

PEMBUATAN PULP DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT UNTUK KARTON PADA SKALA USAHA KECIL

(Manufacture of Pulp from Empty Oil-Palm Fruit Bunches For Paperboard at Small-Scale Endeavor)

Oleh/By :

Dian Anggraini & Han Roliadi¹

¹ Pusat Litbang Teknik Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan
Jl. Gn. Batu. No.5 Bogor 16610, Tlp. 0251-8633378, 8633413

Diterima 3 Mei 2011, disetujui 5 September 2011

ABSTRACT

Small-scale paperboard industries in Indonesia are currently faced with the procurement continuity of fibrous raw material (particularly pulp and waste paper). Wastes of palm-oil processing as empty oil-palm fruit bunches (EOPFB), inherently ligno-cellulosic fibers, are abundantly available; and as yet have not been utilized commercially, hence indicating their potential uses as raw material for such paperboard industries.

In relevant, the EOPFB has been experimentally pulped using hot soda semi-chemical process in the semi-pilot scale closed (pressurized) digester, employing the fixed cooking condition, i.e. soda (NaOH) concentration 10%, EOPFB to liquor ratio 1:5.5, and maximum temperature 120 °C held for 2 hours. This digester serves as a part of equipment employed in small-scale paperboard manufacture. The EOPFB pulp yield reached 60.17%. Paperboard sheet was formed in a small-scale paperboard industry from EOPFB pulp (100%); and from its mixture with waste paper and paper-mill sludge (50%:25%:25%), each fiber stuffs incorporating the additives (i.e. 5% kaolin filler, 2% alum retention aid, and 4% tapioca binder).

Strength properties of paperboard from the mixed stuffs (EOPFB pulp, waste paper, and sludge) were somewhat lower than those of 100% EOPFB pulp, but better than those produced by small-scale paperboard industries that use raw material of waste paper - sludge mixture (50%:50%, without additives); and could mostly satisfy the standard requirement for commercial paperboard, except for burst index and tear index. These shortcomings can expectedly be improved through the use of rosin-soap sizing and greater amount of tapioca binder.

Keyword : Empty oil-palm fruit bunches, pulp, paperboard, small-scale paperboard industry

ABSTRAK

Industri karton skala kecil saat ini mengalami kesulitan kontinuitas pasokan bahan baku (khususnya pulp dan kertas bekas). Limbah pengolahan minyak kelapa sawit sebagai bahan serat berligno-selulosa jumlahnya berlimpah, dan sebegitu jauh belum banyak dimanfaatkan, sehingga berindikasi potensial sebagai bahan baku industri karton.

Pembuatan pulp tandan kosong kelapa sawit (TKKS) untuk karton dilakukan dengan proses semi-kimia soda panas pada ketel pemasak, dengan kondisi pemasakan TKKS tetap, yaitu konsentrasi soda (NaOH) 10%, perbandingan berat TKKS dengan larutan pemasak 1:5,5, dan suhu maksimum 120°C yang dipertahankan selama 2 jam. Ketel ini merupakan bagian peralatan pada pembuatan karton skala kecil. Rendemen pulp TKKS mencapai 60,17%. Lembaran karton dibentuk di industri rakyat dari

pulp TKKS 100%, dan dari campurannya dengan kertas bekas dan sludge industri kertas (50%:25%:25%), masing-masing bahan serat tersebut diberi bahan aditif (kaolin 5%, alum 2%, dan perekat tapioka 4%).

Rendemen dan sifat kekuatan karton dari campuran bahan serat (pulp TKKS, kertas bekas, dan sludge) sedikit di bawah sifat karton dari pulp TKKS 100%, tetapi masih lebih baik dari pada sifat karton buatan industri rakyat dari campuran kertas bekas - sludge (50%:50%, tanpa aditif); dan sebagian besar memenuhi persyaratan standar karton komersial, kecuali indeks tarik dan indeks sobek. Kekurangan tersebut diharapkan dapat diatasi dengan penggunaan bahan *rosin-soap sizing* dan lebih banyak perekat tapioka.

Kata kunci : Tandan kosong kelapa sawit, pulp, karton, industri skala usaha kecil

I. PENDAHULUAN

Industri karton skala kecil yang ada saat ini umumnya mengalami kesulitan mendapatkan bahan baku berupa pulp dan kertas bekas dalam jumlah yang cukup dan harga yang dapat diterima oleh industri tersebut. Salah satu upaya untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan cara menggunakan sludge dari limbah industri pulp dan kertas sebagai bahan baku utamanya dan kertas bekas sebagai pencampur. Ternyata kualitas karton yang diproduksi masih rendah, yang disebabkan serat dari kertas bekas dan sludge berkualitas rendah dan sangat higroskopis, sehingga karton yang dihasilkan mengandung air cukup besar dan lembek (Anonim, 1994; Maybee, 1999). Akibatnya, produksi karton skala kecil ini tidak dapat memenuhi permintaan kualitas karton untuk rumah tangga, seperti buku pelajaran, sepatu, tas, pakaian jadi, pemintal benang, dan tekstil.

Salah satu usaha yang dapat dilakukan oleh Pusat Litbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan, Bogor adalah mencari dan mendapatkan bahan berserat lingo-selulosa yang dapat dijadikan bahan baku karton, berpotensi memadai, dan belum banyak dimanfaatkan secara komersial. Bahan berserat lingo-selulosa yang diharapkan dapat mendukung upaya tersebut adalah TKKS merupakan limbah industri pengolahan minyak kelapa sawit dan sludge sebagai limbah industri pulp dan kertas. Direktorat Jenderal Perkebunan menyatakan bahwa pabrik pengolahan minyak kelapa sawit yang berkapasitas 30 ton CPO memerlukan 28-35 ton TKKS (Pasaribu, 1996; Anonim, 1998). Terkait dengan hal tersebut, data terakhir menunjukkan bahwa produksi CPO Indonesia pada tahun 2010 mencapai 21,6 juta ton CPO (Anonim, 2011), yang berarti menghasilkan TKKS sebanyak 20,2-25,2 juta ton. TKKS saat ini hanya digunakan sebagai bahan bakar ketel pabrik minyak kelapa sawit, kompos, dan pupuk kalium. Namun pemanfaatan ini belum memberikan nilai tambah yang optimal.

Sludge dari industri pulp dan kertas mencapai sekitar 3 - 4% dari produksi riil industri tersebut (Maybee, 1999; Rina *et al.*, 2002). Dengan kapasitas produksi terpasang seluruh industri pulp kertas Indonesia sebesar 7,9 - 12,2 juta ton dan tingkat utilisasi 80% (Anonim, 2010), maka sludge yang dihasilkan sekitar 0,27 - 0,43 juta ton/tahun atau 900 -1433 ton/hari. Dewasa ini industri pulp dan kertas mengalami kesulitan lahan untuk menampung sludge (*landfill*), karena dengan cara membakar akan menimbulkan asap.

Dengan alasan tersebut di atas, dilakukan penelitian pembuatan pulp karton dengan bahan baku campuran TKKS, sludge, dan kertas bekas menggunakan proses semi-kimia soda pada konsentrasi NaOH 8-10% dalam ketel pemasak listrik berkapasitas 2 kg.

II. METODE PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Pembuatan pulp untuk karton dari TKKS dilakukan di Laboratorium Pengolahan Kimia, Pusat Litbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan, Bogor. Sedangkan pembentukan lembaran karton dari pulp tersebut dilakukan di industri karton rakyat Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah.

B. Bahan dan Peralatan

Bahan baku penelitian adalah TKKS yang berasal dari limbah industri pengolahan minyak kelapa sawit yang terdapat di daerah Malingping, Pandeglang Propinsi Banten. Bahan kimia yang digunakan untuk analisis sifat pengolahan (konsumsi alkali dan bilangan kappa) adalah barium chloride (BaCl_2), asam klorida (HCl) 0,1 N, indikator fenolthalein, kalium permanganat (KMnO_4) 0,1 N, asam sulfat (H_2SO_4), kalium iodida (KI), natrium tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0,2 N, dan indikator kanji. Bahan kimia pemasak serpih kayu yang digunakan adalah soda api (NaOH), sedangkan untuk pembentukan lembaran karton digunakan bahan pengisi kaolin, bahan retensi alum sulfat dan bahan perekat tapioka.

Peralatan yang digunakan untuk produksi pulp karton dari TKKS adalah ketel pemasak hasil rekayasa P3KKPHH Bogor, kompor minyak tanah bertekanan, bak pencuci serpih hasil pemasakan, *Hollander beater*, dan *stone refiner* untuk penyempurnaan pemisahan serat. Sedangkan peralatan yang digunakan untuk pembentukan lembaran karton terdapat pada industri karton rakyat di Kebumen (Jawa Tengah) mencakup: *Hollander beater*, *stock chest*, mesin kertas *fourdrinier*, *callender* untuk pengepresan lembaran karton, alat pemotong dan pengepak lembaran karton.

Peralatan yang digunakan untuk pengujian sifat fisik lembaran karton adalah *tearing tester* untuk menetapkan indeks sobek, *bursting tester* untuk menetapkan indeks pecah, *tensile tester* untuk menetapkan indeks tarik, *ring crush tester* (ketahanan lingkar), dan *concora tester* (ketahanan tekanan datar).

C. Prosedur Kerja

1. Pembuatan pulp TKKS

a. Penyiapan serpih TKKS

TKKS dicuci menggunakan air dingin (suhu kamar) untuk membersihkan TKKS dari kotoran berupa pasir, tanah, kulit buah kelapa sawit. Selanjutnya TKKS hasil pencucian dijemur sampai mencapai kadar air sekitar 40-50%. Kemudian TKKS hasil penjemuran dibelah dengan golok dan dijadikan serpih yang berukuran panjang akhir 5 cm, lebar 4 cm dan tebal sekitar 1-2 cm.

b. Pemeriksaan sifat dasar TKKS

Sifat dasar TKKS yang diamati meliputi kadar alfa-selulosa, lignin, pentosan, hemiselulosa, dan zat sari (ekstraktif), menurut standard dan prosedur TAPPI (Anonim, 1993) serta pengukuran dimensi serat TKKS dan nilai turunannya.

c. Pemasakan serpih TKKS menjadi pulp

Pembuatan pulp TKKS dilakukan dengan proses semi-kimia soda panas tertutup. Serpih TKKS dimasak dalam ketel pemasak hasil rekayasa Pusat Litbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan Bogor (berkapasitas 50 kg serpih berat kering oven atau sekitar 125 kg serpih berat basah dan bersifat statik) yang dipanaskan dengan kompor minyak tanah yang bertekanan 1,2-1,5 atmosfer. Pemasakan serpih TKKS dilakukan pada konsentrasi NaOH 10% selama 2 jam pada suhu pemasakan maksimum 120° C. Nilai banding serpih TKKS terhadap larutan pemasak adalah 1:5,5.

Selesai pemasakan, serpih lunak TKKS dipisahkan dari larutan pemasak, selanjutnya serpih dicuci sampai bebas dari sisa larutan pemasak dan diberi perlakuan mekanis sehingga terurai menjadi serat-serat terpisah (defiberasi) dalam *Hollander beater* pada konsistensi 2,00-2,50%. Penguraian serat tersebut dilanjutkan pada *stone refiner* yang diulang sebanyak 2 kali hingga mencapai derajat kehalusan pulp untuk karton sekitar 400 ml CSF (*Canadian Standard Freeness*). Karena kapasitas *Hollander beater* dan *stone refiner* relatif lebih kecil (± 1 kg) dibanding dengan kapasitas ketel pemasak, maka penggilingan dalam *Hollander beater* dan *stone refiner* dilakukan secara bertahap (*batch*), dan rata-rata waktu giling setiap *batch* tersebut dicatat. Seluruh pulp TKKS yang telah digiling dikurangi kadar airnya pada alat sentrifus, lalu ditetapkan rendemennya dan selanjutnya dibentuk menjadi karton.

d. Pengujian sifat pengolahan pulp TKKS

Sifat pengolahan pulp TKKS yang diamati adalah rendemen pulp, bilangan kappa pulp, konsumsi alkali, dan rata-rata total waktu giling pulp TKKS untuk mencapai derajat kehalusan 350-400 ml CSF, menurut prosedur dan standar TAPPI (Anonim, 2007)

2. Pembuatan dan pengujian lembaran karton

a. Pembentukan lembaran karton

Pulp TKKS dengan derajat kehalusan 350-400 ml CSF tersebut dimasukkan ke dalam *Hollander beater* milik industri karton rakyat, lalu ditambahkan kertas bekas dan sludge industri kertas. Untuk lebih memperoleh gambaran mengenai porsi campuran bahan baku berserat ligno-selulosa baik pada percobaan pembuatan karton, ataupun pada karton pembandingan produksi industri rakyat skala kecil, rinciannya disajikan pada Tabel 1.

Untuk pembuatan karton dengan komposisi A.2 (Tabel 1), pulp TKKS, kertas bekas dan sludge diencerkan hingga mencapai konsistensi 4-5%, kemudian diaduk/disirkulasi dalam *Hollander beater* hingga kertas bekas terurai dan terbentuk campuran homogen dengan pulp dan sludge, selanjutnya diberi bahan aditif terhadap berat kering bahan serat. Campuran yang sudah homogen kemudian dibentuk lembaran karton pada mesin kertas tipe *fourdrinier*. Lembaran basah yang terbentuk dipotong secara tegak lurus terhadap arah pergerakan lembaran pada mesin kertas tersebut setiap mencapai panjang sekitar 100 cm, lalu dijemur di bawah sinar matahari hingga kadar air mencapai 10%. Lembaran yang telah dikeringkan lalu ditumpuk, masing-masing disetrika, di pres, dan dikemas. Karton yang terbentuk diharapkan mencapai target gramatur 300-350 g/m².

Disamping itu dibentuk pula lembaran karton dengan komposisi A.1 (Tabel 1) dengan prosedur pembentukan lembaran karton dan target gramatur sama seperti pembentukan karton sebelumnya.

Selanjutnya, sebagai pembandingan terhadap lembaran karton dengan komposisi A.1 dan A.2, digunakan kertas karton yang diproduksi oleh pabrik karton rakyat dengan komposisi B.1 (Tabel 1).

Tabel 1. Proporsi campuran pulp TKKS, kertas bekas, dan sludge industri kertas yang digunakan dalam pembentukan lembaran karton pada industri karton rakyat skala kecil, berikut pembandingan

Table 1. The proportion regarding the mixture of EOPFB, waste paper, and paper-mill sludge as employed in the forming of paperboard sheet at small-scale paperboard factory, together with the control (comparison paperboard)

No / Rincian (No / Items)	Proporsi campuran (<i>Mixture proportion</i>), % ^{a)}		
	Pulp TKKS / EOPFB Pulp	Kertas bekas / Waste paper	Sludge industri kertas / Paper-mill sludge
A.1	100	0	0
A.2	50	25	25
B.1	-	50	50

Keterangan (*Remarks*): A.1 & A.2 = karton percobaan (*experimented paperboard*) / dengan bahan aditif, kaolin 5%, alum 2%, perekat tapioka 4% (*With additives, clay 5%, alum 2%, tapioca binder 4%*); B.1 = karton pembandingan (*comparison paperboard*) / tanpa aditif (*without additives*) / produksi industri karton rakyat (*produced by small-scale paperboard enterprise*); TKKS = tandan kosong kelapa sawit / EOPFB = empty oil-palm fruit bunches; ^{a)}berdasar berat kering oven bahan serat / *based on oven-dry weight of fiber stuffs*

b. Pengujian sifat fisik lembaran karton

Sifat fisik dan kekuatan lembaran karton yang diamati meliputi gramatur, indeks sobek, indeks retak, indeks tarik, ketahanan lingkaran (*ring crush*), dan *concora* berturut-turut menurut standar SNI 14-0440-2006, SNI 14-0439-1989, SNI 14-0436-1989, SNI 14-0437-1989, SNI 14-0583-1989 dan SNI 14-0582-1989 (Anonim, 1989; 2006).

D. Rancangan Percobaan dan Analisis Data Sifat Fisik Karton

Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak lengkap satu faktor, dan sebagai faktor (perlakuan) adalah: lembaran karton asal pulp TKKS 100%, berikut bahan aditif (a1); lembaran asal campuran pulp TKKS (50%) dengan kertas bekas (25%) dan sludge industri kertas (25%), juga berikut bahan aditif (a2); dan kertas karton pembandingan produksi industri karton rakyat dari campuran 50% sludge dan 50% kertas bekas, tanpa bahan aditif (a3). Setiap taraf perlakuan tersebut (a1, a2, dan a3) diulang sebanyak 3 kali. Parameter kualitas yang diamati adalah data sifat fisik lembaran karton. Sekiranya hasil penelitian menunjukkan perlakuan berpengaruh nyata terhadap parameter kualitas, maka dilakukan penelaahan lebih lanjut dengan uji *Tukey* atau uji jarak beda nyata jujur.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sifat Dasar Bahan Baku

Sifat dasar bahan baku TKKS yang diamati mencakup dimensi serat berikut nilai turunannya (Tabel 2), dan hasil analisa komponen kimia (Tabel 3). Dimensi serat, nilai turunan dimensi serat, dan komposisi kimia TKKS merupakan salah satu parameter untuk menilai kualitas TKKS sebagai bahan baku untuk kertas (termasuk karton). Panjang serat TKKS berkisar 0,27-1,60 mm (rata-rata 0,77 mm). Meskipun termasuk serat pendek, bilangan Runkel serat TKKS mencapai 0,94 (<1). Berdasarkan klasifikasi Runkel, serat TKKS termasuk golongan I (Silitonga, *et al.*, 1972). Ini mengindikasikan bahwa serat TKKS memiliki lumen lebar dan dinding tipis. Dengan demikian serat TKKS akan menggepeng dan mudah menipis selama penggilingan, sehingga diharapkan menghasilkan lembaran pulp untuk kertas/karton dengan kualitas baik.

Tabel 2. Dimensi serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan nilai turunannya
Table 2. Fiber dimensions of empty-oil plam fruit bunches (EOPFB) and their derived values

Parameter (Parameters)	Nilai (Values)
Panjang serat (Fiber length), L (mm)	
- Minimum	0,27
- Maksimum (Maximum)	1,60
- Rata-rata (Average)	0,77
Diameter (µm)	
- Luar (Fiber diameter), D	12,66
- Lumen (Lumen diameter), l	6,52
Tebal dinding serat (Fiber-wall thickness), W	3,07
Bilangan Runkel (Runkel ratio), $2 W/l$	0,94
Daya tenun (Felting power), L/D	60,82
Kelenturan (Flexibility ratio), l/D	0,52
Perbandingan Muhlstep (Muhlstep ratio), $[100\% \times (d^2-l^2)/d^2]$	73,48

Nilai daya tenun serat TKKS sebesar 60,82 akan berpengaruh positif pada kekuatan sobek lembaran kertas/karton dari TKKS tersebut, karena nilai tersebut termasuk kelas II. Nilai kelenturan (0,52) juga termasuk kelas mutu II yang juga mengindikasikan serat TKKS menggepeng dan membentuk ikatan/anyaman antara serat yang baik pula. Perbandingan Muhlstep serat TKKS (73,48%) termasuk kelas mutu III (60-80%). Semakin kecil perbandingan tersebut, maka diameter lumen semakin besar sehingga serat semakin mudah menggepeng dan menghasilkan lembaran pulp dengan daya lipat yang tinggi (Tamolang dan Wangard, 1961).

Pengamatan dimensi serat TKKS juga telah dilakukan oleh Patriasari (2001), dan hasilnya adalah panjang serat TKKS berkisar 0,76-1,20 mm, sedangkan diameternya sekitar 12-18 µm. Ternyata hasil pengamatan tersebut (panjang dan diameter serat TKKS) sebanding dengan hasil pada percobaan ini (Tabel 2). Lebih lanjut, panjang dan dimensi serat TKKS ternyata juga sebanding dengan nilai pada kayu daun lebar secara umum yang antara lain memiliki serat pendek (panjang dan diameter serat berturut-turut 1-2 mm dan 15-20 µm)

(Smook dan Kocurek, 1993), karena berdasarkan klasifikasi tanaman, baik TKKS (golongan monokotil) ataupun kayu daun lebar (golongan dikotil) sama-sama termasuk kelompok tumbuhan Angiospermae atau berbiji tertutup (Haygreen dan Bowyer, 1999).

Tabel 3. Komposisi kimia TKKS
Table 3. Chemical composition of EOPFB

Parameter (<i>Parameters</i>)	Nilai (<i>Values</i>), %
Lignin	17-20
Alfa-selulosa (<i>Alpha-cellulose</i>)	43-44
Pentosan (<i>Pentosans</i>)	27
Hemiselulosa (<i>Hemicellulose</i>)	34
Ekstraktif (<i>Extractives</i>)	
-Kelarutan dalam air panas (<i>Solubility in hot water</i>)	2,8-2,9
-Kelarutan dalam alkohol-benzen (<i>Solubility in alcohol-benzene</i>)	0,9-2,7
Abu (<i>Ash</i>)	0,7-4,0
Silika (<i>Silica</i>)	0,2

Kandungan hemiselulosa dan pentosan serat TKKS yang relatif tinggi (34% dan 27%) akan memberikan pengaruh baik karena berkemampuan menyerap air yang besar sehingga memudahkan proses penggilingan pulp TKKS (fibrilisasi). Kelarutan dalam air panas dan alkohol-benzen yang juga besar menunjukkan zat ekstraktif dalam TKKS mengandung padatan larut air dan sisa-sisa minyak.

Analisa komposisi kimia TKKS juga telah dilakukan oleh Sreekala *et al.*, (1997), di mana diperoleh kadar alfa-selulosa 38,76%, hemiselulosa 29,11%, pentosan 26,67%, dan kadar abu 6,59%. Ternyata hasil analisa tersebut sebanding dengan hasil analisa komposisi kimia TKKS dalam percobaan ini (Tabel 3). Selanjutnya, kadar alfa-selulosa TKKS tersebut (43-44%) tidak berbeda jauh dengan kadar pada kayu daun lebar jenis birch (41-48%). Ini mengindikasikan bahwa TKKS berpotensi diolah menjadi pulp untuk kertas dengan rendemen dan sifat pengolahan memadai. Dalam hal kadar hemiselulosa, ternyata kadarnya pada TKKS hasil percobaan (34%) masih lebih tinggi dibandingkan pada jenis kayu birch tersebut (28%). Ini berindikasi pula bahwa pulp TKKS lebih mudah digiling dan memiliki sifat kekuatan antar serat yang tinggi sekiranya dijadikan lembaran kertas (Anonim, 2001).

B. Sifat Pengolahan Pulp TKKS

Data sifat pengolahan pulp TKKS dapat dilihat pada Tabel 4.

Rata-rata rendemen pulp TKKS adalah 60,17% atau masih terletak dalam selang rendemen yang umum diperoleh dari pengolahan pulp semikimia (60-75%). Besarnya bilangan kappa yang relatif besar menunjukkan sisa kadar lignin masih tinggi dalam pulp TKKS. Kadar lignin yang tinggi dalam pembentukan lembaran pulp (>35) untuk karton diperlukan guna mempertinggi sifat kekakuannya (Smook dan Kocurek, 1993). Konsumsi alkali yang diperoleh relatif besar (9,81%) dibandingkan dengan konsentrasi alkali awal untuk pemasakan serpih TKKS menjadi pulp (10%). Kemungkinan hal ini disebabkan alkali selain dikonsumsi untuk melunakkan lignin, juga ikut dalam reaksi penyabunan sisa lemak/minyak yang masih terdapat dalam TKKS. Selanjutnya, rata-rata waktu giling pulp

TKKS sebesar 125,49 menit dapat mengindikasikan besarnya konsumsi energi khususnya pemakaian listrik atau bahan bakar dalam menggerakkan *Hollander beater* dan *stone refiner*.

Percobaan pembuatan pulp TKKS pernah dilakukan menggunakan proses semi-kimia soda-AQ (antraknon) pada konsentrasi soda 10% dan AQ 0.1% untuk tujuan kertas koran (Gautama, 2005). Rendemen dan bilangan pulp TKKS yang diperoleh berturut-turut berkisar 52,08-61,57% dan 36,89-39,01%. Pulp TKKS selanjutnya digiling hingga mencapai 250-300 ml CSF, di mana diperlukan waktu sekitar 130-140 menit. Ternyata dalam hal rendemen dan bilangan kappa, hasilnya sebanding dengan nilai pulp TKKS hasil percobaan ini (Tabel 4). Akan tetapi dalam hal waktu giling, waktu yang digunakan oleh pulp TKKS untuk kertas koran lebih lama dari pada waktu untuk pulp TKKS untuk karton pada percobaan ini. Ini dapat dimengerti karena pulp TKKS untuk karton pada percobaan ini (300-350 ml CSF) memiliki tingkat kehalusan lebih rendah dari pada pulp TKKS untuk kertas koran (250-300 ml CSF) (Smook dan Kocurek, 1993).

Tabel 4. Sifat pengolahan pulp TKKS
Table 4. Pulping properties of EOPFB

Sifat pengolahan (<i>Pulping properties</i>) *)	Nilai (<i>Values</i>)	Sb
- Rendemen pulp (<i>Pulp yield</i>), %	60,17	2,819
- Bilangan Kappa (<i>Kappa No.</i>)	38,17	2,044
- Konsumsi alkali (<i>Alkali consumption</i>), %	9,81	0,187
- Waktu giling (<i>Beating/refining duration</i>), menit (<i>minutes</i>)**)	125,49	0,2944

Keterangan (*Remarks*): *) Rata-rata dari 3 ulangan (*Average of 3 replications*); Sb = simpangan baku (*standard deviation*); dan (and **) Rataan waktu menggiling pulp pada *hollander beater* dan selanjutnya di *stone refiner* untuk mencapai derajat kehalusan 300-350 ml CSF (*Average duration required to fibrillate 1 gram of oven dry EOPFB pulp in hollander beater and then in stone refiner to reach 300-350 ml CSF*)

C. Sifat Kekuatan Fisik Lembaran Pulp TKKS untuk Karton

Data sifat fisik dan kekuatan lembaran pulp TKKS untuk karton yang diamati mencakup gramatur riil, tebal, kadar air, indeks retak, kekakuan, *ring crush*, dan *concora*. Analisa keragaman menunjukkan bahwa pengaruh perlakuan (perbedaan macam lembaran pulp) nyata terhadap sifat fisik/kekuatan tersebut (Tabel 5). Penelaahan lebih lanjut terhadap sifat tersebut dilakukan dengan menggunakan uji jarak beda nyata jujur (BNJ) dan selanjutnya diinterpretasikan dengan sistim skor (Tabel 6).

Secara keseluruhan keseluruhan gramatur riil karton dari pulp TKKS 100% ataupun campurannya (pulp TKKS 50% dengan sludge 25% dan kertas bekas 25%), nilainya berada di atas target gramatur (300-350 gram/m²). Ini mungkin disebabkan adanya penambahan aditif (perekat tapioka, pengisi kaolin, dan retensi alum sulfat) pada suspensi pulp sebelum pembentukan lembaran. Selanjutnya, uji BNJ menunjukkan bahwa gramatur dan tebal karton dari pulp TKKS dan dari pulp (bahan serat) campuran tidak berbeda nyata (Tabel 6). Ini mengindikasikan bahwa penggunaan bahan aditif (retensi alum, pengisi, dan perekat tapioka) memberi efektifitas positif terhadap ikatan dan anyaman serat sewaktu pembentukan lembaran karton baik dari pulp TKKS ataupun dari pulp campurannya.

Ditinjau dari kadar air, ternyata kadar air lembaran karton dari 100% pulp TKKS lebih rendah dari pada karton dari campuran pulp TKKS 50% dengan sludge 25% dan kertas bekas 25%, dan juga lebih rendah dari pada kertas karton produksi industri rakyat yang terdiri dari campuran kertas bekas 50% dan sludge 50% (Tabel 5 dan 6). Ini menunjukkan bahwa sifat sludge yang lebih higroskopis (Anonim, 1994), sehingga lembaran karton tersebut lebih banyak menarik/mengikat uap air dari udara sekitarnya.

Indeks retak dan kekakuan karton dari pulp TKKS 100% tidak berbeda nyata dengan karton dari campuran pulp TKKS 50%, sludge 25%, dan kertas bekas 25%. Akan tetapi dalam hal indeks sobek, indeks tarik, *ring crush*, dan *concora*, nilai sifat tersebut untuk lembaran karton dari pulp TKKS 100% lebih tinggi dari campuran bahan serat tersebut. Ini mengindikasikan bahwa dalam sludge banyak terdapat serat pendek dan partikel kecil bukan serat (antara lain bahan aditif) sehingga berpengaruh buruk pada kekompakan anyaman dan ikatan antar serat waktu pembentukan lembaran karton (Maybee, 1999).

Lebih lanjut, indeks retak, indeks sobek, indeks tarik, dan kekakuan lembaran karton dari pulp TKKS 100% (berikut bahan aditif), dan dari campuran berbagai bahan serat (pulp TKKS 50%, sludge 25%, kertas bekas 25%, juga berikut bahan aditif) lebih tinggi dari pada karton produksi industri rakyat yang terdiri dari kertas bekas 50% dan sludge 50%, tetapi tanpa aditif (Tabel 5 dan 6), sedangkan dalam hal *ring crush* dan *concora* tidak berbeda nyata. Ini mengisyaratkan bahwa penambahan aditif (retensi alum, pengisi kaolin, dan perekat tapioka) ikut berperan positif pada kekompakan anyaman dan ikatan antar serat, sebagaimana terjadi pada campuran pulp TKKS, sludge, dan kertas bekas.

Secara keseluruhan dapat dikatakan bahwa sifat fisik/kekuatan lembaran karton dari pulp TKKS 100% dan dari campurannya (pulp TKKS 50%, sludge 25%, dan kertas bekas 25%) lebih baik dari pada karton industri rakyat, hal ini berdasarkan nilai skor total hasil manipulasi uji BNJ (Tabel 6), yaitu berturut-turut 34, 29, dan 27. Juga sifat karton hasil percobaan tersebut (dari pulp TKKS 100% dan campurannya) banyak memenuhi persyaratan kualitas karton komersial dan jenis lembaran *chipboard*, kecuali dalam hal indeks tarik, indeks retak, dan indeks sobek. Diharapkan kekuatan tersebut dapat diperbaiki dengan bahan *sizing rosin soap*, dan penggunaan lebih banyak bahan perekat tapioka.

Selanjutnya dibandingkan dengan hasil percobaan Rismijana (2010) pada pembuatan pulp TKKS dengan proses kimia soda-AQ untuk tujuan kertas tulis-cetak, ternyata menghasilkan lembaran kertas dengan sifat kekuatan yaitu indeks tarik (25,5-26,8 N.m/g) dan indeks sobek (5,75-2,14 mNm²/g) yang lebih besar dibandingkan dengan sifat lembaran karton asal pulp TKKS pada percobaan ini (Tabel 6). Ini disebabkan karena karena salah satu penyebabnya adalah tingkat kehalusan pulp TKKS untuk kertas tulis-cetak (250-300 ml CSF) lebih tinggi dibandingkan pada pulp TKKS untuk kertas karton (250-300 ml). Kemungkinan penyebab lain adalah macam proses pengolahan pulpnya berbeda, di mana untuk kertas tulis cetak dari pulp TKKS menggunakan proses kimia soda-AQ, sedangkan untuk kertas karton juga dari pulp TKKS dengan proses semi-kimia soda panas.

Dibandingkan dengan hasil percobaan sebelumnya oleh Roliadi dan Pasaribu (2006) pada pembuatan karton dari campuran pulp TKKS (50%) dan sludge industri kertas (50%), ternyata sifat fisik dan kekuatan lembaran karton hasil percobaan ini yaitu campuran pulp TKKS (50%), sludge industri kertas (25), dan pulp TKKS 25%) cukup sebanding (Tabel 6). Ini mengindikasikan bahwa kualitas kertas bekas sebagai serat *non-virgin (recycled)* hingga batas tertentu sebanding dengan kualitas pulp TKKS (sebagai serat *virgin*).

Rendemen lembaran karton asal pulp TKKS yang dibentuk di pabrik karton rakyat berdasarkan berat kering bahan serat yang masuk ke penggilingan (*Hollander beater*) dan setelah penggilingan tersebut, dilanjutkan dengan pengeringan dan *calendering* adalah sebesar 86,21% (Tabel 7). Lebih lanjut, setelah mengalami pemotongan dan pengepakan, rendemennya menjadi 72,74%. Hal yang sama untuk lembaran karton dari campuran bahan serat (pulp TKKS 50%, sludge 25%, dan kertas bekas 25%), rendemen tersebut berturut-turut adalah 83,95% dan 70,16%. Secara keseluruhan ternyata rendemen karton asal campuran bahan serat tersebut lebih rendah dari rendemen karton asal pulp TKKS murni (100%). Hal ini mengindikasikan bahwa dalam sludge selain terdapat serat pendek dan *fines* juga terdapat partikel kecil bukan serat (Maybee, 1999). Rendemen lembaran karton baik asal pulp TKKS murni ataupun asal campurannya ternyata masih dalam selang rendemen karton yang lazim diperoleh oleh industri karton rakyat yang menggunakan bahan baku campuran sludge 50% dan kertas bekas 50% (tanpa bahan aditif) yaitu 80-85% (setelah penggilingan, pengeringan, dan *calendering*).

Tabel 5. Analisis keragaman sifat fisik dan kekuatan karton dari pulp TKKS
Table 5. Analysis of variances on physical and strength properties of paperboard from EOPFB pulp

Sumber Keragaman (Sources of variation)	db (Df)	Sifat (Properties)											
		Gramatur (Basic weight)		Kadar air (Moisture content)		Tebal (Thickness)		Indeks retak (Burst index)		Indeks sobek (Tear index)			
		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 Perlakuan (Treatment), T	8												
Galat (Error)	2	18,21	0,0001	755,52**	0,0001	50,71**	0,001	91,74**	0,0001	29,34**	0,0003		
Rata-rata (Means)		375,693		6,83		0,88		0,774		13,726			
Satuan (Units)		g/m ²		%		mm		kN/g		mNm ² /g			
KK, %		0,366		0,381		5,967		9,232		11,298			
D 0.05		61,54		0,032		0,0484		0,1383		0,9232			

Keterangan (Remarks): * = 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 5%/ critical value of Tukey's honestly significant difference (HSD) at 5% level

Tabel 5. Analisis keragaman sifat fisik dan kekuatan karton dari pulp TKKS - Sambungan
Table 5. Analysis of variances on physical and strength properties of paperboard from EOPFB pulp - Continuation

Sumber keragaman (Sources of variation)	db (Df)	Sifat (Properties)							
		Indeks tarik (Tensile index)		Kekakuan (Moisture Stiffness)		Ketahanan lingkar (Ring crush)		Ketahanan tekan datar (Concora)	
		F-hitung (F-calc.)	P	F-hitung (F-calc.)	P	F-hitung (F-calc.)	P	F-hitung (F-calc.)	P
Total Perlakuan (Treatment), T Galat (Error)	8 2 6	21,02**	0,0006	14,28**	0,0003	407,06**	0,0001	248,52**	0,0001
Rata-rata (Means) Satuan (Units)		13,7726 Nm/g		147,074 gf.cm		49,9286 kgf		19,276 kgf	
KK, %		5,7148		7,349		5,2032		5,2032	
D 0,05		1,0586		60,323		3,8959		3,8959	

Keterangan (Remarks): T = macam lembaran karton (kinds of paperboard) / lihat Tabel 1 (refer to Table 1); * = 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 5%/ critical value of Tukey's honestly significant difference (HSD) at 5% level

Tabel 6. Data sifat fisik dan kekuatan lembaran karton, yang diikuti dengan uji BNJ Tukey - (dinyatakan dalam mutu dan skor)
Table 6. Data on physical and strength properties of paperboard, followed with Tukey's HSD tests - expressed in grades and scores)

Kode Perlakuan / Treatment code (T)	Sifat fisik dan kekuatan (Physical and strength properties)														
	Gramatur (Basic weight), g/m ²			Kadar air (Moisture content), %			Tebal (Thickness), mm			Indeks retak/pecah (Burst index) kN/g			Indeks sobek (Tear index) mNm ² /g		
	M ¹⁾	G ²⁾	S ³⁾	M ¹⁾	G ²⁾	S ³⁾	M ¹⁾	G ²⁾	S ³⁾	M ¹⁾	G ²⁾	S ³⁾	M ¹⁾	G ²⁾	S ³⁾
A1	361,59	B	3	6,16	B	4	0,88	B	3	0,86	A	4	5,23	A	4
A2	364,20	B	3	7,03	B	3	0,86	B	3	0,81	A	4	4,88	B	3
B1	401,28	A	4	7,29	A	3	0,90	A	4	0,65	B	3	4,27	C	2
Pembanding (Comparison)															
Karton komersial (commercial paper-board) ⁴⁾	247,75									1,36			9,47		
Chip-board ⁴⁾	375-425			6-8			0,52-0,90			1,060-1,098					
T + S	369,77			7,02			0,84			0,91			4,16		

Keterangan (Remarks): Untuk kode A1, A2, dan B1, lihat rincian pada Tabel 1 (For the codes of A1, A2, and B, please refer to the details in Table 1); ¹⁾Rata-rata dari 3 ulangan (Average of 3 replications);

²⁾Angka (dalam kolom M) yang diikuti secara horizontal oleh huruf (kolom G) dan skor (kolom S) yang sama tak berbeda nyata / *Figures followed horizontally with the same letters (G columns) and same scores (S column) are not significantly different: A > B > C > D;* ³⁾Sumber (*Sources*): Anonim (2007a). T+S = Pembandingan berupa lembaran karton dari campuran pulp TKKS dan sludge industri kertas pada proporsi 50%:50%, berikut aditif (alum, kaolin, tapioca, dan *rosin-size*) dengan macam dan jumlah sama dengan yang dilakukan pada percobaan ini / *Comparison that presents the mixture of EOPFB pulp and paper-mill sludge at 50%:50% proportion, together with additives (kind and quantity similar to those used in this experiment)* (Roliadi dan Pasaribu, 2006).

Tabel 6. Data sifat fisik dan kekuatan lembaran karton, yang diikuti dengan uji BNJ Tukey (dinyatakan dalam mutu dan skor) - Sambungan
Table 6. Data on physical and strength properties of paperboard, followed with Tukey's HSD tests expressed in grades and scores) - Continuation

Kode Perlakuan / Treat ment code (T)	Sifat fisik dan kekuatan (<i>Physical and strength properties</i>)												TS
	Indeks tarik (<i>Tensile index</i>) Nm/g			Kekakuan (<i>Stiffness</i>) gf.cm			Ketahanan lingkar (<i>Ring crush</i>) kgf			Ketahanan tekan datar (<i>Concora</i>) kgf			
	M ¹⁾	G ²⁾	S ³⁾	M ¹⁾	G ²⁾	S ³⁾	M ¹⁾	G ²⁾	S ³⁾	M ¹⁾	G ²⁾	S ³⁾	
A1	17,02	A	4	189,18	A	4	40,82	A	4	23,181	A	4	34
A2	13,43	B	3	176,25	A	4	36,54	B	3	15,372	B	3	29
B1	10,73	C	2	74,81	B	3	35,38	B	3	14,299	B	3	27
<i>Pembandingan (Comparison)</i>													
Karton komersial (<i>commercial paper-board</i>) ⁴⁾	19/71			75,80			20,76			-			
<i>Chip-board</i> ⁴⁾							58-76						
T+S	14,50			-			37,52			-			

Keterangan (*Remarks*): Sama seperti pada Tabel 5 sebelumnya (*Similar to the previous Table 5*); ³⁾TS (total skor / *total scores*) = S1 + S2 + S3 + + S8

Tabel 7. Rendemen lembaran karton yang dibentuk dari pulp TKKS 100%, dan dari campuran pulp TKKS dengan *sludge* industri kertas (SIK) dan kertas bekas yang dibentuk di pabrik karton rakyat

Table 7. Yield of paperboard from 100% EOPFB pulp, and from the mixture of 50% EOPFB pulp and 25% paper-mill sludge (PMS) and 25% waste paper (WP), as formed at small-scale paperboard industry

No	Macam serat (Kinds of fibers)	Rendemen (Yield), % ¹⁾	
		I	II
1.	100% pulp TKKS (100% EOPFB pulp)	86,21	72,74
2.	50% pulp TKKS (50% EOPFB) + 25% SIK (25% PMS) + 25% KB (WP)	83,95	70,16

Keterangan (Remarks): ¹⁾ Berdasarkan berat kering keseluruhan keseluruhan bahan serat dan bahan aditif (*based on oven-dry weight of all fiber stocks and the aditif*); I = setelah penggilingan di Hollander beater, pembentukan lembaran di mesin *fourdrinier*, lalu dilanjutkan dengan pengeringan sinar matahari dan calendering (*after the beating/refining in hollander beater, sheet forming at fourdrinier machine, followed with sun-drying and calendering*); II = Setelah tahap pekerjaan I, dilakukan pemotongan dan pengepakan (*After the overall work in stage I, followed with cutting and packaging*)

V. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Rendemen rata-rata pulp untuk karton dengan dari proses semi-kimia soda (NaOH) panas tertutup terhadap tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebesar 60,17%, sedangkan konsumsi alkali 9,81% (mendekati konsentrasi awal untuk pemasakan, 10%), dan bilangan kappa pulp TKKS 38,17% (umum untuk bilangan kappa pulp karton, 35).
2. Rendemen dan sifat kekuatan karton dari pulp TKKS 100% lebih tinggi dari pada sifat karton dari campuran pulp TKKS 50%, kertas bekas 25%, dan *sludge* 25%. Sifat kekuatan karton dari campuran tersebut lebih tinggi dari pada sifat karton produksi industri rakyat dari campuran kertas bekas (50%) dan *sludge* (50%), dan banyak memenuhi persyaratan karton komersial, kecuali indeks retak dan indeks sobek.
3. Diharapkan kekurangan sifat kekuatan karton dari campuran pulp TKKS (50%), kertas bekas (25%), dan *sludge* (25%) dapat diperbaiki dengan penggunaan bahan *rosin-soap sizing* dan lebih banyak perekat tapioka.
4. Penggunaan pulp TKKS (100%, atau dicampur dengan kertas bekas dan *sludge* dengan proporsi 50%:25%:25%) menunjukkan prospek sebagai bahan baku alternatif/pengganti pada industri karton yang menggunakan campuran kertas bekas dan *sludge* (50%:50%).

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan tersusunnya tulisan, penulis mengucapkan terima kasih dan menyampaikan rasa penghargaan setinggi-tingginya kepada Bapak Ir. Ridwan A. Pasaribu, MS., yang telah banyak menyumbangkan tenaga dan pikirannya dalam penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1989. Cara uji kertas dan karton. Standar Nasional Indonesia (SNI). Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- _____. 1994. *Sludge incineration technology creates alternative to landfilling*. *Sludge Technology*, pg. 6-7.
- _____. 1998. *Pulp and paper from empty oil-palm bunches. Project Proposal*. PT. Triskisatrya Daya Paratama dan PT. Chatama Agro Indofin. Jakarta.
- _____. 2006. Gramatur kertas dan karton. Standar Nasional Indonesia (SNI). Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- _____. 2007. *Techinical Association of the Pulp and Paper Industries (TAPPI)'s Test Methods*. TAPPI Press. Atlanta, Georgia.
- _____. 2007a. Standar kualitas karton. PT. Kertas Dayasempurna Cellulosatama. Bekasi, Jawa Barat.
- _____. 2008. Selamat tinggal hutan alam. *Harian Kompas*, tanggal 15 Maret 2008. Jakarta. Hlm. 21. PT. Kompas Media Nusantara. Jakarta.
- _____. 2010. Industri pulp dan kertas Indonesia menghadapi persaingan pasar global. Diskusi panel industri kehutanan menghadapi persaingan pasar global. Jakarta, Agustus 2010. Asosiasi Pulp dan Kertas Indonesia. Jakarta.
- _____. 2011. Pasar CPO Afrika semakin Prospektif. *Harian Kompas*, tanggal 17 Maret 2011. Jakarta. Hlm. 18. PT. Kompas Media Nusantara. Jakarta.
- Gautama, R. 2005. Bahan baku pulp dari limbah sawit. *Agro Indonesia*, 8 Maret 2005, 1 (39): 10-11.
- Haygreen, J.G. and J.L. Bowyer. 1999. *Forest Products and Wood Science*. 2nd ed. Iowa State University Press. Ames, USA.
- Maybee, W. 1999. *Comparative study on the chemical composition of paper-mill sludge*. Ph.D.candidate. Website: www.chem-eng.utoronto.ca/pphone/Research/_Othermaybe.html. Diakses 5 Maret 2002.
- Pasaribu, R.A. dan I. Winarni. 1992. Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan substitusi kayu pulp untuk kertas korugating medium. Prosiding Seminar Nasional V MAPEKI di Bogor, tanggal 30 Agustus - 1 September 2002. Kerjasama Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI) dengan Pusat Litbang Teknologi Hasil Hutan, Bogor.
- _____. 1996. Pemanfaatan fungi pelapuk putih dalam biodelignifikasi TKKS menjadi pulp dan kertas. Laporan Kerjasama Pusat Litbang Teknologi Hasil Hutan (Bogor) dengan Puspitek (Jakarta). Sirkulasi Terbatas.
- Patriasari, W. 2001. Pengaruh perlakuan alkali pada pulp tandan kosong kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) terhadap morfologi serat dan sifat fisis mekanis papan serat berkerapatan

sedang (MDF). Skripsi S1. Jurusan Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.

- Rina, S.S., S. Purwanti, H. Hardiani, dan S. Surachman, 2002. Pengaruh kompos dan limbah lumpur IPAL industri kertas terhadap tanaman dan tanah. Prosiding Seminar Teknologi Selulosa - Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Selulosa. Bandung.
- Rismijana, C.J. 2010. Pemanfaatan pulp tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai bahan baku pembuatan kertas tulis-cetak. Prosiding Seminar Teknologi Pulp dan Kertas, 10 Nopember 2010. Balai Besar Pulp dan Kertas, Bandung. Hal. 96-101.
- Roliadi, H. dan R.A. Pasaribu. 2006. Pembuatan dan kualitas karton dari campuran pulp tandan kosong kelapa sawit dan sludge industri kertas. Jurnal Penelitian Hasil Hutan, 24 (4): 323-337. Pusat Litbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan. Bogor.
- Smook, G.A. dan M.J. Kocurek. 1993. *Handbook for Pulp and Paper Technologists*. TAPPI. Atlanta, GA.
- Silitonga, T., R. Siagian, dan A. Nurahman. 1972. Cara pengukuran serat kayu di Lembaga Penelitian Hasil Hutan. Publikasi Khusus No. 12. Lembaga Penelitian Hasil Hutan. Bogor.
- Tamolang, F.N. and F.G. Wangard. 1961. *Fiber dimensions of certain Philippines woods, bamboos, agricultural crops and wastes, and grasses*. TAPPI, vol. 43 (6): 527-528.