelepah nipah dan sabut kelapa).

d. Daya adsorpsi arang aktif

Arang aktif yang digunakan sebagai aditif pada pembentukan lembaran MDF, diuji daya adsorpsinya terhadap iod, benzen, dan khloroform (Pari *et al.*, 2009).

C. Rancangan Percobaan dan Analisis Data

Untuk menelaah data sifat dasar (berat jenis, kadar air, komposisi kimia, dimensi serat dan nilai turunannya) digunakan rancangan acak lengkap satu faktor, yaitu macam bahan serat (S) yaitu pelepah nipah (s1) dan sabut kelapa (s2). Pengamatan sifat dasar tersebut dilakukan terhadap masing-masing bahan serat dilakukan sebanyak 8-10 kali ulangan.

Untuk menelaah sifat pemasakan pulp, digunakan rancangan acak lengkap faktorial, dengan faktor (perlakuan) adalah dua macam bahan serat (S), dan konsentrasi alkali (A) yaitu 8% (a1) dan 12% (a3). Setiap taraf dari kombinasi kedua faktor tersebut (S*A) diamati sebanyak 5 kali ulangan.

Selanjutnya data sifat fisik dan lembaran papan serat tipe MDF ditelaah dengan rancangan acak lengkap berpola faktorial. Sebagai faktor adalah proporsi campuran bahan serat antara pulp pelepah nipah dengan pulp sabut kelapa (A) dalam 3 taraf yaitu 100%+0% (a1), 75%+25% (a2), dan 50%+50% (a3); konsentrasi alkali (B) dalam 2 taraf (8% dan 12%); dan penambahan bahan aditif (C) yang terdiri dari 4 macam yaitu tanpa aditif/kontrol (c1); perekat PF 5% + emulsi lilin 5% + tawas 5% (c2); dan perekat TF 5% + emulsi lilin 5% + tawas 5% (c3); dan perekat TF + emulsi lilin 5% + tawas 5% + arang aktif (c4). Setiap taraf dari kombinasi faktor-faktor tersebut (A*B*C) diamati (diukur) sebanyak 3 kali ulangan.

Sekiranya pengaruh faktor-faktor baik dalam hal sifat dasar (S), pengolahan pulp (S, A, dan interaksi S*A), ataupun dalam pembentukan lembaran MDF (A, B, C, dan interaksi A*B, A*C, B*C, atau A*B*C) nyata, maka dilakukan uji lanjutan dengan dengan uji jarak beda nyata jujur (BNJ) atau Tukey (Snedecor dan Cochran, 1980). Lebih lanjut untuk menentukan kombinasi perlakuan (faktor) terbaik (A, B, C) pada pembentukan MDF, digunakan analisis diskriminan berikut koefisien determinasi kanonik (Anonim, 1997; Morrison, 2003).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sifat Dasar Bahan Serat

1. Kadar air, berat jenis, dan komposisi kimia

Analisis keragaman (Uji F) terhadap berat jenis dan kadar air menunjukkan bahwa perbedaan macam bahan serat (pelepeh nipah dan sabut

kelapa) berpengaruh nyata (Tabel 1); dan data sifat dasar tersebut disajikan pada tabel yang sama pula. Berat jenis sabut kelapa jauh lebih rendah dibandingkan dengan pelepeh nipah. Sabut kelapa memiliki dinding serat lebih tipis dan diameter lumen lebih besar dibandingkan pelepeh nipah. Kadar air pelepeh nipah sedikit lebih tinggi dari pada sabut kelapa.

Tabel 1. Data sifat dasar (kadar air, berat jenis, dan komposisi kimia) bahan serat berligno-selulosa (pelepeh nipah dan sabut kelapa), yang diikuti dengan hasil analisis keragaman (Uji F) dan uji jarak beda nyata jujur/Tukey (BNJ) - dinyatakan dalam skor (S)

Table 1. Data on basic properties (moisture content, specific gravity/density, and chemical composition) of ligno-cellulosic fibrer stuffs (nypha midrib and coconut coir), followed with analysis of variance (F-test) and honestly significant difference/Tukey test - expressed in scores (S)

Berat jenis dan komposisi kimia (Specific gravity and chemical composition)	Pelepeh nipah (<i>Nypha midrib</i>)		Sabut kelapa (<i>Coconut coir</i>)		Uji F/BNJ (F-test/ Tukey)	+ / -		
	M	Skor (Scores)	M	Skor (Scores)				
Kadar air / Moisture content (%)	12,59	>	3	9,23	<	4	8,23 **	-
Kerapatan / Density (g/cm ³)	0,208	>	3	0,162	<	4	5,29*	-
Kadar selulosa / Cellulose content (%)	44,66	<	3	55,60	>	4	6,28*	+
Holosekulosa / Holocellulose (%)	62,40	>	4	55,44	<	3	7,37 **	+
Alfa-selulosa / Alpha-cellulose (%)	28,75	<	3	30,92	>	4	5,89 *	+
Hemiselulosa / Hemicellulose (%)	22,97	>	4	21,40	<	3	13,41 **	+
Pentosan (%)	17,80	<	3	20,84	>	4	15,32 **	+
Lignin (%)	17,75	<	3	34,75	>	4	11,86 **	+
Kadar abu / Ash content (%)	7,80	>	3	4,65	<	4	6,44 *	-
Kadar silika / Silica (%)	1,79	>	3	0,64	<	4	9,13 **	-
Kelarutan dalam alkohol-benzen / Solubility in alcohol-benzena (%)	3,20	>	3	1,87	<	4	12,84 **	-
Kelarutan dalam air dingin / Solubility in cold water (%)	6,62	>	3	5,01	<	4	8,03 **	-
Kelarutan dalam air panas / Solubility in hot water (%)	16,10	>	3	6,13	<	4	7,23 **	-
Kelarutan dalam / Solubility in NaOH 1% (%)	34,09	>	3	17,52	<	4	15,12 **	-
Total skor / Score total (TS)			44			54		

Keterangan (Remarks): M = rata-rata dari 5 ulangan (average of 5 replications); Uji F/BNJ pelepeh nipah terhadap sabut kelapa (F-test/HSD for nypha midrib against coconut coirs); >/< = perbedaan/difference (lebih besar-lebih kecil / greater than-smaller than) nyata menurut Uji-F/BNJ/significant by the F-test/Tukey; * = nyata pada taraf 5% (significant at 5% level); ** = nyata pada taraf 1% (significant at 1% level); S dan/and TS = semakin tinggi skor (dan total skor) semakin baik pengaruhnya terhadap produk MDF/the greater the score (and TS), the better the effects on MDF product; + / - = + (semakin besar nilai rata-rata, semakin dikehendaki untuk pulp/MDF/the greater the value, the more desired for pulp/MDF) dan/and - (semakin rendah nilai, semakin dikehendaki/the less the value, the more desired)

Hasil pengujian komposisi kimia kedua sumber serat menunjukkan perbedaan nyata pula (Tabel 1). Serat nipah memiliki kadar silika, holosekulosa, selulosa (dan alfa-selulosa), dan hemiselulosa lebih tinggi dari pada serat sabut kelapa. Demikian juga dengan pengujian kelarutannya (dalam air dingin, air panas, dan NaOH 1%), serat nipah lebih tinggi kelarutannya

dari pada sabut kelapa. Kadar silika, berat jenis, dan kelarutan yang tinggi tidak dikehendaki. Kadar silika dan berat jenis tinggi cenderung memerlukan kondisi pengolahan lebih keras, mengkonsumsi lebih banyak energi, dan cepat menumpulkan alat, sehingga berakibat negatif terhadap sifat fisis dan mekanis MDF. Kelarutan yang tinggi berindikasikan kandungan ekstraktif,

porsi jaringan parenkim, dan tingkat degradasi bahan serat tinggi pula. Kandungan ekstraktif terkait erat dengan konsumsi bahan kimia pemasak, sedangkan jaringan parenkim mempengaruhi sifat polaritas (hidrofilik) bahan serat. Hal ini diduga ada kaitannya dengan lebih tingginya kadar air pelepah nipah (Meyer, *et al.*, 1985; Saupe, 2011; Wikipedia, 2013a). Tingkat degradasi serat tinggi menyebabkan kekuatan individunya rendah, sehingga berpengaruh negatif terhadap sifat fisis dan mekanis MDF. Kadar holoselulosa (selulosa), tinggi dikehendaki untuk MDF, karena merupakan komponen utama serat, sedangkan kadar pentosan dan hemiselulosa tinggi juga dikehendaki, sebab memudahkan proses penggilangan pulp sehingga serat tidak mudah rusak pada perlakuan mekanis.

Berdasarkan uji F, kadar lignin pelepah nipah lebih rendah dibandingkan sabut kelapa (Tabel 1). Kadar lignin tinggi lebih dikehendaki, karena berperan sebagai bahan pengikat alami pada pembentukan lembaran papan serat (MDF). Kadar lignin tinggi ikut pula menjelaskan lebih rendahnya kadar air sabut kelapa dari pada pelepah nipah. Ini disebabkan lignin bersifat kurang higroskopis dibandingkan selulosa (Browning, 1967; Casey, 1980; Diydata, 2010; Fiberboard, 2010; Design-Technology, 2011; Wikipedia 2013c). Berdasarkan total skor (hasil manipulasi uji BNJ), serat pelepah nipah memiliki skor (44) yang lebih rendah dibandingkan skor serat sabut kelapa (54) (Tabel 1). Selanjutnya berdasarkan sifat dasar kedua sumber serat tersebut, sabut kelapa diduga dapat menghasilkan papan MDF yang lebih berkualitas dari pada serat pelepah nipah.

Tabel 2. Data sifat dasar (dimensi serat dan nilai turunannya) bahan serat berligno-selulosa (pelepah nipah dan sabut kelapa), yang diikuti dengan hasil uji anova (uji F) dan uji jarak beda nyata jujur/Tukey (BNJ) - dinyatakan dalam skor (S)

Table 2. Data on basic properties (fiber dimensions and their derived values) of ligno-cellulosic fiber stuffs (nypha midrib and coconut coir), followed with analysis of variance (F-test) and honestly significant difference/Tukey test - expressed in scores (S)

Dimensi serat dan nilai turunannya (Fiber dimension and their derived values)	Pelepah nipah (<i>Nypha midrib</i>)			Sabut kelapa (<i>Coconut coir</i>)			Uji F/BNJ (F-test/Tukey)	+ / -
	M		Skor (Scores)	M		Skor (Scores)		
Panjang serat / Fiber length, L (m)	2634,49	>	4	1543,40	<	3	5,81 *	+
Diameter serat / Fiber diameter, d (m)	22,99	<	3	29,71	>	4	13,64 **	+
Diameter lumen / Lumen diameter, l (m)	18,56	<	3	25,15	>	4	17,88 **	+
Tebal dinding serat (Fiber-wall thickness), w (m)	2,22	>	3	1,93	<	4	8,33 **	-
Daya tenun / Felting power, L/d	111,36	>	4	55,06	<	3	14,22 **	+
Bilangan Runkel / Runkel ratio, 2w/l	0,24	>	3	0,16	<	4	5,65 *	-
Koef. fleksibilitas serat / Fiber-flexibility coeff, l/d	0,81	<	3	0,87	>	4	13,72 **	+
Koef. kekakuan serat / Fiber-rigidity coeff, w/d	0,10	>	3	0,08	<	4	12,43 **	-
Bilangan Muhlstep / Muhlstep ratio, 100*[(d ² -l ²)/d ²]	35,00	>	3	25,12	<	4	9,26 **	-
Total skor (TS)			32			34		

Keterangan (Remarks): M = rata-rata dari 5 ulangan (average of 5 replications); Uji F/BNJ pelepah nipah terhadap sabut kelapa (F-test/HSD for *nypha midrib* against *coconut coirs*); >/< = perbedaan/difference (lebih besar-lebih kecil/greater than-smaller than) nyata menurut Uji-F/BNJ/significant by the F-test/Tukey; * = nyata pada taraf 5% (significant at 5% level); ** = nyata pada taraf 1% (significant at 1% level); S dan/and TS = semakin tinggi skor (dan total skor) semakin baik pengaruhnya terhadap produk MDF / the greater the score (and TS), the better the effects on MDF product; + / - = + (semakin besar nilai rata-rata, semakin dikehendaki untuk pulp/MDF / the greater the value, the more desired for pulp/MDF) dan/and - (semakin rendah nilai, semakin dikehendaki / the less the value, the more desired)

2. Dimensi serat dan nilai turunannya

Analisis keragaman terhadap dimensi serat dan nilai turunannya menunjukkan bahwa perbedaan macam bahan serat juga berpengaruh nyata (Tabel 2); dan tabel tersebut menyajikan pula data sifat dasar ini. Penelaahan lebih lanjut (Uji BNJ) menunjukkan bahwa panjang serat, tebal dinding serat, daya tenun, bilangan Muhlstep, bilangan Runkel, dan koefisien kekakuan nilainya untuk nipah lebih tinggi dari pada untuk sabut kelapa. Sebaliknya, nilai diameter serat, diameter lumen, dan koefisien kelemasan serat pelepah nipah lebih rendah dari pada sabut kelapa. Serat yang panjang lebih dikehendaki untuk papan serat (MDF) 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 lebih dikehendaki, karena semua hal tersebut berkaitan erat dengan sifat menggepeng, fleksibilitas, dan anyaman serat, sehingga berpengaruh positif terhadap kualitas produk pulp termasuk MDF (Silitonga *et al.*, 1972; Apriani, 2010).

Berdasarkan nilai total skor (TS) dimensi serat dan nilai turunannya (Tabel 2), ternyata TS untuk serat pelepah nipah (32) juga lebih rendah dibandingkan TS sabut kelapa (34). Berdasarkan telaahan sifat dasar ini, sabut kelapa diduga dapat menghasilkan papan MDF yang lebih berkualitas dari serat pelepah nipah.

B. Sifat Pengolahan Pulp

Analisis keragaman terhadap sifat pengolahan pulp (rendemen, konsumsi alkali, dan waktu giling mencapai 600-700 ml CSF), menunjukkan bahwa bahan serat (pelepah nipah dan sabut kelapa) (S), konsentrasi alkali (A), dan interaksinya (S*A) berpengaruh nyata (Lampiran 1); dan data sifat pengolahan tersebut disajikan pada Tabel 3. Ternyata rendemen pulp nipah lebih rendah dibandingkan dengan rendemen pulp sabut kelapa. Hal ini disebabkan kadar lignin pada sabut kelapa lebih tinggi dibandingkan dengan nipah (Tabel 1) (Casey, 1980; Smook dan Kocurek, 1993).

Alkali pada proses semi-kimia bersifat melunakkan lignin dan melarutkannya secara

parsial. Peningkatan konsentrasi alkali (8 - 12%) tidak banyak menurunkan rendemen pulp sabut kelapa, tetapi lebih banyak terhadap pulp nipah. Hal ini ada kaitannya dengan lebih tingginya porsi jaringan parenkim dasar (*ground parenchyma tissue*) dan kandungan ekstraktif pada serat nipah sebagaimana diindikasikan dengan lebih tingginya kelarutan dalam NOH 1%, air dingin, dan air panas (Tabel 1). Konsentrasi alkali yang semakin tinggi, selain mampu mendegradasi lignin juga lebih banyak melarutkan bahan ekstraktif. Hal ini mengindikasikan bahwa porsi senyawa polimer berantai pendek pada serat pelepah nipah lebih tinggi dari sabut kelapa (Casey, 1980; Anonim, 2007; Wikipedia, 2013b). Secara keseluruhan rendemen pulp nipah (54.33-58.60%) terletak di bawah selang rendemen yang umum untuk pulp semi-kimia (60-85%), sedangkan rendemen pulp sabut kelapa (73.06-75,97%) mampu memenuhi kriteria tersebut.

Derajat kehalusan (ml CSF) untuk pulp nipah lebih rendah dibandingkan pulp sabut kelapa. Selain itu, waktu giling mencapai 600-700 ml CSF untuk pulp nipah tersebut juga lebih singkat dari pada untuk pulp sabut kelapa (Tabel 3). Hal ini mengindikasikan bahwa pulp nipah lebih mudah digiling dari pada pulp sabut kelapa. Kemudahan penggilingan pulp tersebut disebabkan kadar hemiselulosa (yang bersifat lebih hidrofilik) pada pelepah nipah lebih tinggi dari sabut kelapa, serta kadar ligninnya (yang bersifat hidrofobik) lebih rendah (Tabel 1). Lebih tingginya kadar lignin sabut kelapa tersebut berakibat pula seratnya lebih kaku dan sukar menggepeng pada saat penggilingan (Prentti, 2006), walaupun dinding serat sabut kelapa lebih tipis dan diameter lumennya lebih besar dari pada serat pelepah nipah (Tabel 2).

Peningkatan konsentrasi alkali (8-12%) berakibat penurunan derajat kehalusan pulp pelepah nipah (700-670 ml CSF) yang lebih drastis dibandingkan dengan penurunan untuk pulp sabut kelapa (710-700 ml CSF). Hal ini memperkuat indikasi lagi bahwa lebih tingginya kadar lignin awal pada pelepah nipah berperan pada fenomena tersebut. Dengan perkataan lain, dibutuhkan konsentrasi alkali lebih besar pada pemasakan sabut kelapa guna menghasilkan pulp dengan derajat kehalusan yang menyamai pulp pelepah nipah.

Table 3. Data sifat pengolahan pulp, yang diikuti dengan hasil uji jarak beda nyata jujur/Tukey (BNJ) - dinyatakan dalam mutu (G) dan skor (S)

Table 3. Data on pulp-processing properties, followed with honestly significant difference/ Tukey test - expressed in grades (G) scores (S)

(SK)	Sifat pengolahan (<i>Processing properties</i>) *												TS
	Rendemen pulp/ <i>Pulp yield</i>			Derajat kehalusan/ <i>Freeness degree</i>			Konsumsi alkali/ <i>Alkali consumption</i>			Waktu giling mencapai / <i>Beating duration to reach</i> 600-700 ml CSF (menit / <i>minutes</i>)			
	Y1	G	S1	Y2	G	S2	Y3	G	S3	Y4	G	S3	
s1k1	58,60	C	1	700	AB	3.5	6,77	B	4	55	C	3	11,5
s1k2	54,33	D	2	670	B	4	10,92	A	3	53	D	4	13,0
s2k1	75,97	A	4	710	A	3	6,78	B	4	60	A	1	12,0
s2k2	73,06	B	3	700	AB	3.5	11,08	A	3	58	B	2	11,5
+ / -		+			-			-			-		

Keterangan (*Remarks*): (SK) = Kombinasi perlakuan / *Treatment combination*; Macam bahan serat / *Kind of fiber stuffs* (S): s1 = pelepah nipah / *nypa midrib*; s2 = sabut kelapa / *coconut coir*; Konsentrasi alkali / *Alkali concentration* (K): k1= 8%, k2=12%; *) Rata-rata dari 5 ulangan (Average of 5 replications); Angka (dalam kolom Y) yang diikuti secara horizontal oleh huruf (kolom G) dan skor (kolom S) yang sama tak berbeda nyata / *Figures (in column Y) followed horizontally by same letters (column G) and the same scores (column S) are not significantly different: A > B > C > D*; TS = Total skor (*Total score*): S1 + S2 + S3 + S4; semakin besar nilai S atau TS, semakin dikehendaki untuk pulp / *MDF / the greater S and TS values, the more desired for pulp / MDF*

Seluruh derajat kehalusan pulp (Tabel 3) terletak pada selang yang umum untuk pembentukan papan serat/MDF (600-700 ml CSF) (Casey, 1980; Anonim, 2010). Adanya perbedaan nyata antara derajat kehalusan pulp pelepah nipah dengan pulp sabut kelapa, mengindikasikan bahwa pengolahan pulp campuran kedua sumber serat tersebut tidak layak dilakukan dalam satu kondisi proses (Smook dan Kocurek, 1993; Anonim, 2013a). Namun, pencampuran dapat dilakukan berdasarkan proporsi tertentu, dimana masing-masing sumber serat diolah menurut kondisi pengolahan yang berbeda.

Konsumsi alkali meningkat drastis dengan peningkatan konsentrasi alkali (Tabel 3). Konsumsi alkali selama pengolahan pulp pelepah nipah cenderung lebih rendah dibandingkan dengan selama pengolahan pulp sabut kelapa. Diduga fenomena tersebut terkait dengan lebih tingginya kadar lignin pada sabut kelapa dibandingkan dengan nipah, karena lignin (sebagai polifenol) dapat bereaksi dengan alkali (Smook dan Kocurek, 1993). Angka konsumsi alkali (NaOH) dapat sebagai bahan pertimbangan perlu atau tidaknya dilakukan daur ulang bahan kimia pemasak (NaOH), sekiranya percobaan ini diterapkan secara komersial (Casey, 1980).

Secara umum sifat pengolahan pulp yang dikehendaki adalah rendemen pulp tinggi karena terkait dengan efisiensi pengolahan/produksi

pulp; konsumsi alkali rendah (menghemat pemakaian bahan kimia); dan derajat kehalusan pulp rendah pula (ml CSF) atau waktu giling sesingkat mungkin (terkait dengan pemakaian energi listrik atau bahan bakar) (Casey, 1980; Smook dan Kocurek, 1993). Kriteria tersebut dipakai sebagai dasar penentuan nilai total skor (TS) kedua sumber serat tersebut (Tabel 3). Ternyata pelepah nipah lebih berpotensi menjadi pulp pada konsentrasi alkali 8-10% (TS = 11,5-13,0), sedangkan untuk sabut kelapa potensinya sedikit lebih rendah pada konsentrasi alkali 10% (TS = 11,5-12,0).

C. Daya Adsorpsi Arang Aktif

Hasil pengujian daya adsorpsi arang aktif yang dicoba pada larutan iod, benzen, dan khloroform di sajikan pada Tabel 4. Terlihat bahwa daya serap arang aktif (yang digunakan sebagai bahan aditif untuk MDF) terhadap senyawa kimia baik yang bersifat polar (khloroform) ataupun yang bersifat non-polar (iod dan benzen), seluruhnya tidak memenuhi standar. Diharapkan kekurangan tersebut bisa diatasi dengan memperbesar luar permukaan partikel arang aktif yaitu antara lain memperkecil dimensinya hingga skala/ukuran nano. Lebih besarnya luas permukaan partikel tersebut memperbesar peluang berkontak dengan material lain (senyawa kimia) sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsi partikel tersebut (Saptadi, 2009).

Tabel 4. Daya adsorpsi arang aktif terhadap 3 macam senyawa kimia (iod, benzen, dan khloroform)**Table 4. Adsorptivity of the activated charcoal on three kinds of chemical compounds (iod, benzene, chloroform)**

No	Daya adsorpsi terhadap (<i>Adsorptivity on</i>)	Satuan (<i>units</i>)	Nilai rata-rata (<i>Average</i>)	Persyaratan standar / <i>Standard requirement</i> *)
1	I o d	mg/g	199,39	626,33
2	Benzen (<i>Benzena</i>)	%	6,32	27,31
3	Khloroform (<i>Chloroform</i>)	%	6,13	19,15

*) Pari *et al.* (2009)

D. Sifat Fisik, Mekanik, dan Emisi Formaldehida Papan MDF

Analisis keragaman terhadap sifat fisik dan mekanik papan MDF (kadar air, kerapatan, keteguhan lentur/MOE, keteguhan patah/MOR, keteguhan internal/IB, penyerapan air, pengembangan tebal, daya hantar panas, ketahanan panas, dan emisi formaldehida) menunjukkan bahwa pengaruh proporsi campuran antara pulp pelepah nipah dengan pulp sabut kelapa (A), konsentrasi alkali (B), dan penggunaan bahan aditif (C), berikut interaksi ke tiga faktor tersebut (A*B*C) berpengaruh nyata (Lampiran 2). Data sifat fisis dan mekanis MDF tersebut disajikan pada Tabel 5.

1. Kadar air

Berdasarkan hasil uji BNJ, kadar air papan MDF cenderung meningkat dengan peningkatan konsentrasi alkali (Tabel 5 dan Lampiran 2). Alkali pada konsentrasi tersebut menyebabkan degradasi dan pelarutan polimer lignin (yang lebih bersifat hidrofob). Akibatnya, lebih banyak polimer selulosa (bersifat lebih hidrofil) tersingkap pada permukaan serat sehingga higroskopisitas serat meningkat. Di lain hal, atas dasar uji BNJ, peningkatan porsi pulp sabut kelapa terhadap porsi pulp pelepah nipah (hingga 50%+50%) cenderung menurunkan kadar air. Diduga ini terkait dengan lebih tingginya kadar lignin (bersifat kurang polar) dan lebih sedikitnya porsi jaringan parenkim dalam sabut kelapa (diindikasikan dari rendahnya kelarutan dalam air panas dan alkali 1%) dibandingkan dengan pada pelepah nipah (Tabel 1), sehingga mengurangi polaritas (higroskopis) serat pulp campuran (Anonim, 2013a). Dugaan lain adalah pulp pelepah nipah lebih mudah digiling dari pada pulp sabut kelapa (Tabel 3) karena kadar hemiselulosa awalnya lebih tinggi dibandingkan pada sabut kelapa (Tabel 3), dan ini memperkuat indikasi

bahwa pulp pelepah nipah lebih mudah terfibrilisasi (gugusan OH lebih banyak tersingkap) sehingga sifatnya lebih higroskopis pula (Stephenson, 1952; Smook and Kocurek, 1993; Cellulose-filaments, 2010).

Hasil uji BNJ (Tabel 5 dan Lampiran 2) menunjukkan bahwa kadar air MDF dengan penggunaan bahan aditif (berupa perekat PF + emulsi lilin, perekat TF + emulsi lilin, perekat TF + emulsi lilin + arang aktif) lebih rendah dibandingkan MDF kontrol (tanpa aditif). Selanjutnya, penggunaan arang aktif cenderung menurunkan kadar air MDF. Diduga penggunaan perekat PF atau TF banyak membantu ikatan antar serat melalui reaksi kondensasi dengan lignin/selulosa (terutama di permukaan serat). Hal tersebut banyak menutup gugusan polar (OH bebas khususnya) sehingga menurunkan sifat higroskopis serat pada saat lembaran MDF terbentuk. Di samping itu, emulsi lilin ikut berperan pula menurunkan higroskopisitas serat karena sifat lilin yang *water-repellent* (Suchland and Woodson, 1986).

Pada kombinasi perekat TF dengan arang aktif, kadar air MDF lebih rendah dibandingkan pada MDF kontrol (tanpa aditif) dan dengan TF saja (tanpa arang aktif). Diduga ini karena arang tersebut berupa partikel kecil yang menyebabkan luas permukaan bertambah besar. Akibatnya air yang terdapat dalam serat pulp teradsorpsi oleh arang tersebut, dan air tersebut selanjutnya menguap pada saat papan MDF mengalami perlakuan panas (*heat treatment* dan *hot pressing*). Ini berakibat lebih menurunkan lagi kadar air papan MDF. Fenomena ini juga terjadi pada percobaan pembuatan papan serat oleh Saptadi (2009). Selanjutnya, pada keadaan tanpa arang aktif, uji BNJ mengindikasikan bahwa kadar air MDF dengan perekat TF sedikit lebih rendah dibandingkan dengan perekat PF (Tabel 5 dan Lampiran 2). Ini dapat dimengerti karena tanin

Tabel 5. Ringkasan data sifat fisis-kekuatan dan emisi formaldehida papan serat berkerapatan sedang (MDF)
 Table 5. Summary of the data on physical-strength properties and formaldehyde emission of MDF

No	Sifat (Properties)	Pulp serat pelepah nipah / Nipah-midrib pulp (100%)*										Koeffisien determinan (Determinant coefficient), bi	Persyaratan / Requirements
		C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2		
1	Kerapatan / Density (g/cm ³), Y1	0.676-0.727 **	0.693-0.741	0.673-0.728	0.673-0.679	0.649-0.718	0.696-0.700	0.680-0.687	+58,09141	0.35-	0.65		
2	Kadar air / Moisture content (%), Y2	9.931-11.164	6.538-14.372	10.748-11.027	9.931-10.887	11.291-11.687	9.379-15.089	8.599-10.609	-54,42325	0.80	-0.80		
3	Keteguhan lentur / MOE (kg/cm ²), Y3	12213-13250	12831-14642	18453-20295	13081-15562	10219-10839	10858-11417	13947-12529	+24,56737	5-13	-		
4	Keteguhan patah / MOR (kg/cm ²), Y4	106.29-108.80	106.59-117.18	154.18-185.90	116.84-121.38	119.18-112.64	123.94-122.27	130.13-126.87	+37,39214	∞	≥234		
5	Keteguhan ikatan internal / Internal bonding (kg/cm ²), Y5	1.68-1.18	1.70-1.18	3.52-2.66	2.76-2.73	1.72-1.54	1.70-1.59	1.90-1.85	+33,99775	∞	≥204		
6	Penyerapan air / Water absorption (%), Y6	133.796-141.735	108.964-131.459	107.579-114.237	114.711-119.571	138.667-138.499	97.156-102.674	101.078-102.789	-1,62342	∞	≥204		
7	Pengembangan tebal / Thickness swelling (%), Y7	48.55-72.78	37.91-49.00	32.37-44.62	33.03-44.12	41.23-57.09	31.90-40.41	28.31-32.64	-32,67778	∞	≤16		
8	Hantaran panas / Thermal conductance (Wm ⁻¹ K ⁻¹), Y8	0.0771-0.0763	0.0745-0.0785	0.0702-0.0973	0.0896-0.0981	0.0657-0.1097	0.0797-0.0951	0.0936-0.1004	-45,97774	∞	≤12		
9	Ketahanan panas / Thermal resistance (m ² .K.W ⁻¹), Y9	0.1572-0.1476	0.1473-0.14007	0.1568-0.1234	0.1228-0.1224	0.1675-0.1094	0.1380-0.1262	0.1176-0.1096	100,52651	∞	≤1.5		
10	Emisi formaldehida / Formaldehyde emission (mg/L), Y10	0.1243-0.1830	0.4170-0.0890	0.2975-0.2700	0.2555-0.1785	0.2365-0.1860	0.8145-0.1815	0.5980-0.0505	-101,53992	∞	≤0.7		
11	Y-discr	94.3-89.3	118.3-110.4	121.8-113.2	119.5-111.7	70.7-78.9	95.2-101.3	97.5-103.5	95.0-102.6	∞	∞		

Keterangan (Remark): *) = bentuk pulp / pulp form; C2 = dengan aditif (perekat PF 5% + emulsi lilin 5% + alum 5%) / = with additives (5% PF adhesive + 5% wax emulsion + 5% alum); C3 = dengan aditif (perekat TF 5% + emulsi lilin 5% + alum 5%) / = with additives (5% TF adhesive + 5% wax emulsion + 5% alum); C4 = dengan aditif (perekat TF 5% + emulsi lilin 5% + alum 5% + arang aktif 5%) / = with additives (5% TF adhesive + 5% wax emulsion + 5% activated charcoal); C1 = tanpa aditif (kontrol) / without additives (control); PF = fenol formaldehida / phenol formaldehyde; TF = tanin-formaldehida / tannin formaldehyde; Y-discr = $\sum biYi$, di mana / where: Y discr = nilai discriminan-urutan / order of discriminant values; bi = koefisien determinan / determinant coefficient; dan / and Yi = sifat MDF ke / with properties of MDF, dengan koef. determinasi kanonik nyata / with significant canonic determination coeff. (R2=0,952**), yang menunjukkan tingkat peranan absolute masing-masing sifat (Yi) dari yang terbesar hingga terkecil / which revealed the absolute significances of each property (Yi) consecutively from the highest to the lowest (i.e. Y10>Y9>Y1>Y2 >Y8>Y4>Y5>Y7>Y3>Y6); **) urutan angka dalam bentuk selang menunjukkan kecenderungan (meningkat atau menurun) akibat peningkatan konsentrasi alkali/NaOH (8-12%) / order of the figures in the range indicates the trend (that can increase or decrease) due to increasing alkali/NaOH concentration (8-12%); JIS = ¹⁾ Anonim (2003); ²⁾ ISO (Anonim, 2009a)

merupakan polifenol, akibatnya lebih mengintensifkan reaksi kondensasi antara gugusan fenol pada tanin dengan formaldehida sehingga lebih menurunkan sifat higroskopisitas perekat TF dibandingkan PF (Pizzi *et al.*, 1994; Hussein *et al.*, 2011). Secara umum kadar air pada MDF yang dikehendaki adalah serendah mungkin, sebab akan mengurangi berat, mempertinggi keawetan dan meningkatkan ketahanan terhadap serangan organisme, dan memudahkan pengerjaan selanjutnya (Anonim, 2009a; 2009b). Kadar air papan MDF berkisar 6.54-15.09% dan sebagian besar memenuhi persyaratan JIS, yaitu sebesar 5-13% (Anonim, 2003).

2. Kerapatan

Peningkatan konsentrasi alkali juga cenderung meningkatkan kerapatan papan MDF yang terbentuk (Tabel 5 dan Lampiran 2). Diduga peningkatan tersebut berakibat delignifikasi bahan serat semakin intensif. Ini menyebabkan fleksibilitas (kelemasan) bahan serat meningkat. Menurut Haygreen dan Bowyer (1999) lignin berperan nyata terhadap kekakuan bahan serat berligno-selulosa. Akibatnya dengan berkurangnya kandungan lignin, maka serat mudah menggepeng dan ikatan/anyaman antar serat menjadi lebih kompak (rapat).

Berdasarkan uji BNJ (Tabel 5 dan Lampiran 2), peningkatan porsi campuran pulp sabut kelapa terhadap pulp nipah (hingga 50%+50%) cenderung menurunkan kerapatan MDF. Ini berindikasi lagi pula bahwa tekstur serat pulp sabut kelapa lebih kaku (keras), dan juga pulp tersebut lebih sukar digiling dibandingkan dengan serat pulp nipah (Tabel 3), karena kadar lignin awalnya lebih tinggi dibandingkan pada serat nipah (Tabel 1).

Penggunaan perekat PF dan TF cenderung meningkatkan kerapatan papan MDF, sebagaimana diindikasikan dari hasil uji BNJ (Tabel 5 dan Lampiran 2). Diduga perekat tersebut membantu mengintensifkan ikatan serat-perekat dan ikatan serat-serat, sehingga menurunkan volume rongga kosong antara serat saat pembentukan lembaran MDF. Penggunaan perekat TF dikombinasikan dengan arang aktif sedikit menurunkan kerapatan MDF. Kemungkinan yang terjadi partikel-partikel arang aktif menyebabkan gangguan ikatan antar serat,

sehingga terbentuk rongga-rongga kosong antara serat yang berakibat menurunnya kerapatan MDF. Lebih lanjut dari hasil uji BNJ, ternyata kerapatan MDF menggunakan perekat TF tidak berbeda dengan yang menggunakan PF. Secara umum, MDF yang dikehendaki adalah memiliki kerapatan tinggi, karena berpengaruh positif pada sifat fisis dan mekaniknya (Anonim, 2009a; 2009b). Keseluruhan kerapatan MDF berkisar 0.647-0.741 g/cm³ (Tabel 5), dan seluruhnya memenuhi persyaratan JIS, yaitu 0,35-0,80 g/cm³ (Anonim, 2003). Sebagian nilai kerapatan MDF riil yang lebih rendah dari pada kerapatan yang dituju (0.70 g/cm³), diduga disebabkan adanya fraksi serat terdegradasi dengan ukuran relatif kecil hingga lolos saringan pada saat pembentukan lembaran MDF. Sebaliknya nilai kerapatan riil yang melebihi kerapatan target tersebut diduga terkait dengan penambahan aditif (alum, perekat, emulsi lilin, dan arang aktif), karena aditif tersebut mengintensifkan ikatan serat-serat ataupun ikatan serat-aditif-serat sehingga ukuran hasilnya menjadi besar dan tidak lolos saringan (Casey, 1980; Suchland dan Woodson, 1986; Diydata, 2010; Wikipedia, 2013c).

3. Keteguhan lentur, keteguhan patah, dan keteguhan rekat internal

Berdasarkan uji BNJ, keteguhan lentur (MOE) dan keteguhan patah (MOR) papan MDF meningkat dengan meningkatnya konsentrasi alkali (Tabel 5 dan Lampiran 2). Hal ini dapat dipahami karena pelarutan lignin (delignifikasi) akibat mengakibatkan serat pulp lebih fleksibel. Ini berpengaruh positif pada ikatan dan anyaman antar serat pada saat pembentukan lembaran MDF, sehingga MOE/MOR meningkat. Sebaliknya keteguhan rekat internal (IB), nilainya menurun dengan meningkatnya konsentrasi alkali dari 8% menjadi 12%. Peningkatan alkali selain mengakibatkan delignifikasi serat pulp semakin intensif, juga mengakibatkan degradasi polimer rantai selulosa pada serat tersebut. Akibatnya kekuatan individu serat pulp menurun (Casey, 1980; Anonim, 2009b).

Uji BNJ menunjukkan bahwa semakin tinggi porsi campuran pulp sabut kelapa terhadap porsi pulp pelepah nipah mengakibatkan penurunan ketiga sifat kekuatan tersebut (MOE, MOR, dan IB). Hal ini memperkuat indikasi sebelumnya yaitu tekstur serat sabut kelapa lebih keras (kaku)

dibandingkan serat nipah; dan juga pulp sabut kelapa yang lebih sukar digiling dari pada pulp pelepah nipah (Tabel 1 dan 3). Di samping itu serat pelepah nipah yang lebih panjang dan daya tenun lebih besar dibandingkan serat sabut kelapa (Tabel 2) diduga juga ikut berperan terhadap fenomena tersebut. Akibatnya, serat pulp sabut kelapa kurang fleksibel dan ikatan antar serat di dalamnya kurang sempurna pada saat pembentukan lembaran MDF. Hal ini menyebabkan sifat kekuatan MDF (MOE, MOR, dan IB) menurun.

Di lain hal, MOE, MOR dan IB MDF dengan penggunaan perekat PF atau TF lebih tinggi dibandingkan MDF kontrol (Tabel 5 dan Lampiran 2). Ini dapat dimengerti baik perekat PF ataupun TF membuat ikatan serat-serat lebih intensif sehingga berpengaruh positif pada kerapatan (volume rongga udara lebih sedikit) dan ikatan serat-perekat-serat pada saat pembentukan lembaran MDF (Anonim, 2013b). Berdasarkan uji BNJ, penggunaan perekat TF yang dikombinasikan dengan arang aktif ternyata sedikit menurunkan MOE/MOR/IB MDF dibandingkan dengan tanpa arang aktif. Diduga, arang aktif dalam bentuk partikel kecil mengganggu ikatan antara serat dalam MDF dan selanjutnya menurunkan MOE/MOR/IB tersebut (Suchland and Woodson, 1986; Saptadi, 2009).

Disamping itu, arang aktif sesungguhnya juga berasal dari hasil proses karbonisasi kayu (bahan serat berligno-selulosa) pada suhu tinggi ($>100^{\circ}\text{C}$). Ini berakibat senyawa kimia penyusun serat mengalami degradasi sehingga kekuatan individu serat tersebut menurun (Prentti, 2006; Pari *et al.*, 2009). Lebih lanjut, MOE/MOR/IB MDF dengan perekat TF sedikit lebih tinggi dibandingkan MDF dengan PF. Diduga karena molekul tanin banyak mengandung gugusan fenol (polifenol), akibatnya pada TF yang terbentuk, struktur ikatan serat-perekat-serat dalam MDF lebih kuat dibandingkan pada PF (Hussein *et al.*, 2011).

Secara umum, MOE, MOR, dan IB MDF dikehendaki setinggi mungkin (Anonim, 2009b; Diydata, 2010). Sebagian besar MOE MDF hasil percobaan: 10219-20295 kg/cm^2 (Tabel 5) tidak memenuhi persyaratan JIS, yaitu 20260 kg/cm^2 (Anonim, 2003), dan yang memenuhi adalah MDF dari bahan serat nipah 100%, dengan perekat TF (tanpa arang aktif). Untuk MOR MDF, nilai hasil percobaan berkisar 106,29-189,11

kg/cm^2 , dan seluruhnya tidak memenuhi persyaratan JIS, yaitu 255 kg/cm^2 (Anonim, 2003). MOR MDF dari pelepah nipah dengan perekat TF (tanpa arang aktif) paling mendekati persyaratan minimum JIS untuk MOR (Tabel 5). Dalam hal IB, dibandingkan dengan persyaratannya menurut JIS yaitu 2,00 kg/cm^2 (Anonim, 2003), maka dari IB hasil percobaan (1,18-3,52 kg/cm^2) yang memenuhi syarat tersebut adalah MDF (dari pulp nipah 100%), dan dari campurannya dengan pulp sabut kelapa pada porsi 75% + 25%) dengan penggunaan perekat PF dan TF (tanpa atau dengan penambahan arang aktif).

4. Daya hantar panas dan ketahanan panas

Daya hantar panas (*thermal conductivity*) papan MDF meningkat dengan peningkatan konsentrasi alkali (8-12%) sedangkan ketahanan panas (*heat resistance*) sebaliknya (menurun), sebagaimana diindikasikan dari uji BNJ (Tabel 5 dan Lampiran 2). Fenomena tersebut terjadi karena ketahanan panas berbanding terbalik dengan daya hantar panas (Anonim, 2012a). Sebagaimana diindikasikan sebelumnya serat yang semakin fleksibel (tidak kaku) akibat alkali, selanjutnya berakibat ikatan serat selama pembentukan MDF lebih kompak dan volume rongga udara menurun (sebagaimana diindikasikan pada peningkatan kerapatan MDF).

Selanjutnya, peningkatan porsi campuran pulp sabut kelapa terhadap pulp serat nipah, berdasarkan hasil uji BNJ juga cenderung meningkatkan daya hantar panas (menurunkan ketahanan panas) papan MDF. Diduga ini terkait dengan lebih tingginya kadar lignin serat sabut kelapa dibandingkan pada serat nipah (Tabel 1), yang mengakibatkan porsi lignin dalam MDF meningkat terhadap porsi selulosa. Daya hantar panas senyawa organik (termasuk lignin dan selulosa) dipengaruhi oleh kandungan unsur atomnya, seperti karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), dan nitrogen (N). Unsur C mendominasi daya hantar panas senyawa organik karena daya hantar panas C relatif besar yaitu 25470 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, sedangkan unsur H, O, dan N pada suhu kamar berbentuk gas yang umumnya berdaya hantar panas rendah (Chemical, 2004). Kadar C pada selulosa hanya 44,44%, sedangkan pada lignin lebih tinggi yaitu 67,50% (Browning, 1967; Casey, 1980).

Uji BNJ juga mengindikasikan bahwa nilai daya hantar panas MDF yang diberi perekat PF dan TF

lebih tinggi dibandingkan nilai untuk MDF kontrol (tanpa bahan perekat) (Tabel 5). Ini memperkuat lagi indikasi sebelumnya yaitu lebih intensifnya ikatan serat-perekat-serat dan peningkatan kerapatan MDF dibandingkan dengan kontrol (MDF tanpa perekat). Fenomena tersebut berakibat volume rongga udara menurun (terutama rongga antar serat), sehingga daya hantar panas MDF meningkat (ketahanan panas menurun). Lebih lanjut, daya hantar panas papan MDF dengan perekat TF yang dikombinasikan dengan arang aktif lebih tinggi dibandingkan dengan MDF menggunakan perekat TF saja (tanpa arang aktif). Diduga kadar unsur C pada MDF meningkat dengan penggunaan arang aktif, karena kadar C pada arang aktif relatif tinggi yaitu $\geq 80\%$ (Saptadi, 2009). Fenomena ini memperkuat lagi indikasi bahwa unsur C sangat berperan terhadap daya hantar panas senyawa organik (MDF). Tanpa arang aktif, ternyata daya hantar dan ketahanan panas MDF menggunakan perekat TF tidak berbeda nyata dengan yang menggunakan perekat PF (Lampiran 2). Ini mengindikasikan bahwa keperagaan perekat TF sebanding dengan PF (dalam hal sifat ini). MDF yang dikehendaki adalah memiliki ketahanan panas tinggi atau daya hantar panas rendah (Tsoumi, 1993; Anonim, 2009a).

5. Penyerapan air dan pengembangan tebal

Berdasarkan hasil uji BNJ, penyerapan air dan pengembangan tebal papan MDF cenderung meningkat dengan peningkatan konsentrasi alkali (Tabel 5 dan Lampiran 2). Sebaliknya, semakin tinggi porsi campuran pulp sabut kelapa terhadap porsi pulp pelepah nipah, maka penyerapan air dan pengembangan tebal menurun. Segala fenomena ini berindikasi serupa dengan yang terjadi sebelumnya pada kadar air MDF. Lebih lanjut, menurunnya penyerapan air berarti lebih sedikit molekul air yang memasuki struktur serat MDF, dengan demikian potensi pengembangannya menurun pula. Di samping itu berat jenis dan tebal dinding serat sabut kelapa yang lebih rendah dibandingkan dengan pelepah nipah (Tabel 1) berperan pula terhadap lebih rendahnya pengembangan tebal MDF tersebut. Berat jenis dan tebal dinding serat bahan berligno-selulosa berkorelasi positif dengan pengembangan tebalnya (Suchsland dan Woodson, 1986; Haygreen dan Bowyer, 1999).

Uji BNJ menunjukkan pula bahwa penyerapan air dan pengembangan tebal MDF dengan perekat PF dan TF lebih rendah dibandingkan dengan pada MDF kontrol (tanpa perekat) (Tabel 5). Fenomena ini terjadi pula pada kadar air MDF. Lebih lanjut, MDF yang diberi perekat TF dan dikombinasikan dengan arang aktif menunjukkan penyerapan air lebih tinggi dibandingkan MDF dengan TF saja. Partikel arang aktif memiliki luas permukaan relatif besar sehingga memperbanyak peluang berkontak dengan air, sehingga ikut berperan terhadap peningkatan penyerapan air MDF. Untuk pengembangan tebal, MDF yang diberi perekat TF dan dikombinasikan dengan arang aktif menunjukkan pengembangan tebal lebih rendah dibandingkan MDF dengan TF saja (tanpa arang aktif). Fenomena ini ternyata tidak sejalan (bahkan sebaliknya) dengan perubahan penyerapan air yang cenderung meningkat. Kemungkinan yang terjadi adalah partikel arang aktif bersifat polar dan juga memiliki luar permukaan yang besar. Ini mengakibatkan molekul air banyak teradsorpsi oleh arang aktif dan lebih sedikit yang memasuki struktur serat MDF. Dengan demikian walaupun penyerapan air meningkat MDF (pada kombinasi TF dan arang aktif), pengembangan tebalnya menurun.

MDF yang dikehendaki adalah memiliki penyerapan air dan pengembangan tebal serendah mungkin, karena ada kaitan erat dengan kestabilan dimensi papan serat dan ketahanannya terhadap serangan organisme dan degradasi. Fenomena serupa juga terjadi pada percobaan oleh Saptadi (2009). Pengembangan tebal MDF hasil percobaan (29,90-72,78%), dibandingkan dengan persyaratan JIS yaitu $\leq 12,0\%$ (Anonim, 2003) seluruhnya tidak memenuhi syarat.

6. Emisi formaldehida

Mengenai emisi formaldehida, peningkatan porsi campuran pulp sabut kelapa terhadap pulp nipah, berdasarkan uji BNJ cenderung meningkatkan emisi tersebut dari papan MDF (Tabel 5 dan Lampiran 2). Diduga ini terjadi karena kadar lignin sabut kelapa lebih tinggi dibandingkan pada pelepah nipah (Tabel 1). Pada lembaran MDF terdapat lignin terfragmentasi dan memang dikehendaki, karena diperlukan pula sebagai pengikat alami antar serat selama pembentukan lembaran tersebut. Diindikasikan bahwa fragmen lignin pada serat ligno-selulosa

(dalam lembaran MDF) berpotensi mengalami karbonisasi pada saat perlakuan panas dan pengempaan panas dengan suhu di atas 100°C (pada keadaan oksigen terbatas), dan di antara produk karbonisasi tersebut adalah gas-gas dengan berat molekul rendah seperti karbon karbon monoksida (CO), hydrogen (H₂), dan formaldehida (HCOH) (Sjostrom, 1993; Anonim, 2009b). Lebih lanjut, uji BNJ mengindikasikan pula bahwa emisi formaldehida MDF menurun dengan meningkatnya konsentrasi alkali selama pemasakan pulp. Kemungkinan yang terjadi adalah delignifikasi semakin intensif dengan meningkatnya alkali, dan sebagian lignin terfragmentasi/terdegradasi terlarut dalam larutan pemasak (Casey, 1980). Ini mengakibatkan penurunan kadar lignin pada pulp serat ligno-selulosa untuk pembentukan MDF pada tahap berikut, sehingga menurunkan pula potensi terbentuknya formaldehida. Ini memperkuat indikasi lagi bahwa lignin ikut terkait pula dengan terbentuknya (emisi) formaldehida.

Uji BNJ menunjukkan bahwa emisi formaldehida MDF yang dibentuk menggunakan perekat PF dan TF jauh lebih tinggi dibandingkan dengan MDF kontrol (tanpa perekat) (Tabel 5 dan Lampiran 2). Lebih lanjut, emisi formaldehida MDF yang dibentuk dengan TF tetapi melibatkan penambahan arang aktif cenderung menurun dibandingkan pada MDF dengan TF saja. Ini membuktikan arang aktif yang bersifat polar dan memiliki luas permukaan yang besar ternyata berperan mengadsorpsi formaldehida dan mengurangi emisinya akibat penggunaan TF (Pari *et al.*, 2006). Emisi formaldehida yang terjadi pada MDF kontrol (Tabel 5) juga memperkuat indikasi bahwa lignin terfragmentasi yang berfungsi sebagai perekat alami ternyata juga ikut berperan terbentuknya formaldehida, yang diduga kuat terjadi pada tahapan *heat treatment* dan *hot pressing*, di mana lignin mungkin mengalami karbonisasi (*charring*). Emisi MDF yang dibentuk menggunakan perekat berbasis formaldehida (termasuk TF) dikehendaki seminimal mungkin. Emisi MDF hasil percobaan (0,0505-0,8145 mg/L) seluruhnya memenuhi persyaratan JIS (Anonim, 2003) yaitu ≤ 1.5 m/L. Emisi formaldehida terendah ditunjukkan pada MDF dengan perekat TF dikombinasikan dengan arang aktif, disusul oleh penggunaan TF saja (Tabel 5). Ini disebabkan tannin merupakan polifenol

sehingga lebih efektif mengikat fenol pada saat terjadi polimerisasi TF dibandingkan dengan hanya satu unit fenol saja pada saat polimerisasi PF (Hussein *et al.*, 2011). Ini menunjukkan pula bahwa penggunaan perekat berbasis polifenol antara lain tannin ternyata efektif mengikat formaldehida pada saat reaksi polimerisasi terbentuknya TF, sehingga mengurangi emisi formaldehida (Pizzi, 1994; Santoso, 2011). Arang aktif yang dikombinasikan dengan TF, ternyata efektif lebih menurunkan lagi emisi tersebut (Saptadi, 2009).

E. Telaahan Sifat Fisis, Mekanis, dan Emisi Formaldehida MDF

MDF yang dibentuk tersebut merupakan kombinasi perlakuan/faktor berupa konsentrasi alkali (dalam 2 taraf; 8% dan 12%), proporsi campuran pulp pelepah nipah dan pulp sabut kelapa (3 taraf; 100%+0%, 75%+25%, dan 50%+50%), penggunaan bahan aditif (4 taraf; tanpa aditif/kontrol; perekat PF 5% + emulsi lilin 5% + tawas 5%; perekat TF 5% + emulsi lilin 5% + tawas 5%; dan perekat TF + emulsi lilin 5% + tawas 5% + arang aktif). Telaahan dilakukan untuk menentukan kombinasi perlakuan tersebut yang terbaik hingga terendah, dikaitkan dengan sifat hasil uji MDF (berikut emisi formaldehida) yang dikehendaki (Tabel 5).

Lebih lanjut atas dasar sifat MDF yang dikehendaki konsumen (antara lain adalah kadar air, penyerapan air, pengembangan tebal, daya hantar panas, emisi yang rendah; dan kerapatan, sifat kekuatan (MOE, MOR, IB), ketahanan panas yang tinggi), dapat ditentukan urutan kombinasi perlakuan atau nilai mutu (Y-discr) mulai dari yang terbaik hingga terendah dengan bantuan analisis diskriminan. Dari analisis tersebut, dapat dibentuk persamaan diskriminan yaitu $Y\text{-discr} = \sum bi \cdot Yi = +58,09141 Y1$ (kerapatan) $-54,42325 Y2$ (kadar air) $+24,56737 Y3$ (MOE) $+37,39214 Y4$ (MOR) $+33,99775 Y5$ (IB) $-1,62342 Y6$ (penyerapan air) $-32,67778 Y7$ (pengembangan tebal) $-45,97774 Y8$ (daya hantar panas) $+100,52651 Y9$ (ketahanan panas) $-101,53992 Y10$ (emisi formaldehida) (Tabel 5). Persamaan tersebut dianggap memadai karena memiliki nilai koefisien determinasi kanonik nyata ($R^2 = 0,952^{**}$). Selanjutnya, berdasarkan koefisien persamaan tersebut (bi ; angka mutlak), maka peranan masing-masing sifat

MDF (Y_i) tak sama terhadap nilai urutan mutu $Y_{10} > Y_9 > Y_1 > Y_2 > Y_8 > Y_4 > Y_5 > Y_7 > Y_3 > Y_6$.

Dari persamaan diskriminasi tersebut diperoleh rincian kombinasi perlakuan yang mengindikasikan bahwa serat pelepah nipah tetap lebih prospektif untuk MDF di mana pulp pelepah nipah 100% pada konsentrasi alkali 8-10%, memiliki selang nilai urutan diskriminasi (Y) 89,3-119,3 (6); disusul berturut-turut oleh campuran pulp pelepah nipah (75%) dan pulp sabut kelapa (25%) pada konsentrasi alkali 8-10%, memiliki selang nilai Y 82,5-109,7; dari campuran pulp pelepah nipah (50%) dan pulp sabut kelapa (50%), memiliki selang Y 78,9-103,5 (sebagai nilai diskriminasi terendah) hanya pada konsentrasi alkali 10%. Indikasi lebih berprospeknya serat pelepah nipah tersebut dari pada sabut kelapa menunjukkan bahwa aspek atau karakteristik positif serat pelepah nipah yang dikehendaki untuk MDF (antara lain serat lebih panjang, daya tenun serat lebih tinggi, kadar selulosa dan hemiselulosa lebih tinggi, pemakaian alkali lebih rendah, pulp nipah lebih mudah digiling, dan waktu giling pulp lebih singkat) mendominasi/mengalahkan aspek negatifnya (antara lain dinding serat lebih tebal, diameter lumen lebih kecil, kadar abu/silika tinggi, porsi jaringan parenkim lebih tinggi, rendemen pulp lebih rendah, pemakaian alkali pada pengolahan pulp lebih tinggi, dan daya hantar panas MDF lebih rendah) (Tabel 1, 2, dan 3).

Lebih lanjut, nilai diskriminasi papan MDF dengan perekat PF (101,3-118,3) ternyata tidak jauh berbeda dengan nilai dengan perekat TF tanpa arang aktif yaitu 103,5-121,8 (Tabel 5). Ini mengindikasikan pula bahwa kemampuan TF (dibuat dari bahan terbarukan) untuk MDF bisa menyamai PF (dari bahan tidak terbarukan).

Pada hasil percobaan MDF dengan perekat TF menunjukkan sifat fisis/kekuatan yang lebih baik dan emisi formaldehidanya jauh lebih rendah dibandingkan hasil MDF dengan perekat UF (Roliadi *et al.*, 2012); dan lebih banyak yang memenuhi persyaratan JIS dan ISO (Tabel 4 dan 6). Ini mengindikasikan lagi bahwa menggunakan perekat TF yang berbasis polifenol di samping dapat memperbaiki sifat fisik-mekanik MDF, juga dapat menurunkan emisi formaldehida secara efektif (Pizzi, 1994; Hussein, 2011; Santoso, 2011). Rincian produk MDF dengan sifat yang

paling mendekati persyaratan JIS dan ISO (Tabel 6) adalah dengan penggunaan bahan serat nipah 100% (bentuk pulp) pada konsentrasi alkali 8% dan dengan perekat PF dan TF (tanpa atau dikombinasikan dengan arang aktif) dengan nilai mutu diskriminasi (Y) = 118,3-121,8. Meskipun demikian sabut kelapa diharapkan tetap bisa prospektif untuk MDF dengan mencampurnya dengan serat nipah (keduanya berbentuk pulp) pada proporsi 25%+75% dan 50%+50% dengan nilai mutu diskriminasi (Y) berturut-turut (menggunakan perekat TF, tanpa arang aktif) 108,4-109,7 dan 103,5. Pada proporsi tersebut, sifat produk MDFnya banyak mendekati persyaratan JIS dan ISO (Tabel 6). Untuk yang tidak memenuhi syarat tersebut, diharapkan dapat diperbaiki dengan antara lain dengan penambahan perekat TF yang lebih banyak, pemakaian arang aktif berskala nano, dan penggunaan *cross-linking agent* (Hill, 2006).

F. Pencermatan Skala Nano

Pencermatan skala nano (menggunakan alat XRD) terhadap bahan serat menunjukkan bahwa kristalinitas pelepah nipah lebih tinggi dibandingkan pada sabut kelapa (Tabel 6). Hal ini ikut membantu menjelaskan lebih tingginya kadar lignin dan lebih rendahnya kadar selulosa pada sabut kelapa, dan ikut membantu menjelaskan lebih kakunya serat sabut kelapa dan kadar airnya yang lebih rendah. Lebih tingginya kristalinitas tersebut berperan positif pada kekuatan individu serat pelepah nipah, sehingga lebih memperkuat penjelasan antara lain pulp pelepah nipah lebih mudah digiling (tidak mudah rusak) dan sifat fisik-kekuatan MDF dari pelepah nipah (kerapatan, MOR, MOE, dan IB) yang lebih tinggi dibandingkan dari sabut kelapa.

Fenomena ini sejalan dengan hasil pencermatan oleh peneliti-peneliti terkait (Smook dan Kocurek, 1993; DeBolt, 2008; Madsen, 2013) yang menyatakan bahwa semakin tinggi kristalinitas bahan serat berligno-selulosa, maka rantai-rantai polimer semakin terorientasi sejajar satu terhadap lainnya sehingga porsi amorfnya berkurang. Hal ini berakibat kadar senyawa bukan selulosa (khususnya lignin) menurun, sehingga bahan serat lebih fleksibel (kekakuan berkurang) dan kekuatan individu serat meningkat baik secara lateral ataupun memanjang, dan selanjutnya

berpengaruh positif terhadap sifat produk turunannya seperti pulp, kertas, rayon, dan MDF.

Sudut mikrofibril (MFA) serat nipah (Tabel 2) terletak pada selang MFA untuk serat jenis Angiospermae yaitu non-kayu (6 - 15°) dan serat kayu (3 - 50°) (Cellulose- filaments, 2010). Lebih besarnya selang MFA serat non-kayu dibandingkan dengan serat kayu dapat dipahami karena yang pertama termasuk golongan monokotil sedangkan yang kedua adalah dikotil (kayu daun lebar)

atau kayu daun jarum (Madsen, 2013). Lebih lanjut, MFA serat nipah tersebut lebih rendah dibandingkan MFA hasil pengamatan pada tiga jenis kayu daun lebar (KDL) yang mencakup jabon, terentang, dan sengon (19,48 - 31,68°C) (Roliadi *et al.*, 2010). Lebih tingginya MFA jenis KDL tersebut agaknya terkait dengan lebih besarnya selang MFA serat kayu (3 - 50°), karena tergantung pada umur, tipe, dan lokasi serat kayu dalam pohon induk (Haygreen dan Bowyer, 1999).

Tabel 6. Kristalinitas dan sudut mikrofibril (MFA) bahan serat

Tabel 6. Crystallinity and micro-fibril angle (MFA) of fiber stuffs

No	Macam bahan serat (<i>Kinds of fiber stuffs</i>)	Kristalinitas (<i>Crystallinity</i>)	MFA
1	Bentuk utuh (<i>Intact form</i>)		
	-Pelepah nipah (<i>Nyipa midrib</i>)	38,52	13,16
	-Sabut kelapa (<i>Coconut coir</i>)	-	-
2	Bentuk serbuk (<i>Powdery form</i>)		
	-Pelepah nipah (<i>Nyipa midrib</i>)	38,30	-
	-Sabut kelapa (<i>Coconut coir</i>)	21,18	-

Keterangan: - tidak bisa dilakukan, karena berbentuk serbuk (*unable to be performed, due to its powdery form*)

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Pencermatan secara rinci terhadap seluruh aspek (sifat bahan baku, pengolahan pulp, sifat fisis-mekanis, dan emisi formaldehida) pembuatan MDF dari pelepah nipah dan sabut kelapa (dengan bahan perekat tanin formaldehida/TF, baik dikombinasikan atau tidak dengan arang aktif, dan juga dengan bahan perekat fenol formaldehida/PF sebagai pembanding), ternyata pelepah nipah lebih berpotensi untuk digunakan/dikembangkan.
2. Arang aktif menurunkan sifat kekuatan/mekanis MDF, tetapi memperbaiki kestabilan dimensinya.
3. Penggunaan arang aktif beserta perekat TF memperbaiki kestabilan dimensi MDF dan menurunkan emisi formaldehida, tetapi sedikit menurunkan sifat kekuatannya.
4. Pencermatan berskala nano (dengan XRD) mengindikasikan bahwa kekuatan individu serat pelepah nipah lebih tinggi dibandingkan serat sabut kelapa, sehingga memperkuat penjelasan serat pelepah nipah lebih prospektif untuk MDF dibandingkan sabut kelapa.
5. Penggunaan perekat TF untuk MDF memiliki keperagaan yang sebanding dengan keperagaan PF.
6. Hasil percobaan MDF (dengan perekat TF) jauh lebih baik dibandingkan sifat MDF hasil percobaan sebelumnya (dengan perekat UF), dan lebih banyak memenuhi persyaratan JIS dan ISO.
7. Sifat yang paling mendekati syarat tersebut adalah pada MDF dari serat nipah 100% dan menggunakan perekat TF (tanpa atau dengan arang aktif). Penggunaan sabut kelapa tetap bisa prospektif, dengan mencampurkan sabut tersebut (sesudah dibentuk pulp) dengan pulp pelepah nipah dengan porsi (b/b) 25%+75% dan 50%+50%, karena sifat produk MDFnya banyak mendekati persyaratan JIS pula.
8. Diharapkan kekurangan tersebut, baik yang menggunakan serat pelepah nipah 100% atau campurannya dengan serat sabut kelapa, dapat diatasi dengan penggunaan perekat TF lebih banyak dikombinasikan dengan partikel arang aktif berskala nano dan/atau *cross-linking agent*.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1997. SAS (Statistical Analysis System) Guide for Personal Computers, Version 6 Edition. SAS Institute Inc. Cary, NC. 27512-8000.
- _____. 2003. Japanese Industrial Standard (JIS): Fiberboard. JIS A 5905. Tokyo, Japan.
- _____. 2006. Kayu alam distop total: Laju degradasi hutan 2,87 juta ha per tahun. *Harian Kompas*, tanggal 28 April 2006, hlmn 22. Kompas. Jakarta.
- _____. 2007. Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI)'s Test Methods. TAPPI Press. Atlanta, Georgia.
- _____. 2009a. Masari Board. Environmentally Friendly Product. PT. Masari Dwisepakat Fiber. Jakarta - Karawang.
- _____. 2009b. ISO/DIS 27769-2, Wood-based panels - Wet process fiberboard, part 1: Specification; and ISO/DIS 16895-2, Wood based panels - Dry process fiberboard: Requirements. SC/TC 89/SC1. Geneva, Switzerland.
- _____. 2011. Statistik Indonesia. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- _____. 2012. Data hutan: Laju deforestasi hutan 0,5 juta hektar. *Lingkungan*. *Harian Kompas*, tanggal 9 Mei 2012. Jakarta.
- Apriani, Y. 2010. Kemungkinan pemanfaatan kayu mahang sebagai bahan baku alternatif untuk pulp yertas. *Buletin Hasil Hutan*, 16 (2): 141-149. Pusat Litbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan. Bogor.
- Arsyad, A.J. 2010. Kajian proses produksi pulp berbahan baku sabut kelapa (*Cocos nucifera*) dengan metode soda pulping. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor (Tidak Diterbitkan).
- Browning, B.L. 1967. *The Chemistry of Wood*. Interscience Publishers, A Division of John Wiley and Sons. New York - Toronto - London.
- Casey, J.P. 1980. *Pulp and Paper Chemistry and Technology*. Third edition, Vol. I. A Wiley-Interscience Publication. New York - Brisbane - Toronto.
- Cellulose-filaments. 2010. Cellulose filaments - Advancing the Canadian Bio-economy. <http://www.fpinnovations.ca/MediaCentre/FactSheets/cellulose-filaments-advancing-the-canadian-bio-economy.pdf>. Diakses: 11 Juli 2013.
- Chemical. 2004. Thermal conductivity of pure carbon. Website: www.chemical.com. Diakses pada tanggal 10 Oktober 2011.
- DeBolt, S. 2008. Relative crystallinity of plant biomass: Studies on assembly, adaptation and acclimation. Website: www.plosone.org/article/info:doi/10.1371/journal.pone.0002897. Diakses: 25 Februari 2012.
- De Bos, T.U. dan B.M. Adnan. 1958. Ilmu Tumbuh-tumbuhan untuk Murid-murid SMP. Cetakan ke Lima. J.B. Wolters. Jakarta.
- Design-Technology. 2011. Medium-density fiberboard. <http://www.design-technology.org/mdf.htm>. Diakses: 11 Juli 2011.
- Diydata. 2010. Medium density fiberboard (MDF). Website: www.diydata.com. Diakses pada tanggal 7 Oktober 2011.
- Fiberboard. 2010. North American Fiberboard Association. <http://www.fiberboard.org/>. Diakses: 12 Juli 2013.
- Haygreen, J.G. and J.L. Bowyer. 1999. *Forest Products and Wood Science*. Iowa State University. Ames, Iowa.
- Hill, C.A.S. 2006. *Wood modification: Chemical, Thermal, and Other Processes*. John Wiley & Sons, Ltd. New York - London - Toronto.
- Hussein, A.S., K.I. Ibrahim, and K.M. Abdulla. 2011. Tannin-phenol formaldehyde resins as binders for cellulosic fibers: mechanical properties. *Natural Resources*, (2), 98-101. Polymer Research Center, University of Basrah; State Company for Petrochemical Industries, Basrah, Iraq. Website: www.scirp.org/journal/paperdownload.as

- [px?paperid=5262](#). Diakses pada tanggal 12 Oktober 2012.
- Iskandar, M.I. dan A. Supriadi. 2010. Pengaruh kadar perekat terhadap sifat papan partikel sabut kelapa. *Buletin Hasil Hutan*, 16 (2): 87-92. Pusat Litbang Hasil Hutan. Bogor.
- IUCNRLIST. 2013. *Nypa fruticosa*. <http://www.iucnredlist.org/details/178800/0>. Diakses: 12 Juli 2013.
- Labosky, P., R.D. Yobp, J.J. Janowiak, P.R. Blankenhorn. 1998. Effect of steam pressure refining and resin levels on the properties of UF-bonded red maple MDF. *Forest Products Journal*, 43 (11/12): 82-87.
- Madsen, B. 2013. Wood versus plant fibers. *Advances in Materials Science and Engineering*, volume 2013 (2013), Article ID 564346, 14 pages. <http://www.hindawi.com/journals/amse/2013/564346/>. Diakses: 12 Juli 2013.
- Meyer, B.S., D.B. Anderson, dan R.H. Bohning. 1985. *Introduction to Plant Physiology*. D. van Nostrand Co., Inc. Totonto - London - New York.
- Morrison, D.F. *Multivariate Statistical Methods*. 2003. Sixth ed. McGraw-Hill Book Co. New York - London - Tokyo - Torono.
- Pari, G., K. Sofyan, W. Syafii, and Buchari. 2006. *Tectona grandis* activated charcoal as catching agent of formaldehyde on plywood glued with urea formaldehyde. *Proceedings of the 8th Pacific Rim Bio-Based Composite Symposium*. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Pari, G., D. T. Widyawati, dan M. Yoshida. 2009. Mutu arang aktif dari serbuk gergaji kayu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 27 (4): 381-398. Pusat Litbang Hasil Hutan. Bogor.
- Pizzi, A., J. Valenezuela, and C. Westermeyer. 1994. Low formaldehyde emission, fast pressing, pine and pecan tannin adhesives for exterior particleboard. *Holz als Roh- und Werkstoff*, October 1994, (52): 311-315. Website: <http://link.springer.com/article/10.1007%2F02621421?LI=true>. Diakses pada tanggal 31 Oktober 2012.
- Prentti, O. 2006. *Word: Structures and Properties*. Trans Technical Publication. New York - Toronto - London.
- Rahman, M.N., H. Heriyanto, dan A. Andi. 2011. Mengangkat potensi tanaman rawa tropika nipah (*Nypa fruticosa*) sebagai sumber energi alternatif baru dan pelindung ekosistem rawa. Program Kreativitas Mahasiswa. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Roliadi, H. D. Angraini, dan G. Pari. 2010. Uji coba pembuatan kertas bungkus skala usaha kecil dari jenis-jenis pohon alternatif. *Laporan Hasil Penelitian Tahun Anggaran 2010*. Pusat Litbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan. Bogor.
- Santoso, A. 2011. Tannin dan lignin dari *Acacia mangium* Willd. Sebagai bahan perekat kayu majemuk masa depan. Orasi Pengukuhan Profesor Riset, Bidang Pengolahan Hasil Hutan pada 25 Oktober 2011 di Jakarta. Badan Penelitian Pengembangan Kehutanan, Kementrian Kehutanan. Jakarta.
- Saptadi, D. 2009. Kualitas papan isolasi dari campuran kayu mangium dan arang. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, vol. 27 (4): 291-302. Pusat Litbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan. Bogor.
- Saupe. S.G. 2011. *Lectures Notes and Materials for Plant Physiology*. <http://employees.csbsju.edu/ssaupe/biol327/lecture-home.htm>. Diakses: 11 Juli 2013.
- Silitonga, T., R.M. Siagian, dan A. Nurachman. 1972. Cara pengukuran dimensi serat kayu dan bahan serat berligno-selulosa lain di Lembaga Penelitian Hasil Hutan (LPHH). *Publikas Khusus* 12 (8): 1-17. LPHH. Bogor.
- Sjostrom, E. 1993. *Wood Chemistry: Fundamental and Applications*. Academic Press, Inc. New York - Toronto - Sydney - Tokyo.
- Smook, G.A. and M.J. Kocurek. 1993. *Handbook for Pulp and Paper*

- Technologists. Joint Textbook Committee of the Paper Industry. Atlanta, Georgia.
- Snedecor, G.W. and W.G. Cochran. 1980. Statistical Methods. Fifth edition. Iowa State Univ. Press. Ames, Iowa.
- Suchsland, O. and G.E. Woodson. 1986. Fiberboard manufacturing practices in the United States. USDA Forest Service. Agricultural Handbook No. 640.
- Tsoumi, G. 1993. Science and Technology of Wood: Structure, Properties, and Utilization. Van Nostrand Reinhold Co. New York.
- Wikipedia. 2009. Nipah. Website: <http://id.wikipedia.org/wiki/Nipah>. Diakses 14 Januari 2011.
- Wikipedia. 2013a. Plant Physiology. Website: https://en.wikipedia.org/wiki/Plant_physiology. Diakses: 26 Juni 2013.
- Wikipedia. 2013b. Pulp and Paper. Website: http://en.wikipedia.org/wiki/Pulp_%28paper%29. Diakses: 25 Juni 2013.
- Wikipedia. 2013c. Fiberboard. Website: <http://en.wikipedia.org/wiki/Fiberboard>. Diakses: 27 Juni 2013.

Lampiran 1. Analisis keragaman terhadap sifat pengolahan pulp
Appendix 1. Analysis on pulp processing properties

Sumber Keragaman (Sources of variation)	db	Sifat pengolahan pulp (Pulp processing properties)							
		Rendemen pulp (Pulp yield)		Derajat kehalusan (Freeness degree)		Konsumsi alkali (Alkali consumption)		Waktu giling mencapai (Beating duration to reach) 600-700 ml CSF	
		F-hitung (F-calc.)	P	F-hitung (F-calc.)	P	F-hitung (F-calc.)	P	F-hitung (F-calc.)	P
Total	19								
Macam bahan serat (Kind of fiber stuffs (S))	1	6,34	*	10,71	**	7,29	**	12,76	**
Konsentrasi alkali (alkali concentration (A))	1	8,91	**	6,12	*	8,91	**	6,89	**
Interaksi (Interaction) (S*A)	1	9,81	**	1,39	tn	2,06	tn	1,56	tn
Galat (Sisa)	16								
Rata-rata (Means)	-	65,49		695		8.885		56,5	
Satuan (Units)	-	%		ml CSF		%		menit (minutes)	
KK, %	-	12,31		5,32		12,23		9,78	
D 0.05	-	5,08		11,81		1,69		1,89	

Keterangan (Remarks) : S = Macam bahan serat (pelepah nipah dan sabut kelapa) / Kind of fiber stuffs (nyapa midrib and coconut coir) * = nyata pada taraf (significant at) 5%; ** = nyata pada (significant at) 1%; tn = tak nyata (not significant); KK = koefisien keragaman (coeff. of variation), P = Peluang (Probability); D0.05 = nilai kritis uji jarak beda nyata jujur (BNJ) Tukey pada taraf / critical value of honestly significant difference (Tukey) at 5%.

Lampiran 2. Analisis keragaman terhadap sifat fisis dan kekuatan papan serat kerapatan sedang (MDF), berikut emisi formaldehida
Appendix 2. Analysis of variances on physical and strength properties of medium density fiberboard (MDF), together with formaldehyde emission

Sumber keragaman (Sources of variation)	Db	Sifat fisis dan mekanis (Physical and strength properties)									
		Kerapatan (Density)		Kadar air (Moisture content)		Keteguhan lentur (Modulus of elasticity/MOE) ⁺		Keteguhan patah (Modulus of rupture/MOR)		Keteguhan internal (Internal bond/IB)	
		F-hitung (F-calc.)	P	F-hitung (F-calc.)	P	F-hitung (F-calc.)	P	F-hitung (F-calc.)	P	F-hitung (F-calc.)	P
Total	119										
A	1	3,64	*	4,78	*	4,98	*	7,11	**	4,84	*
B	2	9,33	**	2,16	tn	5,12	*	6,15	**	5,23	**
C	3	4,58	*	4,87	*	5,45	*	4,32	*	5,68	*
A*B	2	1,28	tn	8,34	**	7,53	**	7,41	**	1,02	tn
A*C	3	6,01	*	9,12	**	9,66	**	4,12	*	5,77	*
B*C	6	5,68	*	4,34	*	4,28	*	5,03	*	4,01	*
A*B*C	6	3,39	*	4,86	*	4,21	*	4,54	*	4,31	*
Galat (Residuals)	96										
Rata-rata (Means)	-	0,693		10,856		13682,17		131,01		1,9775	
Satuan (Units)	-	g/cm ³		%		kg/cm ²		kg/cm ²		kg/cm ²	
KK, %	-	7,29		8,54		9,43		6,42		9,43	
D 0.05	-	0,0049		2,512		83,65		7,91		0,15	

Keterangan: (Remarks) A = Konsentrasi alkali (Alkali concentration); B = Komposisi campuran pulp pelepah nipah dan pulp sabut kelapa (Mixture proportion between nyapa midribpulp and coconut coir pulp); C = Bahan aditif (Additives); * = nyata pada taraf (significant at) 5%; ** = nyata pada (significant at) 1%; tn = tak nyata (not significant); KK = Koefisien keragaman (Coeff. of variation), P = peluang (Probability); D0.05 = nilai kritis uji jarak beda nyata jujur (BNJ) Tukey pada taraf / critical value of Tukey (honestly significant difference) at 5%;

Lampiran 2. Analisis keragaman terhadap sifat fisis dan kekuatan papan serat kerapatan sedang (MDF), berikut emisi formaldehida - Sambungan
Appendix 2. Analysis of variances on physical and strength properties of medium density fiberboard (MDF), together with formaldehyde emission - Continuation

Sumber keragaman (Sources of variation)	Db	Sifat fisis dan mekanis (Physical and strength properties)									
		Penyerapan air (<i>Water absorption</i>)		Pengembangan tebal (<i>Thickness swelling</i>)		Daya hantar panas (<i>Heat conductivity</i>)		Ketahanan panas (<i>Thermal resistance</i>)		Emisi formaldehida	
		F-hitung (F-calc.)	p	F-hitung (F-calc.)	p	F-hitung (F-calc.)	p	F-hitung (F-calc.)	p	F-hitung (F-calc.)	p
Total	119										
A	1	4,69	*	4,09	*	6,03	**	7,21	**	6,03	**
B	2	7,23	**	4,16	*	5,26	*	6,83	**	7,27	**
C	3	4,61	*	4,87	*	5,47	*	5,49	*	5,65	*
A*B	2	1,31	tn	8,34	**	7,96	**	7,51	**	1,08	tn
A*C	3	6,07	*	8,12	**	12,57	**	4,50	*	4,89	*
B*C	6	5,23	*	1,39	tn	4,49	*	5,01	*	4,94	*
A*B*C	6	4,33	*	5,86	*	4,78	*	4,58	*	4,37	*
Galat (Residuals)	96										
Rata-rata (Means)	-	114,7125		40,7261		0,0892		0,1290		0,3010	
Satuan (Units)	-	%		%		W.m ⁻¹ .K ⁻¹		m ² .K.W-1		mg/L	
KK, %	-	5,21		9,86		5,28		6,48		4,57	
D 0.05	-	10,36		4,32		0,00432		0,02641		0,02543	

Keterangan: (Remarks) A = Konsentrasi alkali (*Alkali cocentration*); B = Komposisi campuran pulp pelepah nipah dan pulp sabut kelapa (*Mixture proportion between nyipa midribpulp and coconut coir pulp*); C = Bahan aditif (*Additives*); * = nyata pada taraf (*significant at*) 5%; ** = nyata pada (*significant at*) 1%; tn = tak nyata (*not significant*); KK = Koefisisien keragaman (*Coeff. of variation*), P = peluang (*Probability*); D0.05 = nilai kritis uji jarak beda nyata jujur (BNJ) Tukey pada taraf/*critical value of Tukey (honestly significant difference) at 5%*;