

PEMBUATAN PULP UNTUK KERTAS BUNGKUS DARI BAHAN SERAT ALTERNATIF (*The Manufacture of Pulp for Wrapping Paper from Alternative Fiber Stuffs*)

Dian Anggraini Indrawan, Lisna Efiyanti, Rossi Margareth Tampubolon & Han Roliadi

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

Diterima 1 April 2014, Direvisi 30 Januari 2015, Disetujui 6 Mei 2015

ABSTRACT

Indonesia's paper consumption, including wrapping paper, might steadily increase in the future and create challenge for domestic wrapping-paper production due to the dwindling potency of conventional fibrous stuffs (e.g. natural-forest woods). A lternative ligno-cellulosic fibers should be introduced, such as pioneer-tree woods potential for plantation-forest (PF), e.g. jabon and terentang; sengan PF's logging wastes; pulp/ paper mill's sludge; and pineapple-leaf fibers. In relevant, trial on pulp manufacture for wrapping paper was conducted using those alternatives. Initially, each alternative-fiber was examined for their basic properties (i.e. specific gravity, chemical composition, and fiber dimensions/ their derived values). The fibrous pulping employed a hot alkali semi-chemical process (except sludge). The pulp-sheet with 60 g/ m² basis-weight target was formed from the mixture of jabon-wood pulp, terentang-wood pulp, sengan-wood pulp, sludge, and pineapple-leaf pulp (w/ w) in particular proportions; then to each proportion were added additives (alum 2%, clay 5%, wax emulsion 3%, tapioca starch 4%, and rosin soap 3%); and on the resulting pulp-sheets were tested their physical, strength, and optical properties. Results revealed that the proportion regarded as the most prospective for wrapping paper comprised terentang wood pulp (20%), jabon-wood pulp (20%), sengan-wood pulp (40%), and pineapple-leaf pulp (20%). The tolerable proportion for incorporating sludge should comprise sludge (20%), terentang-wood pulp (20%), jabon-wood pulp (20%), sengan-wood pulp (20%), and pineapple-leaf pulp (20%). The presence of harmful/ toxic heavy metals in the sludge which have been strongly indicated should thoroughly be accounted; and hence further experiment on their removal prior to the sludge use for wrapping paper deserves carrying out.

Keywords: Wrapping paper, conventional fibrous stuffs, alternative fibers, additives, sludge

ABSTRAK

Konsumsi kertas Indonesia, termasuk kertas bungkus, diperkirakan meningkat di masa mendatang dan akan menimbulkan tantangan pada kemampuan produksi kertas bungkus domestik karena potensi bahan baku serat konvensional (kayu hutan alam) semakin langka. Diperlukan sumber serat alternatif lainnya yang tersedia berlimpah, antara lain jenis kayu pohon pionir yang berpotensi untuk hutan tanaman (HTI), seperti jabon dan terentang; limbah pembalakan HTI sengan; *sludge* (limbah padat industri pulp/kertas); dan serat daun nanas. Sebagai kaitannya telah dilakukan percobaan menggunakan pulp dari serat alternatif untuk bahan kertas bungkus. Mula-mula, tiap bahan serat alternatif diperiksa sifat dasarnya (berat jenis, komposisi kimia, dan dimensi serat/nilai turunannya). Pengolahan pulp bahan serat menerapkan proses semi-kimia soda panas (kecuali *sludge*). Lembaran pulp bergramatur target 60 g/ m² dibentuk dari campuran pulp kayu jabon, pulp kayu terentang, pulp limbah kayu sengan, *sludge*, dan pulp serat daun nanas pada proporsi tertentu (b/b); lalu ditambahkan bahan aditif (alum/tawas 2%, pati tapioka 4%, kaolin 5%, emulsi lilin 3%, dan sabun rosin 3%) pada setiap proporsi; lembaran yang terbentuk diuji sifat fisis, kekuatan, dan optiknya. Hasil penelitian menunjukkan proporsi

campuran yang paling berprospek untuk ketas bungkus adalah pulp kayu terentang (20%), pulp kayu jabon (20%), pulp kayu sengon (40%), pulp serat daun nenas (20%). Untuk memanfaatkan *sludge*, proporsi yang bisa ditolerir adalah *sludge* (20%), pulp terentang (20%), pulp jabon (20%), pulp sengon (20%), pulp serat daun nenas (20%). *Sludge* telah diindikasikan kuat mengandung logam berat yang berbahaya/beracun sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut guna mengeliminir/menurunkan kandungan logam pada *sludge*, sebelum digunakan untuk kertas bungkus.

Kata kunci: Kertas bungkus, bahan serat konvensional, serat, alternatif, bahan aditif, *sludge*

I. PENDAHULUAN

Kertas merupakan bagian penting bagi kehidupan manusia. Kertas bermanfaat sebagai media pencatatan dan penyebar luasan data dan informasi; keperluan pembungkusan; percobaan laboratoris; pemintal benang/tekstil, dan *tissue*. Konsumsi kertas dapat merupakan salah satu ukuran kemajuan suatu bangsa. Sebagai gambaran, Amerika Serikat menduduki urutan pertama konsumsi kertas di dunia sebesar 345 kg/kapita, sedangkan Indonesia pada urutan ke tigabelas sebesar 30,1 kg/kapita pada tahun 2011 (Kompas, 2009; APKI, 2013).

Di Indonesia, salah satu jenis kertas yang diproduksi adalah kertas bungkus, dan konsumsinya meningkat 88.940-90.930 ton selama tahun 2009-2011. Konsumsi tersebut diperkirakan meningkat sejalan dengan tingkat kemajuan bangsa (Kompas, 2008; APKI, 2010; BPS, 2012). Produksi domestik kertas bungkus di masa mendatang diperkirakan sulit memenuhi kebutuhan domestik. Di sisi lain ketersediaan dan potensi kayu hutan alam semakin langka dan terbatas, sehingga memicu pembalakan liar yang mengakibatkan degradasi hutan. Tercatat laju

degradasi hutan alam Indonesia mencapai 1,5 juta hektar/tahun (Kompas, 2012).

Sehingga perlu dicari sumber bahan baku alternatif untuk industri kertas bungkus. Di antara sumber tersebut adalah kayu yang jenis pohonnya berpotensi (pionir) untuk pembangunan HTI (hutan tanaman) seperti gerunggang (*Cratogeomys arborescens*), terentang (*Camposperma coriaceum*), jabon (*Anthocephalus cadamba*), dan benuang bini (*Octomeles sumatrana*) (Mindawati, 2009; Kementerian Kehutanan, 2012). Di samping kayu, bahan berserat lignoselulosa lain juga dapat digunakan seperti limbah pembalakan hutan tanaman HTI (a.l. sengon) dan limbah padat organik industri pulp/kertas (*sludge*). Potensi limbah pembalakan HTI diperkirakan sebesar 8-10% dari potensi kayu HTI yang ditanam berdasarkan keseluruhan jenis dan rotasi yang diterapkan yaitu sekitar 150-300 juta m³ kayu/ha. Atas dasar itu potensi limbah pembalakan HTI mencapai 1,2-3,0 juta m³/tahun. Limbah pembalakan HTI selama ini hanya dibiarkan di tempat penebangan hingga membusuk (Pasaribu, 2006; Kompas, 2007; Kementerian Kehutanan, 2012). Limbah yang kering akan mudah terbakar sehingga menyebabkan kebakaran hutan.

Tabel 1. Komposisi kimia *sludge* industri pulp/ kertas berbahan baku campuran serat virgin dan kertas bekas *)

Table 1. Chemical composition of the *sludge* from the paper mill using the mixed stuffs of virgin fibers and waste paper *)

No.	Senyawa kimia (<i>Chemical compounds</i>)	Kandungan (Content), %
1.	Holselulososa (<i>Holocellulose</i>)	50-60
2.	Alfa-selulosa (<i>Alpha-cellulose</i>)	35-40
3.	Lignin	22-24
4.	Zat ekstraktif (<i>Extractives</i>)	3-10
5.	Bahan anorganik (<i>Inorganic matters</i>)	16-17

*) Sumber (*Source*): Lee, Wang, & Kang (2012)

Sludge dari industri pulp/kertas juga berpotensi sebagai bahan baku pembuatan kertas bungkus, karena memiliki senyawa selulosa, disamping senyawa kimia lainnya (Tabel 1).

Diperkirakan limbah *sludge* yang dihasilkan industri pulp/kertas sebesar 3-4% dari produksi riilnya (*Sludge Technology*, 1994; Rina, Purwanti, Hardiani, & Surachman, 2002; Komarayati, Roliadi, & Pasaribu, 2008). Dengan kapasitas produksi terpasang seluruh industri kertas Indonesia sebesar 11.292 juta ton/tahun pada tingkat utilisasi 80% (APKI, 2010; BPS, 2012), maka potensi *sludge* tersebut sekitar 0,25-0,33 juta ton/tahun atau 830-1100 ton/hari. Selama ini *sludge* hanya dibiarkan di tempat penampungan terbuka, dan kesulitan timbul karena ketersediaan tempat makin terbatas. Usaha mengatasi limbah *sludge* dengan cara membakar dapat berakibat buruk karena menyebabkan emisi karbon.

Semua sumber serat yang disarankan untuk pembuatan kertas bungkus (kayu hutan tanaman, limbah pembalakan hutan, dan *sludge*) merupakan serat pendek, maka perlu ditambahkan bahan berlignoselulosa berserat panjang misalnya serat daun nanas dan bahan aditif untuk memperbaiki sifat kertas bungkus, diantaranya sifat kekuatan dan ketahanan air tinggi (Casey, 1989; Kenya Standards, 2014). Peranan buah nenas di Indonesia terlihat dari produksinya yang cenderung meningkat yaitu 393.299 ton pada 2007 hingga 677.821 ton pada 2011 (BPS, 2012). Daun nanas belum banyak dimanfaatkan, dan karena berserat panjang diharapkan dapat digunakan sebagai bahan industri kertas dan tekstil di mana diperlukan produk berkekuatan tinggi (Sumarjono, 2009). Bahan aditif ada yang bersifat retensi (alum), perekat (pati), dan *water repellent* (emulsi lilin dan sabun rosin) (Smook, 2002; Rudra, Singh, Jyoti, & Shivhare, 2013), pemanfaatannya akan memperbaiki sifat kekuatan dan ketahanan air pulp/kertas.

Untuk mengoptimalkan pemanfaatan sumber alternatif, maka Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan telah melakukan penelitian uji coba pembuatan pulp untuk kertas bungkus skala usaha kecil dari campuran berbagai sumber serat alternatif berupa dua jenis kayu pohon pionir, limbah pembalakan kayu hutan tanaman sengon, *sludge*, dan serat daun nanas, berikut penggunaan bahan aditif.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

1. Bahan

Bahan baku yang digunakan adalah dua jenis pohon pionir (jabon dan terentang), limbah pembalakan kayu hutan tanaman (HTI), *sludge*, dan serat daun nanas. Kayu pionir diambil dari kawasan hutan sekunder. Limbah pembalakan diambil dari area sisa tebangan HTI berupa limbah kayu sengon (*Falcataria mullucana* L.), sedangkan *sludge* dari pabrik pulp/kertas di daerah Sumatera Selatan. Daun nanas diambil dari daerah tanaman nanas. Lokasi pengambilan bahan penelitian tersebut adalah berturut-turut di Provinsi Jawa Barat, Jawa Tengah, Sumatera Selatan, dan Banten.

Bahan kimia yang digunakan adalah barium khlorida (BaCl_2), asam khlorida (HCl) 0,1 N, kalium permanganat (KMnO_4) 0,1 N, asam sulfat (H_2SO_4), larutan kalium iodida (KI), natrium thiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0,2 N. Bahan kimia pemasak adalah soda api (NaOH). Bahan aditif yang digunakan yaitu kaolin (*day*), alum sulfat (tawas), perekat tapioka, emulsi lilin, dan bahan *sizing* sabun rosin.

2. Alat

Peralatan yang digunakan adalah ketel pemasak serpih bahan serat berskala pilot, *Hollander beater*, *stone refiner*, dan *Niagara beater*. Untuk pembentukan lembaran pulp kertas bungkus digunakan alat *hand-sheet former*, *stock chest*, mesin pengempa (kalender), dan pemotong lembaran (*cutter*).

Peralatan yang digunakan untuk pengujian sifat fisik dan kekuatan lembaran pulp adalah *thick ness tester*, *tearing tester*, *bursting tester*, *tensile tester*, *moisture-resistance tester*, dan peralatan optik (*brightness and opacity tester*). Instrumen untuk pencermatan skala nano terhadap bahan serat yaitu XRD (*X-ray diffraction*).

B. Prosedur Kerja

1. Penyiapan serpih kayu

Dua jenis kayu pionir (jabon dan terentang), dan satu jenis limbah pembalakan kayu HTI sengon secara terpisah dijadikan serpih kayu menggunakan mesin penyerpih kayu (*wood chipper*), lalu dikeringkan di tempat terbuka hingga mencapai kadar air kering udara (sekitar 12-14%).

2. Pemasakan serpih kayu dan serat daun nanas menjadi pulp

Tiap jenis serpih kayu (jabon, terentang, dan sengan) dimasak terpisah pada ketel pemasak skala pilot menggunakan proses semi kimia soda panas tertutup. dengan konsentrasi NaOH 14% (dari berat serpih kering oven) selama 3,5 jam pada suhu maksimum 120°C; nilai banding serpih kayu terhadap larutan pemasak adalah 1:5,5; dan tekanan ketel pemasak sekitar 1,4-1,5 atmosfer. Sedangkan daun nanas yang telah mencapai kering udara dipotong menjadi serpih kemudian dimasak dengan proses semi-kimia soda panas terbuka, dengan konsentrasi NaOH 6% (dari berat serpih daun nanas kering oven) selama 1,5 jam pada suhu maksimum 100°C dan tekanan udara terbuka (1 atmosfer). Nilai banding serpih daun nanas terhadap larutan pemasak adalah 1:7.

Setelah pemasakan, serpih lunak dipisahkan dari larutan pemasak kemudian diberi perlakuan mekanis dengan menggunakan *stone refiner*, dilanjutkan di *Hollander beater*, dan di *Niagara beater* hingga pulp mencapai derajat kehalusan sekitar 250-300 ml CSF (40-45°SR), dan total waktu giling yang diperlukan untuk mencapai derajat kehalusan tersebut dicatat. Pulp yang di-peroleh dikurangi airnya pada alat sentrifuse, dan dilakukan penetapan rendemen pulp tersaring, persen *reject*, dan bilangan kappa pulp tersaring.

3. Pembentukan lembaran pulp untuk kertas bungkus

Proporsi campuran pulp kayu jabon, pulp kayu terentang, pulp limbah pembalakan HTI sengan, *sludge* industri pulp/kertas, dan pulp daun nanas (berdasarkan berat kering oven) berturut-turut adalah A: 100%+0%+0%+0%+0% (k1), B: 0% + 100% + 0% + 0% + 0% (k2), C: 50% + 50% + 0% + 0% + 0% (k3), D: 40% + 40% + 0% + 0% + 20% (k4), E: 20% + 20% + 40% + 0% + 20% (k5), F: 20% + 20% + 0% + 40% + 20% (k6), G: 20%+20%+20%+20%+20% (k7). *Sludge*, sebelum dicampur dengan pulp, terlebih dulu dibersihkan secara mekanis dari benda asing seperti pasir, logam, dan bahan asing lainnya, dan selanjutnya dicuci bersih dengan air. Terhadap *sludge*, tidak perlu dilakukan pengolahan menjadi pulp, karena *sludge* merupakan lumpur padat dan sekiranya dicampur dengan air, akan tercerai berai menjadi suatu suspensi.

Campuran bahan serat (pulp + *sludge*) dari berbagai proporsi disuspensikan dalam air hingga mencapai konsistensi 3-4%. Campuran diaduk hingga homogen menggunakan *Hollander beater*. Sambil terus diaduk, pada campuran ditambahkan bahan aditif berupa kaolin (*day*) 5%, tapioka (bentuk pasta/tergelatinisasi dalam air) 4%, alum sulfat 2%, emulsi lilin 3%, dan sabun rosin 3% (masing-masing dari berat campuran bahan serat kering oven). Selanjutnya, campuran bahan serat pada masing-masing proporsi yang masih dalam *Hollander beater* ditambahkan air hingga konsistensi 1-2% dan disirkulasi untuk menjaga homogenitas-nya. Campuran homogen tersebut dialirkan ke *stock chest*, dibentuk menjadi lembaran pulp kertas bungkus pada *hand-sheet former* dengan target gramatur (bobot dasar) 60 gram/m². Lembaran basah yang terbentuk lalu dikeringkan pada *sheet drier*, dibiarkan mendingin mencapai suhu ruangan dengan kadar air 7-8%. Lembaran pulp kering selanjutnya dikempa (disetrika) dingin menggunakan mesin kalender, dikondisikan dalam ruang pengujian selama 24 jam, lalu dilakukan pengujian sifat fisis, kekuatan, dan optiknya.

C. Pengujian

1. Pengujian sifat dasar

Pengujian sifat dasar bahan serat dilakukan terhadap dua jenis kayu pionir (jabon dan terentang), kayu limbah pembalakan HTI (sengan), dan serat daun nanas. Pemeriksaan sifat dasar mencakup berat jenis, dimensi serat berikut nilai turunannya, dan komposisi kimia, yang dilakukan menurut standar P3KKPHH (Aprianis, 2010) dan standar TAPPI (2011).

2. Pengujian sifat pemasakan (pengolahan) pulp

Pengujian mencakup rendemen pulp tersaring, persen *reject*, bilangan kappa, konsumsi alkali, dan waktu giling untuk mencapai derajat kehalusan pulp 250-300 ml CSF (40-45°SR), yang dilakukan menurut prosedur standar TAPPI (2011).

3. Pengujian sifat fisik, kekuatan, dan optik lembaran pulp

Pengujian mencakup gramatur riil, kadar air, tebal, indeks tarik, indeks retak/pecah, indeks sobek, ketahanan terhadap penetrasi air, dan sifat optik (derajat kecerahan dan opasitas) menurut prosedur standar TAPPI (2011).

4. Evaluasi/pencermatan pada skala nano

Evaluasi dilakukan terhadap bahan serat, baik bahan mentah ataupun jadi pulp dengan instrumen skala nano (XRD), mencakup kristalinitas dan sudut mikrofibril rantai polimer selulosa sebagai pelengkap informasi yang diperoleh dari pengujian konvensional.

D. Rancangan Percobaan dan Analisis Data

Untuk menelaah data sifat dasar (berat jenis, komposisi kimia, dan dimensi serat berikut nilai turunannya) digunakan rancangan acak lengkap satu faktor (Ott, 1994). Sebagai faktor adalah macam bahan serat yaitu kayu pionir jabon (t1), kayu pionir terentang (t2), limbah HTI kayu sengon (t3), dan serat daun nanas (t4). Ulangan terhadap masing-masing bahan serat dilakukan sebanyak 8-10 kali.

Data sifat pemasakan/pengolahan pulp kayu dua dari 2 jenis pohon pionir dan pulp dari limbah pembalakan HTI juga ditelaah menggunakan rancangan acak lengkap satu faktor. Faktor tersebut adalah macam bahan serat yang serupa untuk menelaah sifat dasar yaitu t1, t2, t3, dan t4. Pemasakan/pengolahan pulp dari masing-masing jenis dilakukan ulangan 5-8 kali.

Selanjutnya data sifat fisik dan kekuatan kertas bungkus ditelaah pula dengan rancangan ragam peragam berpola acak lengkap satu faktor. Sebagai peragam adalah waktu giling mencapai derajat kehalusan pulp 200-250 ml CSF, dan sebagai faktor adalah campuran bahan serat untuk pembentukan lembaran pulp untuk kertas bungkus 7 macam proporsi (K) yaitu k1, k2, k3, k4, k5, k6, dan k7. Ulangan dari tiap proporsi tersebut (K) dilakukan sebanyak 3 kali.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sifat Dasar Bahan Serat

1. Berat jenis dan komposisi kimia

Perbedaan macam bahan serat berpengaruh nyata terhadap berat jenis dan komposisi kimia bahan tersebut (Tabel 2). Penelaahan lanjutan dengan uji beda jarak nyata jujur (BNJ) menunjukkan bahwa berat jenis kayu sengon paling rendah, sedangkan yang tertinggi adalah serat daun nenas (Tabel 3). Bahan serat dengan berat jenis tinggi akan membutuhkan kondisi

pemasakan yang lebih keras untuk menjadi pulp, sehingga memungkinkan lebih banyak degradasi komponen kimia kayu (atau bahan serat berlignoselulosa lain). Lebih lanjut, kebutuhan energi terjadi mulai dari bahan serat dikuliti, dipotong-potong, hingga dijadikan serpih untuk kemudian diolah menjadi pulp. Kebutuhan energi tersebut juga cenderung meningkat dengan makin tingginya berat jenis bahan serat (Smook, 2002). Serat daun nenas memiliki kadar lignin terendah, sedangkan tertinggi adalah kayu sengon. Kadar lignin tinggi akan membutuhkan proses delignifikasi bahan serat yang lebih keras selama pemasakan (pengolahan pulp) dan mengkonsumsi lebih banyak bahan kimia pemasak (Casey, 1980; Anggraini, Roliadi, Tampubolon, & Pari, 2013).

Mengenai pentosan dan hemiselulosa, kadar tertinggi terdapat pada kayu jabon, dan terendah pada kayu terentang (Tabel 3). Kayu atau bahan serat dengan kadar pentosan/ hemiselulosa tinggi dikehendaki dalam pengolahan pulp, karena mempermudah perlakuan mekanis proses penggilingan dan fibrilisasi serat pulp (Casey, 1980; Roliadi, Anggraini, & Tampubolon, 2012). Kadar alfa-selulosa dan holoselulosa tertinggi adalah pada serat daun nenas, sedangkan terendah pada kayu terentang. Bahan serat dengan kadar alfa-selulosa dan holoselulosa tertinggi sekiranya diolah menjadi pulp berpengaruh positif terhadap rendemen pulp (Sjostrom, 1994; Jansson & Brannvall, 2013).

Dalam hal abu dan silika, kadar tertinggi terdapat pada kayu terentang, sedangkan terendah pada sengon dan serat daun nanas (kadar silika). Kayu dengan kadar abu/silika tinggi tidak dikehendaki karena mempertumpul peralatan logam yang digunakan pada pengerjaan kayu/ bahan serat (seperti pemotongan, pembelahan, dan penyerpihan) (Haygreen & Bowyer, 1999). Di samping itu adanya abu yang terbawa pada pulp akan mengganggu ikatan dan anyaman antar serat pada saat pembentukan lembaran pulp (kertas), sehingga menurunkan kekuatannya (Smook, 2002; Roliadi et al., 2012).

Mengenai kelarutan dalam alkohol-benzen dan air dingin, kelarutan tertinggi terdapat pada serat daun nenas (Tabel 3), sedangkan terendah pada kayu sengon (alkohol-benzen) dan kayu jabon (air dingin). Dalam hal kelarutan dalam air panas, kelarutan tertinggi pada kayu terentang,

Tabel 2. Analisis keragaman terhadap berat jenis dan komposisi kimia kayu jabon, terentang, sengon, dan serat daun nanas**Tabel 2. Analysis of variances on specific gravity and chemical composition of jabon wood, terentang wood, sengon wood, and pineapple-leaf fibers**

Berat dan komposisi kimia (Specific gravity and chemical composition)	Sumber keragaman (Sources of variation) / derajat bebas (db)			F-hit (F-calc.)	Peluang (Probability)	Rata-rata (Means)	KK (%)	D0,05
	Total	Perlakuan (Treatment), T	Galat (Errors)					
Berat jenis /kering udara (Specific gravity / air dry)	11	3	8	18,97	**	0,4498	2,50	0,0481
Holeselulosa (Holocellulose)	11	3	8	6,77	*	66,51%	1,25	16,321
Alfa-selulosa (α -cellulose)	11	3	8	34,17	**	50,84%	0,46	3,182
Hemiselulosa (Hemicellulose)	11	3	8	8,16	**	23,94%	3,85	1,972
Pentosan (Pentosans)	11	3	8	6,12	*	18,16%	4,76	1,728
Lignin	11	3	8	91,72	**	23,26%	1,40	2,876
Abu (Ash)	11	3	8	31,20	**	2,29%	3,51	0,634
Silika (Silica)	11	3	8	12,94	**	0,256%	18,79	0,113
Kelarutan dalam alkohol-benzena (Solubility in alcohol-benzene)	11	3	8	13,73	**	3,61%	2,50	1,192
Kelarutan dalam air dingin (Solubility in cold water)	11	3	8	219,13	**	5,05%	2,54	0,932
Kelarutan dalam air panas (Solubility in hot water)	11	3	8	84,23	**	9,29%	2,62	1,127
Kelarutan dalam NaOH 1% (Solubility in 1% NaOH)	11	3	8	21,33	**	20,84%	2,50	1,292

Keterangan (Remarks): T = macam bahan serat / kind of fiber materials; db = derajat bebas (degrees of freedom); * = nyata pada taraf (significant at) 5%; ** = nyata pada (significant at) 1%; tn = tak nyata (ns = not significant); KK = koefisien keragaman (coeff. of variation); D0,05 = nilai kritis uji jarak beda nyata jujur (BNJ) pada taraf / Critical value of the honestly significant difference (HSD)'s range test at 5%

sedangkan terendah pada kayu sengon. Mengenai kelarutan dalam NaOH 1%, tidak terdapat perbedaan antara keempat macam bahan serat tersebut (Tabel 3). Kelarutan dalam alkohol-benzen mengindikasikan adanya senyawa ekstraktif baik polar ataupun non-polar pada kayu/bahan serat, sedangkan kelarutan dalam air dingin terkait dengan adanya senyawa ekstraktif polar dan mineral (zat anorganik/abu). Kelarutan dalam air panas, selain mengindikasikan adanya senyawa polar/mineral, juga terkait dengan senyawa tannin, lemak, sterol, dan zat warna pada kayu/bahan serat. Kelarutan dalam NaOH 1% selain terkait dengan kandungan ekstraktif polar juga berhubungan erat dengan adanya komponen

kimia kayu/bahan serat yang terdegradasi (Prentti, 2006; Serafimova, Mladenov, Mikailova, & Pelovski, 2011). Kayu/bahan serat dengan senyawa ekstraktif tinggi tidak dikehendaki pada pengolahan pulp, karena dapat menimbulkan *pitch trouble* (noda gelap pada permukaan lembaran pulp/kertas), dan mengkonsumsi banyak bahan kimia pemasak (Casey, 1980; TAPPI, 2011).

Berdasarkan uji BNJ yang kemudian dimanipulasi menjadi angka skor, ternyata dari ke empat macam bahan serat tersebut, indikasi terbaik untuk diolah menjadi pulp/kertas adalah kayu jabon (Tabel 3), disusul berturut-turut oleh kayu sengon, serat daun nanas, hingga terendah (kayu terentang).

Tabel 3. Hasil uji jarak beda nyata jujur (BNJ) terhadap berat jenis dan komposisi kimia kayu jabon, terentang, sengon, dan serat daun nanas (dinyatakan dalam grade/ mutu dan skor)

Table 3. Results of honestly significant difference (HSD) tests on specific gravity and chemical composition of jabon wood, terentang wood, and sengon wood, pineapple-leaf fibers (expressed in grades and scores)

Berat jenis dan komposisi kimia (<i>Specific gravity and chemical composition</i>)	Aspek (<i>Items</i>)	Macam bahan serat (<i>kind of fiber stuffs</i>)			
		Kayu jabon (<i>Jabon wood</i>)	Kayu terentang (<i>Terentang wood</i>)	Kayu sengon (<i>Sengon wood</i>)	Serat daun nanas (<i>Pineapple-leaf fibers</i>)
Berat jenis (<i>Specific gravity</i>)	M	0,492	0,528	0,424	0,545
	G	B	B	C	A
	S	3	3	4	2
Holoselulosa (<i>Holocellulosa</i>), %	M	65,38	55,91	63,39	81,33
	G	B	B	B	A
	S	3	3	3	4
Alfa-selulosa (α - <i>cellulose</i>), %	M	39,20	35,21	40,43	65,42
	G	B	C	B	A
	S	3	2	3	4
Hemiselulosa (<i>Hemicellulose</i>), %	M	26,18	20,70	22,96	25,91
	G	A	B	B	A
	S	4	3	3	4
Pentosan (<i>Pentosans</i>), %	M	19,79	16,44	17,63	18,79
	G	A	B	B	A
	S	4	3	3	4
Lignin, %	M	27,34	28,92	31,74	5,05
	G	B	B	A	C
	S	3	3	2	4
Abu (<i>Ash</i>), %	M	1,44	4,73	1,10	1,89
	G	C	A	C	B
	S	4	2	4	3
Silika (<i>Silica</i>), %	M	0,200	0,675	0,075	0,075
	G	B	A	C	C
	S	3	2	4	4
Kelarutan dalam alkohol-benzen (<i>Solubility in alcohol-benzene</i>), %	M	3,67	3,77	2,71	4,27
	G	B	B	C	A
	S	3	3	4	2
Kelarutan dalam air dingin (<i>Solubility in cold water</i>), %	M	3,84	5,02	5,29	6,03
	G	C	B	B	A
	S	4	3	3	2
Kelarutan dalam air panas (<i>Solubility in hot water</i>), %	M	8,10	11,08	8,29	9,68
	G	C	A	C	B
	S	4	2	4	3
Kelarutan dalam NaOH 1% (<i>Solubility in 1% NaOH</i>), %	M	20,53	20,69	20,75	21,40
	G	A	A	A	A
	S	4	4	4	4
	TS	42	33	41	40

Keterangan (*Remarks*): Rata-rata dari 3 ulangan (*Average of 3 replications*); Angka (dalam kolom M) yang diikuti secara horizontal oleh huruf (kolom G) dan skor (kolom S) yang sama tak berbeda nyata (*Figures (in column M) followed horizontally by same letters (column G) and same scores (column S) are not significantly different: A > B > C > D*) (Sumber/*Sources*: Ott, 1994); TS = Total skor (*Total score*): $S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n$; Semakin tinggi nilai S atau TS, maka semakin prospektif bahan serat untuk kertas bungkus (*The greater the S or TS values, then the more prospective the fiber stuffs for wrapping paper*)

2. Dimensi serat dan nilai turunannya

Penelaahan dengan analisis keragaman terhadap dimensi serat dan nilai turunannya disajikan pada Tabel 4. Penelaahan lebih lanjut dengan uji BNJ (Tabel 5) menunjukkan bahwa serat terpanjang terdapat pada daun nanas, sedangkan terendah pada kayu sengon. Dalam hal diameter serat dan lumen, diameter tertinggi terdapat pada kayu jabon, dan terendah pada serat daun nanas. Mengenai tebal dinding serat, nilai tertinggi terdapat pada serat daun nanas, dan kayu sengon menunjukkan yang terendah. Tebalnya dinding serat nanas diduga berkaitan dengan tingginya berat jenis serat (Tabel 3) (Apriani, 2010). Untuk pengolahan pulp/kertas, kayu/bahan serat yang dikehendaki adalah yang memiliki serat panjang; diameter serat dan lumen besar; dan dinding serat tipis; karena angka tersebut terkait erat dengan fenomena jalinan dan anyaman serat, serta sifat menggepeng serat, yang kemudian berpengaruh

positif terhadap sifat kekuatan lembaran pulp/kertas (Hoadley, 1990; Junianto, 2011).

Dalam hal nilai turunan dimensi serat, daya tenun tertinggi terdapat pada serat daun nanas, sedangkan serat kayu sengon terendah (Tabel 5). Mengenai bilangan Runkel, nilai terendah pada kayu jabon, sedangkan tertinggi pada serat daun nanas. Untuk koefisien fleksibilitas dan kekakuan, serat daun nanas memiliki nilai berturut-turut terendah dan tertinggi, sedangkan nilai pada ketiga macam bahan serat lainnya saling tidak berbeda nyata. Nilai tertinggi bilangan Muhlsteph terdapat pada kayu jabon, sedangkan terendah pada serat daun nanas. Untuk pengolahan pulp/kertas, kayu/bahan serat yang dikehendaki adalah yang memiliki daya tenun serat dan koefisien fleksibilitas tinggi; sedangkan bilangan Runkel, koefisien kekakuan, dan bilangan Muhlsteph rendah. Ini disebabkan hal tersebut berpengaruh positif terhadap sifat menggepeng serat dan

Tabel 4. Analisis keragaman terhadap dimensi serat dan nilai turunannya pada kayu jabon, terentang, sengon, dan serat daun nanas

Table 4. Analysis of variances on fiber dimensions and their derived values of jabon wood, terentang wood, and sengon wood, pineapple-leaf fibers

Dimensi serat dan nilai turunannya (Fiber dimensions and their derived values)	Sumber keragaman (Sources of variation) / db			F-hit/ F-calc.	Peluang Probability	Rata-rata/ Means	KK (%)	D0,05
	Total	Perlakuan (Treatment), T	Galat (Errors)					
Panjang serat (Fiber length), L	39	3	36	38,91	**	2643,33 µm	6,5717	211,34
Diameter serat (Fiber diameter), D	39	3	36	7,99	*	34,98 µm	3,8412	6,32
Diameter lumen (Lumen diameter), l	39	3	36	12,51	**	28,985 µm	5,0202	0,251
Tebal dinding serat (Fiber wall thickness), w	39	3	36	13,84	**	2,7375 µm	4,9481	0,634
Daya tenun (Felting power), L/d	39	3	36	15,22	**	95,46	22,4471	15,24
Bilangan Runkel (Runkel ratio), 2w/l	39	3	36	15,32	**	0,2375	7,3216	0,187
Koef. fleksibilitas (Flexibility coeff.), 1/d	39	3	36	8,78	**	0,8025	1,5923	0,127
Koef. kekakuan (Rigidity coeff.), w/d	39	3	36	9,10	**	0,085	6,5377	0,031
Bilangan Muhlsteph (Muhlsteph coeff.), $100*[(d^2-l^2)/d^2]$	39	3	36	23,14	**	21,21 %	6,1220	3,04

Keterangan (Remarks): Sama seperti Tabel 1 (Similar to those in Table 1); kecuali rata-rata dari 10 ulangan (Except, the average from 10 replications)

Tabel 5. Hasil uji jarak BNJ data dimensi serat dan nilai turunannya pada kayu jabon, terentang, sengan, dan serat daun nanas kayu (dinyatakan dalam grade/ mutu dan skor)

Table 5. Results of HSD tests on fiber dimensions and their derived values of jabon wood, terentang wood, and sengan wood, pineapple-leaf fibers (expressed in grade and scores)

Dimensi serat dan nilai turunannya (Fiber dimensions and their derived values)	Aspek	Macam bahan serat (kind of fiber stuffs)			
	(Items)	Kayu jabon (Jabon wood)	Kayu terentang (Terentang wood)	Kayu sengan (Sengan wood)	Serat daun nanas (Pineapple-leaf fibers)
Panjang serat (Fiber length), L (μm)	M	1778,41	1344,45	1330,26	6120,19
	G	B	C	C	A
	S	3	2	2	4
Diameter serat (Fiber diameter), d (μm)	M	44,38	35,82	36,72	23,00
	G	A	B	B	C
	S	4	3	3	2
Diameter lumen (Lumen diameter), l (μm)	M	38,77	30,93	32,34	13,90
	G	A	B	B	C
	S	4	4	3	2
Tebal dinding serat (Fiber wall thickness), w (μm)	M	2,81	2,45	2,19	3,50
	G	B	B	C	A
	S	3	3	4	2
Daya tenun (Felting power), L/d	M	40,77	37,54	37,43	266,10
	G	B	B	B	A
	S	3	3	3	4
Bilangan Runkel (Runkel ratio), 2w/l	M	0,15	0,16	0,14	0,50
	G	B	B	B	A
	S	4	4	4	3
Koef. fleksibilitas (Flexibility coeff.), 1/d	M	0,87	0,86	0,88	0,60
	G	A	A	A	B
	S	4	4	4	3
Koef. kekakuan (Rigidity coeff.), w/d	M	0,06	0,07	0,06	0,15
	G	B	B	B	A
	S	4	4	4	3
Bilangan Muhlsteph (Muhlsteph coeff.), $100 \cdot [(d^2 - l^2) / d^2]$	M	28,08	24,48	21,92	10,35
	G	A	B	B	C
	S	2	3	3	4
	TS	31	30	30	27

Keterangan (Remarks): Sama seperti pada Tabel 3 (Similar to those in Table 3)

jalanan/ikatan/anyaman antar serat pada saat pembentukan lembaran pulp/kertas (Smook, 2002; Apriyani, 2010).

Berdasarkan telaahan nilai skor hasil manipulasi uji BNJ terhadap dimensi serat dan nilai turunannya, ternyata dari ke empat macam bahan serat tersebut, jenis yang berindikasi paling berprospek diolah menjadi pulp/kertas adalah kayu jabon (Tabel 5), disusul berturut-turut oleh kayu terentang dan sengan, hingga terendah (serat daun nanas).

3. Sifat pengolahan pulp

Telaahan dengan analisis keragaman yang diikuti uji BNJ terhadap sifat pengolahan pulp (Tabel 6 dan 7) mengindikasikan bahwa rendemen

pulp total dan rendemen pulp tersaring tertinggi terdapat pada kayu jabon dan serat daun nanas, diikuti oleh kayu sengan dan kayu terentang. Hal ini karena kadar holoselulosa pada kayu jabon dan serat daun nanas cukup tinggi (Tabel 3). Untuk kayu terentang, kadar holoselulosa dan alfa-selulosanya paling rendah, sehingga berakibat rendahnya rendemen pulp kayu terentang (total dan tersaring). Dalam hal *reject*, nilai terbesar terdapat pada pulp kayu terentang, diikuti oleh kayu jabon, sengan (Tabel 7), hingga serat daun nanas (terendah). Ini mengindikasikan bahwa serat kayu terentang hasil pemasakan proses semikimia, lebih sulit terpisah sewaktu perlakuan mekanis (*beating/refining*), sedangkan serat pulp daun nanas,

Tabel 6. Analisis keragaman terhadap sifat pengolahan pulp kayu jabon, terentang, sengon, dan serat daun nanas**Table 6. Analysis of variances on pulp-processing properties of jabon wood, terentang wood, and sengon wood, pineapple-leaf fibers**

Sifat pengolahan pulp (Pulp-processing properties)	Sumber keragaman (Sources of variation) / db			F-hit/ F-calc.	Peluang Probability	Rata- rata/ Means	KK (%)	D0,05
	Total	Perlakuan (Treatment), T	Galat (Errors)					
Rendemen pulp total (Total yield)	11	3	8	7,78	*	68,90 %	0,81	5,12
Rendemen pulp tersaring (Screened pulp yield)	11	3	8	7,74	*	68,69 %	0,82	4,38
Rejects	11	3	8	7,91	*	0,20 %	2,11	0,091
Konsumsi alkali (Alkali consumption)	11	3	8	19,41	**	10,79 %	2,05	1,79
Bilangan kappa (Kappa number)	11	3	8	11,47	**	42,29	18,91	3,70-4,95
Waktu giling (Beating duration)	11	3	8	7,12	*	53,75 Menit (Minutes)	64,38	5,26-5,61

Keterangan (Remarks): Sama seperti Tabel 1 (Similar to those in Table 1)

Tabel 7. Hasil uji jarak BNJ sifat pengolahan pulp kayu jabon, terentang, sengon, dan serat daun nanas (dinyatakan dalam grade/ mutu dan skor)**Table 7. Results of HSD tests on pulp-processing properties of jabon wood, terentang wood, and sengon wood, pineapple-leaf fibers (expressed in grade and scores)**

Sifat pengolahan pulp (Pulp-processing properties)	Aspek	Macam bahan serat (kind of fiber stuffs)			
	(Items)	Kayu jabon (Jabon wood)	Kayu terentang (Terentang wood)	Kayu sengon (Sengon wood)	Serat daun nenas (Pineapple-leaf fibers)
Rendemen pulp total (Total yield), %	M	74,90	55,87	67,39	77,43
	G	A	C	B	A
	S	4	2	3	4
Rendemen pulp tersaring (Screened pulp yield), %	M	74,68	55,62	67,19	77,26
	G	A	C	B	A
	S	4	2	3	4
Rejects, %	M	0,200	0,240	0,195	0,160
	G	B	A	B	C
	S	3	2	3	4
Konsumsi alkali (Alkali consumption), %	M	12,61	12,92	12,38	5,26
	G	A	A	A	B
	S	3	3	3	4
Bilangan kappa (Kappa number)	M	51,96	52,79	53,45	10,94
	G	A	A	A	B
	S	3	3	3	4
Waktu giling mencapai 250-300 ml CSF (Beating duration for 250- 300 ml CSF), menit (minutes)	M	50	60	55	50
	G	C	A	B	C
	S	4	2	3	4
	TS	21	14	18	24

Keterangan (Remarks): Sama seperti pada Tabel 3 (Similar to those in Table 3)

kayu jabon, dan kayu sengon lebih mudah. Di duga terkait dengan rendahnya kadar hemiselulosa dan tingginya berat jenis pada kayu terentang; dan tingginya kadar pentosan/hemiselulosa kayu jabon, kayu sengon, dan serat daun nanas (Tabel 3) (Casey, 1980; Serafimova et al., 2011; Anggraini et al., 2013).

Mengenai konsumsi alkali dan bilangan kappa, nilai terendah terdapat pada pengolahan pulp serat daun nenas, sedangkan antara ketiga macam bahan serat lainnya, tidak terdapat perubahan nyata (Tabel 7). Keadaan ini karena kadar lignin awal pada serat daun nenas paling rendah (Tabel 3). Kayu dengan kadar lignin tinggi akan lebih banyak mengkonsumsi bahan kimia pemasak, termasuk alkali; dan pada pulpnya terindikasi masih terdapat sejumlah besar sisa lignin (bilangan kappa tinggi). Konsumsi alkali berhubungan dengan pemakaian bahan kimia pemasak, sedangkan bilangan kappa terkait dengan kebutuhan bahan pemutih (*bleaching agent*) atau bahan stabilisasi warna (Casey, 1980). Bilangan kappa pulp jabon, pulp terentang, dan pulp sengon relatif tinggi (>35), maka sebaiknya diputihkan dengan bahan pemutih yang tidak terlalu keras (seperti peroksida, hidrosulfit, borohrida, dan bahan stabilisasi warna). Bilangan kappa pulp serat daun nanas relatif rendah (<35), sehingga dapat diputihkan dengan bahan pemutih berdaya oksidator kuat (seperti senyawa khlor, oxygen, dan ozone) dengan minimum degradasi karbohidrat (Smook, 2002; Serafimova et al., 2011; TAPPI, 2011).

Dalam hal waktu giling hingga derajat kehalusan serat pulp 250-300 ml CSF, ternyata waktu giling tertinggi (terlama) terdapat pada pulp kayu terentang, diikuti oleh pulp kayu sengon, pulp kayu jabon, dan pulp serat daun nanas. Hal ini dapat dipahami karena ditinjau dari kadar hemiselulosa dan pentosan, nilai terendah terdapat pada kayu terentang, diikuti berturut-turut yang semakin tinggi oleh kayu sengon, kayu jabon, hingga serat daun nanas (kadar tertinggi) (Tabel 3). Waktu giling yang lama mengakibatkan konsumsi energi besar dan lebih banyak degradasi fisik serat pulp, yang selanjutnya menurunkan sifat kekuatan lembaran pulp/kertas. Kandungan hemiselulosa/pentosan yang tinggi dapat mempermudah penggilingan (mempersingkat waktu giling), karena senyawa tersebut bersifat hidrofilik sehingga mengintensifkan proses fibrilisasi serat (Smook, 2002; Junianto, 2011).

Berdasarkan telaahan nilai skor yang juga hasil manipulasi uji uji BNJ terhadap sifat pengolahan pulp (Tabel 7), ternyata yang paling berprospek diolah menjadi pulp/kertas adalah serat daun nanas, diikuti oleh kayu jabon, kayu sengon, hingga kayu terentang (terendah).

4. Sifat lembaran pulp untuk kertas bungkus (fisik, kekuatan, and optik)

Hasil telaahan sifat pulp menggunakan analisis ragam-peragam yang diikuti uji BNJ disajikan berturut-turut pada Tabel 8 dan 9. Untuk keperluan kertas bungkus, sifat fisik, kekuatan, dan optik pulp yang dikehendaki adalah memiliki nilai tinggi dalam hal bobot dasar/gramatur, derajat keputihan/kecerahan, opasitas, indeks retak, indeks tarik, indeks sobek, dan tebal lembaran; dan nilai rendah untuk daya serap air (Smook, 2002; Kenya Standards, 2014). Selanjutnya, berdasarkan hasil manipulasi uji BNJ (bentuk skor), terlihat bahwa lembaran pulp untuk kertas bungkus yang dibentuk dari komposisi campuran pulp kayu terentang (porsi 20%) + pulp kayu jabon (20%) + pulp kayu sengon (40%) + *sludge* (0%; tanpa *sludge*) + pulp serat daun nenas (20%) menunjukkan nilai sifat fisik, kekuatan, dan optik optimum, sebagaimana ditunjukkan dari nilai skor tertinggi (28) (Tabel 9, kode E). Ini mengindikasikan bahwa aspek positif sifat lembaran tersebut didominasi oleh pulp kayu sengon (porsi 40%), disusul oleh macam bahan serat lain dengan porsi lebih rendah dan sama satu terhadap lainnya yaitu pulp daun nanas (porsi 20%), pulp kayu terentang (porsi 20%), dan pulp kayu jabon (porsi 20%). Berdasarkan skor sifat dasar (berat jenis dan komposisi kimia) kayu sengon menempati urutan kedua, sedangkan serat daun nanas dan kayu jabon masing-masing urutan ketiga dan pertama (Tabel 3). Untuk skor sifat dasar lain (dimensi serat dan nilai turunannya), kayu sengon, serat daun nanas, dan kayu jabon masing-masing menempati urutan ketiga, keempat, dan pertama (Tabel 5). Untuk urutan skor sifat pengolahan pulp (Tabel 7), kayu sengon, serat daun nanas, dan kayu jabon masing-masing menempati urutan ketiga, pertama, dan kedua.

Fenomena dominasi pulp kayu sengon, pulp serat nanas, dan pulp jabon pada pembentukan lembaran pulp untuk kertas bungkus (skor = 28, kode E, Tabel 9) berindikasi bahwa aspek positif pada bahan serat tersebut, antara lain kayu sengon

dengan berat jenis paling rendah (Tabel 3), jabon dengan kadar holoselulosa dan rendemen pulp tersaring tertinggi (Tabel 5 dan 7), dan serat nanas berdimensi paling panjang, bilangan Muhlsteph paling rendah, dan daya tenun paling tinggi (Tabel 3), dapat menetralkan aspek negatif macam bahan serat lain, yaitu kadar holoselulosa dan alfa-selulosa paling rendah pada kayu terentang (Tabel 3). Berat jenis rendah memudahkan pemisahan bahan serat menjadi serat terpisah (pulp) dengan degradasi serat rendah; kadar holoselulosa dan hemiselulosa tinggi memungkinkan rendemen pulp tersaring tinggi dan pulp lebih mudah digiling (serat pulp tidak banyak terdegradasi); dan serat yang panjang, bilangan Muhlsteph paling rendah dan dengan daya tenun tinggi berperan positif pada ikatan antar dan anyaman serat sewaktu pembentukan lembaran pulp (kertas) (Casey, 1980; Aprianis, 2010).

Rendahnya tingkat degradasi campuran bahan serat pada lembaran pulp dengan kode E (Tabel 9), juga diindikasikan pada bobot dasar riilnya ($63,5 \text{ g/m}^2$) yang dianggap sebanding dengan bobot dasar targetnya (60 g/m^2). Mengenai sedikit lebih tingginya bobot dasar riil dari pada bobot dasar target tersebut, diduga kuat akibat penggunaan aditif (alum, sabun resin soap, dan emulsi lilin) yang ikut teretensi bersama bahan serat (Casey, 1980; Santiago & Neto, 2009; Flandez et al., 2010; Karlsson, Gustavsson, Svensson, Nilsson & Eljertsson, 2011). Rendahnya tingkat degradasi tersebut berperan positif pada derajat kecerahan, derajat opasitas dan sifat kekuatan lembaran pulp berkode E tersebut atau berskor 28 (Casey, 1980; TAPPI, 2011).

Jika dicermati pada nilai daya serap air, nilainya pada lembaran pulp berskor 28 tersebut (kode E, Tabel 9) dianggap rendah (dikehendaki), meskipun tidak yang terendah. Rendahnya nilai daya serap air tersebut diindikasikan pada nilai bilangan kappa pulp kayu sengon yang paling tinggi (porsi campurannya 40%), diikuti oleh pulp jabon dan pulp kayu terentang, masing-masing dengan porsi campuran 20% (Tabel 7). Bilangan kappa tinggi berindikasi masih tingginya pula sisa kadar lignin dalam pulp. Lignin bersifat kurang higroskopis dibanding selulosa (Casey, 1980; TAPPI, 2011, Kenya Standards, 2014).

Terkait dengan pemanfaatan *sludge*, ternyata penggunaannya hingga porsi tertentu (40%) yaitu pada komposisi campuran pulp terentang 20% + pulp jabon 20% + *sludge* 40% + pulp serat daun

nanas 20%, cenderung menurunkan bobot dasar/gramatur (nilai riil = $53,7 \text{ g/m}^2$; lebih rendah dari pada nilai target 60 g/m^2) dan sifat kekuatan lembaran pulp (kode F; Tabel 9; skor pada urutan ketiga = 22). Hal ini dapat dimengerti karena pada *sludge* terdapat komponen serat berukuran pendek, terfragmetasi, dan bahan bukan serat (Maybee, 1999; Komarayati et al., 2008; Suriyanarayanan et al., 2010) sehingga banyak lolos saringan pada saat pembentukan lembaran. Penggunaan *sludge* yang bisa ditolerir untuk campuran bahan serat adalah pada komposisi *sludge* 20% + pulp terentang (20%) + pulp jabon (20%) + pulp sengon (20%) + pulp serat daun nanas (20%) di mana menghasilkan lembaran pulp yang masih cukup berprospek untuk kertas bungkus (kode G; Tabel 9; skor pada urutan kedua = 25). Meski nilai bobot dasar lembaran pulp berkode G tersebut ($56,1 \text{ g/m}^2$) masih dibawah nilai target (60 g/m^2), akan tetapi nilai tertentu sifat fisis/kekuatan/optiknya (antara lain tebal, daya serap air, indeks sobek, dan opasitas) menyamai nilai sifat lembaran kertas berkode E (Tabel 9). Ini berindikasi aspek positif macam bahan serat pada lembaran pulp berkode G tersebut yaitu rendemen pulp tersaring yang tinggi (>55%) pada pulp jabon, pulp terentang, pulp sengon, dan pulp serat daun nanas (Tabel 7) dapat mengatasi aspek negatif *sludge* (Smook, 2002; Hagelqvist, 2013).

Sehubungan dengan bisa ditolerirnya *sludge* untuk kertas bungkus (kode G, Tabel 9), perlu diperhatikan bahwa *sludge* tersebut mengandung bahan anorganik dengan porsi relatif besar (Tabel 1), di mana sebagian besar berasal dari penggunaan bahan aditif (a.l. *filler*, *sizing*, zat warna, *coating agent*) selama pengolahan pulp/kertas (Casey, 1989; TAPPI, 2011). Di dalam bahan anorganik tersebut terdapat pula senyawa/unsur logam berat seperti Cd, Cu, Pb, Hg, Mo, Ni, Se, dan Zn dengan kadar tertentu (Tabel 10). Logam tersebut berbahaya untuk kesehatan manusia (Aritonang & Anggraini, 2008; Turek, Korolewics, & Ciba, 2010), sekiranya digunakan untuk kemasan bahan makanan/minuman. Diperkirakan sebagian dari logam tersebut terlarut dalam air (*leaching*) hingga terpisah dari *sludge* selama pengolahannya menjadi pulp kertas bungkus pada tahapan seperti pencucian, penggilingan/homogenisasi bahan serat, penambahan aditif, dan pembentukan lembaran (Sinha, Herat, Bharama, & Brahmbhatt, 2010),

Tabel 8. Analisis ragam-peragam sifat fisik, kekuatan, optik lembaran pulp untuk kertas bungkus
Table 8. Analysis of covariance on physical, strength, and optical properties of pulp sheets for wrapping paper

Sifat fisik, kekuatan, dan optik (<i>Physical, strength, and optic properties</i>)	Sumber keragaman (<i>Sources of variation</i>) / db (df)					Koef. re- gresi (Re- gression coeff.)	Rata-rata (<i>Means</i>)	KK (%)	D0,05	
	Total	Perlakuan (<i>Treatment</i>)	Waktu gi- ling (<i>Bea-ting duration</i>) (W)	Galat (Error)	F-hitung (<i>F-calc</i>)					
					T					W
Gramatur (<i>Basis weight</i>) g/m ²	20	6	1	13	6,29*	8,14*	59,5286	7,52	4,52	
Derajat kecerahan (<i>Brightness</i>), %	20	6	1	13	7,21*	13,23**	31,0271	2,12	2,92	
Opasitas (<i>Opacity</i>), %	20	6	1	13	3,03 ^{tn}	10,02**	99,4043	6,18	0,11	
Indeks retak (<i>Burst index</i>), kN/g	20	6	1	13	6,69*	7,23*	0,9000	1,79	1,28	
Indeks tarik (<i>Tensile index</i>), Nm/g	20	6	1	13	13,99**	6,838*	20,5443	2,83	5,17	
Indeks sobek (<i>Tear index</i>) mN.m ² /g	20	6	1	13	7,07*	6,55*	3,9843	4,99	0,59	
Daya scrap air, (g/m ²)/60 detik	20	6	1	13	7,21*	6,71*	13,0429	3,21	2,17	
Tebal, mm	20	6	1	13	7,12*	12,64**	0,1991	7,43	0,08	
Keterangan (<i>Remarks</i>): T = Macam lembaran pulp untuk kertas bungkus / <i>Kind of pulp sheet for wrapping paper</i> ; Waktu giling (W) berperan sebagai peragam (<i>Beating durations (W)</i>) serve as covariate); Lainnya sama seperti Tabel 1a (<i>Others similar to those in Table 1 a</i>)										

Tabel 9. Hasil uji jarak BNJ sifat fisik, kekuatan, dan optik lembaran pulp untuk kertas bungkus (dinyatakan dalam grade/mutu dan skor)^{*)}
Table 9. Results of HSD tests on physical, strength, and optic properties of pulp sheets for wrapping paper (expressed in grades and scores)^{*)}

Sifat fisik, kekuatan, Dan optik (Physical, strength, and optical properties *)	Aspek (Aspects)	Macam lembaran pulp untuk kertas bungkus (Kind of pulp sheets for wrapping paper), K							Pembanding (Control),
		k1 (A)	k2 (B)	k3 (C)	k4 (D)	k5 (E)	k6 (F)	k7 (G)	
Gramatur (Basis weight), g/m ²	M	57,1	64,0	64,7	63,5	63,6	53,7	56,1	60,8±1,2
	G	B	A	A	A	A	C	B	>A
	S	3	4	4	4	4	2	3	>4
Derajat kecerahan (Brightness), %GE	M	31,07	28,59	30,36	32,71	35,53	27,21	31,72	23,07±0,57
	G	B	B	B	B	A	C	B	<C
	S	3	3	3	3	4	2	3	<2
Opasitas (Opacity), %	M	98,99	99,60	99,62	99,64	99,41	99,24	99,33	99,66±0,14
	G	A	A	A	A	A	A	A	A
	S	4	4	4	4	4	4	4	4
Indeks retak (Burst index), kPam ² -g (kN/g)	M	0,72	0,64	0,67	0,83	1,77	0,92	0,75	1,82±0,23
	G	C	D	D	B	A	B	C	>A
	S	2	1	1	3	4	3	2	>4
Indeks tarik (Tensile index), Nm/g	M	15,53	11,76	12,21	24,56	34,88	18,74	26,13	51,82±5,06
	G	D	D	D	B	A	C	B	>A
	S	1	1	1	3	4	2	3	>4
Indeks sobek (Tear index) mN.m ² /g	M	1,54	1,34	1,72	5,99	5,43	6,01	5,86	6,76±0,31
	G	C	C	C	B	B	A	B	>A
	S	2	2	2	3	3	4	3	>4
Daya serap air (Water absorption), (g/m ²)/60 detik (seconds)	M	14,4	15,3	13,2	12,7	13,1	12,6	10,0	1,4±0,4
	G	A	A	A	B	A	B	C	<C
	S	2	2	2	3	2	3	4	>4
Tebal (Thickness), mm	M	0,1993	0,1310	0,2172	0,2237	0,1914	0,2356	0,1956	0,129±0,03
	G	B	C	A	A	B	A	B	<C
	S	3	4	2	2	3	2	3	>4
TS		20	21	19	25	28	22	25	>28

Keterangan (Remarks): ^{*)} Rata-rata dari 3 ulangan (Averages of three replications); Pembanding = Kertas bungkus komersial (Control = Commercial wrapping paper); Untuk kode-kode (For the codes of) k1 (A), k2 (B), k3 (C), k4 (D), k5 (E), k6 (F), k7 (G); Angka (dalam kolom M) yang diikuti secara horizontal oleh huruf (kolom G) dan skor (kolom S) yang sama tak berbeda nyata / Figures (in column M) followed horizontally by same letters (column G) and same scores (column S) are not significantly different: A > B > C > D; TS = Total skor (Total score); S1 + S2 + S3 + + Sn; Semakin tinggi nilai S atau TS, maka semakin prospektif komposisi campuran bahan serat (K) untuk kertas bungkus (The greater the S or TS values, then the more prospective the mixture proportion of fiber stuffs (K) for wrapping paper)

Tabel 10. Komposisi logam berat pada *sludge* dan perkiraan kadarnya
Table 10. Composition of heavy metals in the *sludge* and their approximate contents

No.	Logam berat (<i>Heavy metals</i>)	Kandungan (<i>Content</i>), mg/kg
1.	Cadmium (Cd)	3,27 – 3,73
2.	Cobalt (Co)	5,14 – 5,52
3.	Tembaga / <i>Copper</i> (Cu)	128,7 – 133,5
4.	Besi / <i>Iron</i> (Fe)	512.213 – 514.00
5.	Mangan / <i>Manganese</i> (Mn)	173 – 192
6.	Nikel / <i>Nickel</i> (Ni)	36,5 – 39,2
7.	Timah hitam / <i>Lead</i> (Pb)	98- 106
8.	Seng / <i>Zinc</i> (Zn)	3.278 – 3.327

*) Sumber (Source): Turek et al. (2010)

sehingga mengurangi potensi racunnya. Disarankan pada permukaan kertas bungkus yang bersentuhan langsung dengan bahan makanan/minuman, dilakukan laminasi dengan bahan pelapis non-reaktif dan tidak beracun, seperti plastik tipis.

Selanjutnya untuk *sludge* dengan logam berat dalam jumlah tertentu, sebagai campuran bahan kertas bungkus (kode G, Tabel 9), usaha menghilangkan/menurunkan kadar logam secara drastis hingga level aman bisa dilakukan misalnya dengan penggunaan *leading agent* (EDTA, zeolite), bahan adsorpsi (kapur, natrium sulfit, arang, *red mud*), dan cara biologis (jamur, bakteri, cacing tanah) (Hakeem & Bhatnagar, 2010; Singh & Kaladhad, 2012; Suryan & Ahluwalia, 2012). Diperlukan penelitian lebih lanjut, sebelum menggunakan *sludge* sebagai salah satu bahan serat untuk kertas bungkus.

Prospek lembaran pulp berkode G (skor = 25) untuk kertas bungkus sama kuatnya dengan prospek lembaran berkode D (Tabel 9; skor juga pada urutan kedua = 25) dari campuran serat dengan komposisi pulp terentang (40%) + pulp jabon (40%) + pulp kayu sengon (0%) + pulp serat daun nenas (20%) + *sludge* (0%). Fenomena tersebut dapat dijelaskan karena lembaran pulp berkode D tersebut memiliki nilai bobot dasar ($63,5 \text{ g/m}^2$) yang juga lebih tinggi dibandingkan nilai targetnya (60 g/m^2) yang berindikasi rendahnya tingkat degradasi serat. Hal ini terjadi karena pada lembaran tersebut terdapat pulp jabon, pulp terentang, dan pulp serat daun nenas dengan rendemen tersaring yang tinggi (Tabel 7) yaitu >55% (Ozden, 2008).

Dibandingkan dengan sifat kekuatan kertas bungkus komersial, ternyata seluruh sifat lembaran

pulp hasil percobaan (untuk kertas bungkus) dengan skor tertinggi (28) tidak terlalu jauh di bawah, bahkan dalam hal derajat kecerahan lebih tinggi dan derajat opasitas tidak berbeda nyata (Tabel 9). Lebih unggulnya sifat kertas bungkus komersial (skor > 28) disebabkan kertas sudah mengalami laminasi, sehingga mempertinggi tebal, gramatur, sifat kekuatan, dan ketahanan serapan air (daya serap air sangat rendah). Agar performans kertas bungkus hasil percobaan ini dapat menyamai kertas bungkus komersial, perlu dilakukan proses pelapisan (*coating*) menggunakan ramuan mengandung *water-repellent agent*; diperkirakan usaha penyempurnaan tersebut tidak sulit mengingat perbedaan kedua nilai skor tidak terlalu jauh (28 vs. >28).

Hal lain untuk ditelaah adalah peranan waktu giling yang berkaitan positif dengan derajat kecerahan, dan daya serap air lembaran pulp; dan sebaliknya negatif terhadap gramatur, opasitas dan tebal lembaran tersebut (Tabel 8). Waktu giling yang makin lama (hingga batas tertentu) mengakibatkan fibrilisasi dinding serat sehingga anyaman lebih sempurna (kompak) dan lebih melarutkan bahan-bahan bukan selulosa yang sudah terfragmentasi (lignin) sehingga berpengaruh positif terhadap sifat kekuatan, kecerahan, dan tebal lembaran pulp. Akan tetapi fibrilisasi tersebut juga berakibat gugusan hidroksil (OH) lebih terekspos pada permukaan serat yang mengakibatkan sifat higrokopisnya meningkat sehingga meningkatkan daya serap air (ketahanan terhadap air menurun). Di lain hal, waktu giling lebih lama juga berakibat banyak serat-serat terfragmentasi dan rusak, serta menipiskan dinding sel, dan akibatnya menurunkan gramatur dan opasitas (Smook, 2002; Apriani, 2010; Rudra et al., 2013).

5. Pencermatan skala nano dengan X-ray diffraction

Dari hasil pencermatan skala nano, ternyata kristalinitas dan sudut mikrofibril (MFA) orinetasi rantai polimer selulosa pada kayu jabon tidak jauh berbeda dengan kayu terentang (Tabel 11). Akan tetapi kristalinitas dan sudut MFA pada serat kayu sengan berturut-turut lebih rendah dan lebih tinggi dibandingkan pada serat kayu jabon dan serat kayu terentang. Semakin rendah kristalinitas suatu serat, makin tinggi porsi *amorphous*-nya berarti serat semakin rapuh; dan sebaliknya. Selanjutnya, semakin besar sudut mikrofibril suatu bahan serat (terhadap sumbu aksialnya), maka kekuatan aksial serat tersebut semakin rendah (Courchene, Peter, & Litvang, 2006; TAPPI, 2011). Semua aspek tersebut membuat bahan serat mudah hancur

sewaktu mengalami pemasakan dan perlakuan mekanis (*refining* dan *beating*) memisahkannya menjadi serat terpisah (pulp). Fenomena ini ikut menjelaskan pula paling rendahnya rendemen pulp kayu sengan (baik total ataupun tersaring) dibandingkan rendemen pulp kayu jabon dan pulp kayu terentang (Tabel 7).

Mengenai serat daun nenas, kristalinitasnya sedikit di bawah kayu jabon dan terentang, tetapi lebih tinggi dari kayu sengan (Tabel 11). Meski demikian, serat daun nenas jauh lebih panjang dari pada jabon, terentang, dan sengan (Tabel 5). Hal ini berperan membuat serat pulpanya tidak mudah hancur pada perlakuan mekanis, sehingga rendemen pulp serat daun nenas (tersaring) relatif tinggi dibandingkan rendemen pulp bahan serat lain (Tabel 7). Aspek ini juga berperan positif pada

Tabel 11. Hasil pengamatan kristalinitas dan sudut mikrofibril (MFA) pada berbagai macam bahan serat

Table 11. Results of observation on crystallinity and microfibril angle (MFA) of various finrous stuffs

No.	Macam bahan serat (<i>Kind of fibrous stuffs</i>)	Kristalinitas (<i>Crystallinity</i>), (%) *)	MFA *)
A	Bahan baku serat (sebelum diolah menjadi pulp)/ <i>Raw fibrous stuffs (before being processed into pulp)</i>		
1.	Kayu jabon (<i>jabon wood</i>)	56,16	20,41
2.	Kayu terentang (<i>terentang wood</i>)	58,28	19,84
3.	Kayu sengan (<i>sengan wood</i>)	51,62	31,68
4.	Serat nenas (<i>pineapple-leaf fibers</i>)	53,08	-
B	Bahan serat (setelah diolah menjadi pulp)/ <i>Fibrous stuffs (after being processed into pulp)</i>		
5.	Lembaran pulp (pulp jabon 100%) / <i>Pulp sheet (100% jabon pulp)</i>	69,33	-
6.	Lembaran pulp (pulp terentang 100%) / <i>Pulp sheet (100% terentang pulp)</i>	56,35	-
7.	Lembaran pulp (pulp terentang 50% + pulp jabon 50%) / <i>Pulp sheet (50% terentang pulp + 50% jabon pulp)</i>	67,99	-
8.	Lembaran pulp (pulp terentang 40%) + pulp jabon 40% + pulp serat nenas 20%) / <i>Pulp sheet (40% terentang pulp + 40% jabon pulp + 20% pineapple-leaf pulp)</i>	62,65	-
9.	Lembaran pulp (pulp terentang 20%) + (pulp jabon 20%) + Sengan 40% + Serat Nanas 20%) /	45,77	-
10.	Lembaran pulp (terentang (20%) + jabon (20%) + serat nenas (20%) + sludge (40%) / <i>Pulp sheet (20% terentang pulp + 20% jabon pulp + 20% pineapple-leaf pulp + 40% sludge)</i>	42,47	-
11.	Lembaran Pulp (terentang (20%) + jabon (20%) + sengan (20%) + serat nenas (20%) + sludge (20%) / <i>Pulp sheet (20% terentang pulp + 20% jabon pulp + 20% sengan pulp + 20% pineapple-leaf pulp + 20% sludge)</i>	58,67	-
C	Pembanding (Control)		
12.	Kertas bungkus komersial / <i>Commercial wrapping paper</i>)	66,53	

Keterangan (*Remarks*): *) Menggunakan instrumen (*Using instrument of*) X-ray diffraction

sifat kekuatan lembaran pulp, di mana dengan porsi campuran pulp serat daun nenas mencapai 20%, diperoleh lembaran pulp dengan sifat kekuatan tinggi (lihat kode D, E, F pada Tabel 9). Kristalinitas lembaran pulp yang relatif rendah (45,77) pada komposisi campuran pulp terentang (20%), jabon (20%), sengon (40%), dan serat daun nanas (20%), diduga terkait dengan kristalinitas kayu sengon yang relatif paling rendah dibandingkan terentang dan jabon (Tabel 11), dan adanya sisa jaringan parenkim yang terbawa pada pulp serat nanas (Casey, 1980; Kenya Standards, 2014).

Selanjutnya, kristalinitas lembaran pulp di mana *sludge* mencapai 40% cenderung rendah yaitu 42,77% (Tabel 11), tetapi kristalinitas meningkat menjadi 58,67% dengan menurunnya porsi campuran *sludge* (20%). Ini memperkuat indikasi bahwa *sludge* mengandung banyak bahan bukan serat seperti bahan aditif, terlihat dari rendahnya sifat kekuatan lembaran pulp pada porsi *sludge* 40%, dan lebih tingginya sifat kekuatan lembaran pulp pada porsi *sludge* hanya 20% (Tabel 9, kode F dan G).

Secara keseluruhan, kristalinitas bahan serat dalam bentuk hasil olahan (lembaran pulp tanpa *sludge*) cenderung meningkat dibandingkan dalam bentuk belum diolah/bahan baku serat (kayu, limbah kayu, dan serat daun nanas) (Tabel 11). Hal ini karena selama pemasakan digunakan alkali, yang selektif menyerang lignin (dibandingkan terhadap selulosa) sehingga terdegradasi dan larut. Ini berakibat kadar selulosa pada lembaran pulp lebih tinggi dibandingkan bahan serat asal (kayu dan serat nanas). Dibandingkan dengan kristalinitas kertas bungkus komersial (66,23), nilai kristalinitas lembaran pulp yang bisa mendekatinya adalah dari pulp jabon (100%) dan dari campuran pulp jabon (50%) dan terentang (50%) yaitu berturut-turut 56,35 dan 67,99, sedangkan lainnya lebih rendah (dari campuran *sludge*, pulp sengon, dan pulp serat daun). Ini memperkuat dugaan bahwa bahan serat pada kertas bungkus diperoleh dari pengolahan pulp kayu daun lebar menggunakan proses semi-kimia pula (Ozden, 2008). Selanjutnya, kristalinitas lembaran pulp yang lebih rendah (di mana pada lembaran tersebut terdapat campuran pulp sengon dan serat daun nanas) dikarenakan

kristalinitas sengon dan daun nanas yang lebih rendah (Tabel 11).

IV. KE SIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Pemanfaatan jenis kayu tumbuhan pionir (jabon dan terentang, limbah pembalakan kayu hutan tanaman sengon, limbah padat organik industri pulp/kertas, dan serat daun nanas telah dilakukan sebagai bahan serat alternatif untuk kertas bungkus. Berdasarkan telaahan sifat dasar, sifat pengolahan pulp, dan sifat lembaran pulp (fisis, kekuatan, dan optik) maka komposisi campuran serat yang paling berprospek untuk kertas bungkus adalah pada proporsi: pulp terentang (20%), pulp jabon (20%), pulp sengon (40%), pulp serat daun nanas (20%), dan *sludge* (0%, atau tanpa *sludge*). Sekiranya ingin memanfaatkan *sludge*, maka porsinya yang bisa ditolerir adalah pada komposisi campuran *sludge* (20%), pulp terentang (20%), pulp jabon (20%), pulp sengon (20%), dan pulp serat daun nanas (20%).

B. Saran

Hasil percobaan pembuatan lembaran pulp untuk kertas bungkus yang cukup prospektif perlu ditindaklanjuti, karena ini dapat memanfaatkan jenis kayu dari tumbuhan pionir (jabon dan terentang), limbah pembalakan kayu hutan tanaman (sengon), *sludge* industri pulp/kertas, dan serat daun nanas sebagai produk samping pemanenan buah nanas. Adanya *sludge* yang bisa ditolerir pada porsi tertentu (20%) perlu mendapatkan perhatian serius, karena dicurigai terdapat logam berat yang berbahaya/beracun untuk kesehatan manusia. Agar sifat lembaran pulp (untuk kertas bungkus) bisa menyamai kertas bungkus komersial, perlu kiranya ditambahkan bahan laminasi yang diperlukan pada keadaan tertentu diperlukan pula, seperti pada pembungkusan bahan yang rawan kontaminasi racun (dari bahan penyusun kertas pembungkus sendiri yaitu *sludge* yang mengandung logam berat) antara lain untuk kemasan produk makanan/minuman.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, D., Roliadi, H., Tampubolon, R.M., & Pari, G. (2013). Penyempurnaan sifat papan serat berkerapatan sedang dari pelepah nipah dan campurannya dengan sabut kelapa. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 31 (2), 120-140.
- APKI. (2010). Industri pulp dan kertas menghadapi persaingan pasar global. *Diskusi Panel Industri Kehutanan Menghadapi Persaingan, Agustus 2010, Kementerian Kehutanan*. Jakarta: APKI (Asosiasi Pulp dan Kertas Indonesia), Jakarta.
- APKI. (2013). Industri pulp dan kertas potensial. APKI (Asosiasi Pulp dan Kertas Indonesia), <http://koran-sindo.com/node/342888>, diakses: 23 Maret 2014.
- Aprianis, Y. (2010). Kemungkinan pemanfaatan kayu mahang sebagai bahan baku alternatif untuk pulp dan kertas. *Buletin Hasil Hutan*, 16 (2), 141-149.
- Aritonang, R., & Anggraini, D. (2008). Upaya pengelolaan limbah industri PT. Tanjung Enim Lestari Pulp and Paper. *Seminar Teknologi Pemanfaatan Limbah Industri Pulp dan Kertas untuk Mengurangi Beban Lingkungan di Bogor, tanggal 24 Nopember 2008*. Pusat Litbang Hasil Hutan. Bogor
- BPS. (2012). *Statistik Indonesia*. Jakarta: BPS (Badan Pusat Statistik).
- Casey, J.P. (1989). *Pulp and paper chemistry and technology*. (Third edition) Vol. I. New York – Brisbane – Toronto: A Wiley-Interscience Publication.
- Courchene, C.E., Peter, G. F., & Litvay, J. (2006). Cellulose microfibril angle as a determinant of paper strength and hygroexpansivity in *Pinus taeda* L. *Wood and Fiber Science*, 38 (1), 35-41
- Flandez, J., Pèlach, M.A., Vilaseca, F., Tijero, J., Monte, C., Pérez, I., & Mutje, P. M. (2010). Lignocellulosic fibres from corn stalks as alternative for the production of brown grade papers. *XXI Tecnical Conference and Exhibition/ VI CIADICY 2010 12-15 October 2010*, Lisbon, Portugal
- Hagelqvist, A. (2013). *Sludge from pulp and paper mills for biogas production*. (Ph.D. Dissertation). Faculty of Health, Science, and Technology. Karlstadt University, Spain
- Hakeem, A.S. & Bhatnagar, S. (2010). Heavy metal reduction of pulp and paper mill effluent by indigenous microbes. *Asian J. Exp. Biol. Sci* 1 (1) 2010, 201-203.
- Haygreen, J.G. & Bowyer, J.L. (1999). *Forest products and wood sciences: An introduction*. (2nd ed.), Iowa State University.
- Hoadley, R.B. (1990). *Identifying wood: Accurate results with simple tools*. Newton, CT, USA: The Taunton Press, Inc.
- Karlsson, A., XB, Gustavsson, J., Svensson, B.H., Nilsson, F. & Ejlertsson, J. (2011). Anaerobic treatment of activated sludge from Swedish pulp and paper mills-biogas production potential and limitations. *Environ Technol*, 32 (13-14), 1559-71.
- Jansson, Z.L. & E. Brannvall. (2013). Chemical composition of the surface and bulk of spruce Fibers. DOI: 10.1080/02773813.2013.872661. Website: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02773813.2013.872661#.UzOocc62aho>, diakses 11 Maret 2014.
- Junianto, S.E. (2011). Penggunaan recycled fibers sebagai sarana penghematan sumber daya alam. *Seminar Teknologi Pulp dan Kertas 2011: Mewujudkan Industri Hijau pada Produksi Pulp dan Kertas Indonesia, 12 Juli 2011*, Balai Besar Pulp dan Kertas. Bandung
- Kementerian Kehutanan. (2012). *Statistik kehutanan Indonesia*. Jakarta: Kementerian Kehutanan.
- Kenya Standards. (2014). *Wrapping paper - specification*. Kenya Standards. KS 2524: 2014. Africa.
- Kompas. (2007). Percepatan hutan tanaman industri bisa pakai zonasi. *Harian Kompas*, tanggal 19 April 2007, Hlm. 18, Jakarta.
- Kompas. (2008). Industri pulp dan kertas, maju - mudur kena. *Harian Kompas*, tanggal 27 November 2008, Hlm. 21, Jakarta.

- Kompas. (2009). Harga pulp mulai naik lagi. *Harian Kompas*, tanggal 24 Januari 2009, Hlm. 18, Jakarta.
- Kompas. (2012). Lingkungan, data hutan: Laju deforestasi hutan 1,5 juta hektar per tahun. *Harian Kompas*, tanggal 9 Mei 2012. Jakarta.
- Komarayati, S., Roliadi, H. & Pasaribu, R.A. (2008). Teknologi dan kelayakan finansial pemanfaatan limbah industri pulp dan kertas. *Seminar Teknologi Pemanfaatan Limbah Industri Pulp dan Kertas untuk Mengurangi Beban Lingkungan di Bogor*, tanggal 24 November 2008. Pusat Litbang Hasil Hutan, Bogor.
- Lee, Y.Y., Wang, W., & Kang, L. (2012). Fermentation and chemical treatment of pulp and paper mill *sludge*. Publication No. US20120273413 A1. Website: <http://www.google.com/patents/US20120273413>, diakses: 20 Mei 2014.
- Maybee, W. (1999). Comparative study on the chemical composition of paper-mill sludge. Ph.D. candidate. Website: www.chem-eng.utoronto.ca/~pphone/Research/Othermaybee.html. diakses 5 Maret 2002.
- Mindawati, N. (2009). *Rencana Penelitian Integratif (RPI) Tahun 2010-2014: Pengelolaan hutan tanaman penghasil kayu pulp*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan Tanaman.
- Ott, R.L. (1994). *An introduction to statistics methods and data analysis*. (Fourth ed.) Belmont, Ca, USA: Duxbury Press.
- Ozden, O. (2008). Plug wrap paper. Cellulose Chemistry and Technology. Istanbul University, Forest Faculty, Department of Forest Product Chemistry and Technology Bahcekoy, 34473, Sariyer, Istanbul, Turkey
- Pasaribu, R.A. (2006). Teknologi produksi karton dan papan serat skala kecil dari limbah pembalakan hutan produksi dan industri kayu. *Laporan Hasil Penelitian*. Bogor: Pusat Litbang Hasil Hutan.
- Prentti, O. (2006). *Wood: structures and properties*. New York – London: Trans Technical Publication.
- Rina, S.S., Purwanti, S., Hardiani, H., & Surachman, S. (2002). Pengaruh kompos dan limbah lumpur IPAL industri kertas terhadap tanaman dan tanah. *Prosiding Seminar Teknologi Selulosa di Bandung tahun 2002*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Selulosa. Bandung.
- Roliadi, H., Anggraini, D., & Tampubolon, R.M. (2012). Pembuatan papan isolasi dari campuran limbah pembalakan hutan dan arang aktif dengan bahan perekat khitosan cangkang udang. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 30 (1), 51-58.
- Rudra, G., Singh, V., Jyoti, S.D., & Shivhare. (2013). Mechanical properties and antimicrobial efficacy of active wrapping paper for primary packaging of fruits. *Food Bioscience*, vol. 3, page. 49-58. Website: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212429213000497>, diakses pada 11 Maret 2014.
- Santiago, A.S. & Neto, C. P. (2009). *Improving the retention of polysaccharides during Eucalyptus globulus kraft pulping: Assessment of potential approaches*. Portugal: Department of Chemistry, University of Aveiro, 3810-193 Aveiro.
- Serafimova, E., Mladenov, M., Mihailova, I., & Pelovski, Y. (2011). Study on the characteristics of waste wood ash. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 46 (1), 31-34.
- Singh, J. & Kaladhad, A.S. (2012). Reduction of heavy metals during composting- A Review. *International Journal of Environmental Protection*, 2 (9), 36-43
- Sinha, R.K., Herat, S. Bharambe, G., & Brahmabhatt, A. (2010). Vermistabilization of sewage *sludge* (bio-solids) by earthworms: converting a potential biohazard destined for landfill disposal into a pathogen-free, nutritive and safe biofertilizer for farms. Griffith School of Engineering (Environment), Griffith University, Nathan Campus, Brisbane, Queensland, Australia

- Sjostrom, E. (1994). *Wood chemistry: fundamental and applications*. Orlando – San Diego – New York – London – Sydney – Tokyo: Academic Press.
- Sludge Technology*. (1994). *Sludge incineration technology creates alternative to landfilling*. *Sludge Technology*, 5 (1), 6-7.
- Smook, G.A. (2002). *Handbook for pulp and paper technologists*. Atlanta, Georgia: Joint Textbook Committee of the Paper Industry.
- Sumarjono, H.H. (2009). *Berkebun 21 Jenis Tanaman Buah*. Seri Agrobisnis. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Suriyanarayanan. S., Mailappa, A.S., Jayakumar, D., Nanthakumar, K., Karthikeyan, K. & Balasubramanian, S. (2010). Studies on the characterization and possibilities of reutilization of solid wastes from a waste paper based paper industry. *Global Journal of Environmental Research*, 4 (1), 18-22
- Suryan, S, & Ahluwalia, S.S. (2012). Biosorption of heavy metals by paper mill waste from aqueous solution. *International Journal of Environmental Sciences*, 2 (3): 79- 91.
- TAPPI. (2011). Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI)'s Test Methods. Atlanta, Georgia: TAPPI Press.
- Turek, M., Korolewics, T., & Ciba, J. (2010). Removal of heavy metals from sewage sludge used as soil fertilizer. DOI: 10.1080/15320380590911797. Website: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15320380590911797#.U3rT0Ha2aho>. diakses: 20 Mei 2013.