

Peranan Serat Alang-alang (*Imperata cylindrica*) sebagai Penguat Kertas Daur Ulang

Fahriya Puspita Sari^{1*}, M. Ghozali², Ratih Damayanti³, W. Fatriasari¹,
dan Euis Hermiati¹

¹Pusat Penelitian Biomaterial-LIPI, Jl. Raya Bogor KM 46, Cibinong, Bogor, 16911

²Pusat Penelitian Kimia-LIPI, Kawasan Puspiptek, Tangerang 15314

³Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

E-mail: fahriya.puspita.sari@lipi.go.id

Diterima: 02-Feb-2018 Diperbaiki: 22-Apr-2018 Disetujui: 29-Mei-2018

ABSTRAK

Peranan Serat Alang-alang (*Imperata cylindrica*) sebagai Penguat Kertas Daur Ulang. Kertas daur ulang didominasi oleh serat pendek yang menyebabkan ikatan antar serat dalam lembaran kertas kurang baik. Kekuatan kertas daur ulang dapat diperbaiki dengan penambahan serat primer sebagai sumber serat panjang seperti alang-alang (*Imperata cylindrica*). Pulp daur ulang diperoleh dengan menggiling kertas daur ulang menggunakan *beater hollander* selama 15 menit. Delignifikasi alang-alang dilakukan dengan pemasakan soda panas terbuka selama 2 jam pada suhu 100 °C dengan rasio pencampuran pulp daur ulang dan pulp alang-alang adalah 2:1. Rendemen pulp pemasakan alang-alang sebesar 31,26%. Pemasakan pulp menyebabkan terjadinya penurunan kadar lignin, α -selulosa, dan hemiselulosa masing-masing sebesar 95,57,19; dan 36,44 % yang mengindikasikan delignifikasi yang bersifat tidak selektif. Analisis morfologi permukaan kertas dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) menunjukkan bahwa penggumpalan serat lebih banyak ditemukan pada permukaan kertas daur ulang dibandingkan kertas alang-alang. Lembaran kertas alang-alang memiliki jalinan ikatan antar serat yang lebih rapat dan terlihat parenkim di beberapa titik pada permukaan lembaran. Analisis ATR-FT IR menunjukkan terjadi penurunan intensitas serapan pita pada spektrum FT IR. Secara umum, gugus fungsional sebelum dan setelah pemasakan pulp tidak berubah signifikan, kecuali gugus OH yang semakin tajam intensitasnya dan gugus fungsi cincin benzene pada senyawa aromatik dari lignin yang hilang akibat proses pemasakan. Analisis kekuatan lembaran kertas menunjukkan bahwa lembaran kertas daur ulang memiliki kekuatan tarik dan sobek yang lebih rendah dibandingkan dengan lembaran kertas alang-alang, namun kekuatan retaknya meningkat. Hal ini membuktikan bahwa alang-alang berperan penting untuk memperbaiki sifat kertas daur ulang.

Kata Kunci: anatomi serat, delignifikasi soda panas terbuka, *Imperata cylindrical*, kertas daur ulang, kekuatan kertas, analisa SEM, FTIR

ABSTRACT

The Role of Alang-alang Fiber (Imperata cylindrica) as The Reinforcement of Recycled Paper. Recycled paper is dominated by short fibers that causes unfavorable inter fiber bonding in handsheets. The strength of recycled paper can be improved by reinforcing using virgin fiber as long fiber sources such as Alang-alang (*Imperata cylindrica*). Recycled pulp was conducted by beating the recycled paper with a beater hollander for 15 minutes. Soda pulping was used for delignification process for 2 hours at 100 °C. The mixing ratio of recycled pulp and alang-alang pulp was 2:1. Pulping process of alang-alang resulted 31.26 % of pulp yield. It caused loss of lignin (95%), α -cellulose (57.19 %), and hemicellulose (36.44 %), indicating unselective pulping process. Analysis of surface morphology with Scanning Electron Microscopy (SEM) showed that more agglomeration occurred on the surface of recycled paper. Alang-alang handsheets had a closer inter fiber bonding and are found some parenchymes at the surface handsheets of Alang-alang pulp. ATR-FTIR analysis showed that there was reduction in absorption intensity. In general, there is no significant change of functional groups between before and after delignification processes, unless the intensity of OH group increased and functional groups of aromatic lignin from benzene rings disappeared. Analysis of mechanical strength of handsheets showed that recycled handsheets has lower tensile strength and burst index compared to alang-alang handsheets, while the tear strength was higher. It is indicated that alang-alang fibers play an important role in improving the sheet properties.

Keywords: fiber anatomy, hot-open soda pulping, *Imperata cylindrica*, recycled paper, paper handsheet strength, SEM analysis, FTIR analysis

PENDAHULUAN

Industri pulp dan kertas di Indonesia terus mengalami pertumbuhan yang sangat pesat. Pada tahun 2017, kapasitas nasional terpasang sebesar 7,93 juta ton pulp/tahun dan 12,98 juta ton kertas/tahun. Bahkan produksi kertas dan pulp di Indonesia menempati peringkat ke-6 dan ke-9 dunia [1,2]. Peningkatan kapasitas terpasang tersebut berimplikasi pada peningkatan kebutuhan bahan baku kayu sebagai sumber utama dalam industri pulp dan kertas. Pada tahun 2016, kebutuhan bahan baku kayu mencapai 35,3 juta m³ dan diperkirakan akan meningkat hingga 45 juta m³ [2]. Di Indonesia, kayu cepat tumbuh (*fast growing spesies*) seperti akasia dan eukaliptus yang dikembangkan melalui Hutan tanaman industri (HTI) merupakan sumber bahan baku serat alam (*virgin fiber*) di industri pulp dan kertas. Pembukaan lahan untuk HTI menurunkan luas hutan alam dari tahun ke tahun sehingga

perlu alternatif serat alam selain dari kayu dari HTI ataupun hutan alam [3]. Biomassa yang termasuk tanaman tahunan dan limbah pertanian berpotensi sebagai substitusi untuk menggantikan serat dari kayu yang semakin terbatas dalam industri pulp dan kertas [4,5]. Beberapa penelitian telah melaporkan potensi beberapa sumber serat alami untuk produksi pulp dan kertas, antara lain serat daun nanas [6], bambu [7-10], batang pisang [11], tandan kosong kelapa sawit [12], jerami padi [13], kulit singkong, kulit biji kakao [14], switch grass, rumput gajah [15], buah palm Palmyra [16], *C. tataria* [17] dan alang-alang [18-20].

Alang-alang termasuk dalam kategori serat panjang yang sangat berpotensi sebagai sumber bahan baku untuk industri pulp dan kertas karena kandungan lignin, kelarutan air panas dan NaOH 1% yang rendah serta kadar holoselulosa yang cukup baik. Lembaran pulp hasil pemasakan soda alang-alang memiliki kekuatan tarik dan retak yang tinggi [20]. Pada penelitian sebelumnya, Sutiya et al. [18] menyatakan bahwa alang-alang berpotensi sebagai bahan baku pulp dan kertas karena kandungan selulosa yang tinggi dan serat selulosa yang panjang, akan tetapi belum dilakukan aplikasi dalam kertas daur ulang, sedangkan Kassim et al [19] membandingkan serat alang-alang dengan serat kulit buah kakao dan daun kelapa sawit. Alang-alang memiliki *yield* dan kekuatan selulosa yang lebih tinggi dibandingkan kedua bahan tersebut. Dalam penelitian ini, alang-alang dimanfaatkan sebagai serat penguat kertas daur ulang sebagai sumber serat panjang. Pendekatan ini dapat menjadi langkah untuk menjaga kelestarian tanaman dan kesuburan tanah serta meningkatkan nilai keekonomian rumput yang kurang dimanfaatkan.

Pada proses pembuatan kertas daur ulang pemasakan pulp dapat menggunakan metode kraft atau sulfit, akan tetapi penggunaan metode ini dapat merusak lingkungan karena kandungan sulfur yang ada di dalamnya [21]. Pada penelitian ini metode semi kimia dengan proses soda panas terbuka dapat menjadi alternatif dalam proses pemasakan pulp tanpa masalah tersebut diatas [9,12]. Meskipun sebelumnya telah dikembangkan pembuatan pulp dan kertas dari alang-alang [20], namun belum ditemukan laporan yang menjelaskan penggunaan proses soda panas terbuka pada pembuatan pulp alang-alang. Selain itu, penggunaan pulp ini sebagai penguat kertas daur ulang juga belum pernah dilaporkan sebelumnya. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan observasi yang lebih mendalam terhadap karakteristik alang-alang sebagai penguat kertas daur ulang. Analisis meliputi anatomi serat, komponen kimia, analisis perubahan gugus fungsi dengan *Fourier Transform Infrared* (FT IR), analisis morfologi permukaan kertas (*Scanning Electron Microscopy* (SEM)) dan analisis kekuatan tarik, sobek, retak, tingkat kecerahan, serta panjang kerusakan lembaran pulp alang-alang dan daur ulang berpenguat serat alang-alang.

METODE PENELITIAN

Bahan

Alang-alang yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari kawasan Cibinong Science Center, Bogor. Sebelum digunakan, alang-alang terlebih dahulu dipotong-potong dengan panjang kurang lebih 10 cm untuk pembuatan pulp alang-alang. Sebelum pemasakan, alang-alang tersebut dicuci untuk menghilangkan kotoran dan kontaminan lainnya dan selanjutnya dikeringkan pada suhu ruang. Untuk analisa komponen kimia, alang-alang kering digiling sehingga diperoleh ukuran serbuk 40-60 mesh. Bahan kimia untuk analisa komponen kimia dan analisa anatomi alang-alang dalam grade analitik (p.a), sedangkan bahan pemasak menggunakan NaOH teknis. Analisa anatomi serat menggunakan hidrogen peroksida (H_2O_2) 30 dan 35%, asam asetat glacial (CH_3COOH) 98%.

Pemasakan Alang-alang

Alang-alang (± 10 cm) sebanyak 110 g (berat kering/BKO) dimasak dengan proses soda panas terbuka menggunakan larutan NaOH 10% (b/v) selama 2 jam pada suhu $100^\circ C$ dengan perbandingan alang-alang dan larutan NaOH sebesar 1:10. Alang-alang hasil pemasakan kemudian dipisahkan dari lindi hitam dengan dicuci dengan air mengalir hingga diperoleh pulp bebas alkali. Pulp yang dihasilkan ditimbang dan diukur kadar airnya sehingga dapat dihitung rendemen pulp hasil pemasakan. Rendemen pulp merupakan rasio berat akhir pulp (BKO) dibandingkan dengan berat awal alang-alang (BKO). Proses pemasakan pulp dilakukan sebanyak 2 ulangan.

Analisa Komponen Kimia Alang-alang dan Pulp

Serbuk alang-alang (40-60 mesh) dan pulp alang-alang dianalisa komponen kimianya untuk mengetahui kadar ekstraktif terlarut etanol benzene (TAPPI T 204 cm-97), holoselulosa [22], α -selulosa [23], lignin tidak larut asam (klason) dan lignin larut asam (ASL) yang mengacu pada NREL LAP 003. Hemiselulosa diperoleh dari hasil pengurangan holoselulosa terhadap α -selulosa. Sebelum pengujian komponen kimia dilakukan pengukuran kadar air mengikuti metode TAPPI T 264 cm-97.

Pembuatan Kertas Daur Ulang

Lembaran kertas bekas perkantoran dicacah dan direndam selama 24 jam sebelum pembuatan bubur kertas (*repulping*). Lembaran kertas yang digunakan terdiri dari 2 komposisi, yaitu 100% pulp alang-alang (tanpa penambahan kertas bekas) dan kertas daur ulang yang terdiri dari campuran kertas bekas dan alang-alang dengan perbandingan 2:1 atau 1:1 (kg berat basah). Selanjutnya pulp tersebut digiling menggunakan *beater hollander*

Peranan Serat Alang-alang (*Imperata cylindrica*) sebagai Penguat Kertas Daur Ulang (Fahriya Puspita Sari)

selama 15 menit hingga pulp tercampur sempurna. Pulp yang telah selesai dicetak secara manual dan dikeringkan matahari untuk menghasilkan lembaran kertas [24].

Karakterisasi Anatomi Serat

Preparat maserasi dibuat guna pengamatan dimensi dan kualitas serat dengan menggunakan metode Franklin yang dimodifikasi berdasarkan Rulliaty [25]. Batang rumput alang-alang dipotong sebesar korek api kemudian dimasukkan dalam tabung reaksi yang berisi larutan H_2O_2 dengan CH_3COOH dengan perbandingan 1 : 2, kemudian dipanaskan di atas penangas air selama kurang lebih 7 hari. Serat yang sudah terpisah dicuci bersih dengan air kran beberapa kali hingga kandungan dan bau asamnya hilang, lalu diwarnai dengan Safranin-O. Serat yang sudah diwarnai dimuat dalam gelas obyek yang sudah ditetesi gliserin. Seratnya disebarakan merata lalu ditutup dengan gelas penutup. Panjang serat, diameter serat dan diameter lumen diukur di bawah mikroskop. Penentuan kelas mutu serat dinilai berdasarkan kriteria penilaian kayu Indonesia untuk pulp dan kertas [26]. Nilai turunan dimensi serat meliputi bilangan runkel ($2x$ tebal dinding sel/diameter lumen), daya tenun panjang serat/diameter serat), bilangan muhlsteph ($((\text{diameter serat kuadrat}-\text{diameter lumen kuadrat})/\text{diameter serat kuadrat}) \times 100\%$), koefisien kekakuan (tebal dinding serat/diameter serat) dan nilai fleksibilitas (diameter lumen/diameter serat) [27].

Uji Kekuatan Lembaran Kertas

Kekuatan lembaran kertas alang-alang dan daur ulang berpenguat alang-alang yang dicetak manual dilakukan di Balai Besar Pulp dan Kertas (BBPK), Bandung, Jawa Barat. Pengujian sifat mekanis meliputi kekuatan tarik (TAPPI T 494 om-1), kekuatan sobek (SNI 0436:2009), kekuatan retak (SNI ISO 2758:2011), tingkat kecerahan (SNI ISO 2470:2014), dan panjang kerusakan (TAPPI T 494 om-1).

Karakterisasi Morfologi dengan SEM

SEM digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan kertas alang-alang dan kertas daur ulang berpenguat serat alang-alang. Analisa morfologi dilakukan dengan menggunakan SEM Hitachi TM-3030. Citra SEM diambil pada perbesaran 500 x dan 1000 x dengan kecepatan voltase 5 kV.

Identifikasi Gugus Fungsi dengan FTIR

Analisa *Attenuated Total Reflectance* (ATR)-FTIR dilakukan untuk evaluasi perubahan gugus fungsi pada pulp dibandingkan dengan serbuk alang-alang. Analisa ini menggunakan FTIR Perkin Elmer *two spectrum* dengan rentang gelombang $400 - 4400 \text{ cm}^{-1}$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Komponen Kimia dan Sifat Pulp Alang-alang

Komponen kimia alang-alang dan pulp alang-alang dapat dilihat pada Tabel 1. Dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya [18,19], kadar holoselulosa pada penelitian ini yang tertinggi. Namun, berdasarkan komposisinya, alang-alang pada penelitian ini memiliki kadar α -selulosa yang terendah (34,36 %) dengan kadar hemiselulosanya yang tertinggi (36,23 %). Kadar selulosa yang lebih tinggi lebih disukai karena cenderung menghasilkan rendemen pulp yang lebih tinggi, pulp yang lebih putih, relatif tahan terhadap bahan kimia, tidak mudah larut dalam pelarut organik netral dan air dalam pemisahan dan pemurniannya, serta menghasilkan serat yang kuat [28]. Kekuatan kertas sangat tergantung kadar selulosa dalam bahan [20]. Tingginya kadar α -selulosa menunjukkan potensi alang-alang sebagai bahan baku pada industri pulp dan kertas [5]. Lebih lanjut Shakhes *et al.* [29] menyatakan bahwa biomassa dengan selulosa 34% dan lebih tinggi berpotensi sebagai bahan untuk pulp dan kertas. Hemiselulosa yang tinggi menyebabkan serat lebih fleksibel, mudah mengembang, dan plastis sehingga menyebabkan terbentuknya luas daerah permukaan yang tinggi. Kandungan hemiselulosa pada pulp berefek pada indeks kristalinitas dari selulosa. Semakin sedikit hemiselulosa yang hilang akan semakin meningkatkan indeks kristalinitas dari selulosa. Hal ini disebabkan karena rekristalisasi parsial dari selulosa amorf yang berdekatan dengan zona kristal. Oleh karena itu, dengan rendahnya kandungan hemiselulosa berefek positif pada selulosa pada zona amorf [30].

Perbedaan kadar air alang-alang yang sangat tinggi antara penelitian ini dengan penelitian [31] kemungkinan dipengaruhi oleh proses pengeringan alang-alang sebelum dimasak. Perbedaan kondisi lingkungan tempat tumbuh dan waktu pengambilan sampel alang-alang juga turut berpengaruh. Kadar lignin hasil penelitian ini hampir sama hasil penelitian sebelumnya [31,32]. Namun demikian, kadar lignin penelitian ini masih jauh lebih tinggi dibandingkan dengan Kassim *et al.* [19]. Perbedaan metode penentuan kadar lignin dan kondisi lingkungan tempat tumbuh kemungkinan ikut berpengaruh. Kadar lignin yang tinggi berpengaruh pada kebutuhan konsumsi bahan kimia pemasak dan lamanya proses delignifikasi [33], warna dan sifat pulp karena terhambatnya aktivitas selulosa dan hemiselulosa dalam pembentukan ikatan antar serat [34]. Selain itu, kadar lignin yang tinggi akan menyebabkan lembaran pulp berwarna lebih gelap dan dapat menurunkan kualitas kertas sehingga lignin harus dihilangkan.

Peranan Serat Alang-alang (*Imperata cylindrica*) sebagai Penguat Kertas Daur Ulang (Fahriya Puspita Sari)

Tabel 1. Komponen kimia alang-alang dan pulp alang-alang

Komponen Kimia (%)	Alang-alang (penelitian ini)	Alang-alang [18]	Alang-alang [19]	Pulp alang-alang (wt%)	% Kehilangan
Kadar air	7,12 ± 0,20	93,76	-	10,54 ± 0,20	
Kelarutan etanol-benzene	2,72 ± 0,08	8,09	-	2,95 ± 0,23	66,11 ± 2,65
Abu	-	-	8,24	5,49	
Kelarutan air panas	-	-	3,84	-	
Kelarutan NaOH 1%	-	-	19,6	-	
Lignin		31,29	5,67		
Lignin terlarut asam	2,28 ± 0,11			4,45 ± 0,60	94,85 ± 0,60
Klason lignin	26,99 ± 1,49			3,98 ± 0,84	49,33 ± 5,10
Holoselulosa					
α selulosa	34,36 ± 0,43	40,22	37,1	47,05 ± 1,63	57,19 ± 1,48
hemiselulosa	36,23 ± 0,50	18,40	27,8	36,50 ± 2,18	36,44 ± 0,54

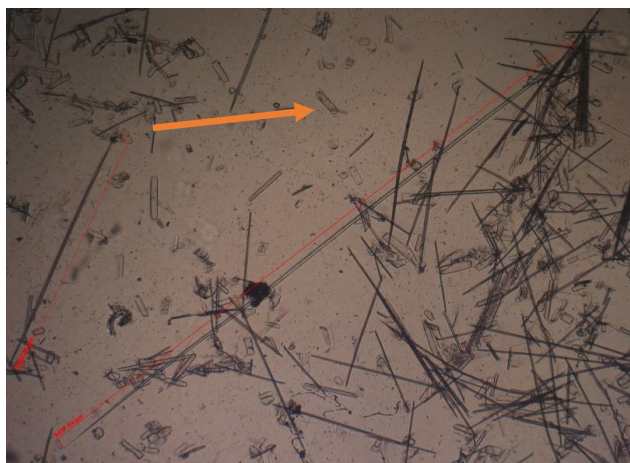
Proses pemasakan alang-alang dengan metode soda panas terbuka menghasilkan rendemen pulp alang-alang sebesar 31,26 % dan lebih rendah dibandingkan rendemen pulp alang-alang dengan proses soda sebesar 38,2 % [20]. Rendemen pemasakan merupakan indikator untuk melihat efektivitas proses pulping. Lebih rendahnya rendemen pulp ini terkait dengan lebih rendahnya kadar selulosa alang-alang pada penelitian ini. Selain itu adanya parenkim yang lebih mudah hancur selama proses pemasakan juga dapat menurunkan rendemen yang diperoleh. Rendemen pulp yang rendah mengindikasikan kurang selektifnya proses degradasi lignin, sehingga selulosa juga ikut terdegradasi secara intensif. Rendemen pulp berhubungan secara langsung dengan konsentrasi bahan pemasak, suhu pemasakan, waktu pemasakan dan jenis proses pemasakan yang digunakan [16]. Dibandingkan dengan rendemen pemasakan bambu betung dengan proses soda panas terbuka [7,9], rendemen pulp alang-alang masih lebih rendah. Meskipun bambu juga banyak mengandung parenkim seperti alang-alang dengan kadar holoselulosa yang hampir sama dan lignin yang lebih rendah, namun perbedaan karakteristik anatomi alang alang juga berkontribusi terhadap perbedaan hasil ini. Selain itu, pada proses pemasakan alang-alang, seluruh bagian alang-alang digunakan termasuk daun tidak hanya batang. Kandungan selulosa terbesar berada di bagian batang dibandingkan dengan daun, hal ini mungkin juga berpengaruh terhadap rendemen pulp yang rendah.

Pemasakan alang-alang soda panas terbuka menyebabkan terjadinya penurunan kadar lignin. Pemasakan juga menyebabkan terjadinya kehilangan berat alang-alang (68,74 %) termasuk kehilangan selulosa, dan hemiselulosa. Selulosa yang hilang terjadi akibat reaksi pengelupasan (*peeling reaction*) pada gugus ujung pereduksi selulosa sebagai hasil reaksi alkali dengan selulosa. Hal ini telah dinyatakan sebelumnya dimana alkali juga

mendegradasi sebagian karbohidrat dan melarutkannya sehingga mengakibatkan rendemen pulp menjadi berkurang [35].

Karakteristik Dimensi Serat Alang-alang dan Pulp Alang-alang

Berdasarkan Tabel 2 dan diperkuat oleh Gambar 1, serat alang-alang termasuk serat panjang. Serat yang panjang akan menciptakan jalinan ikatan antar serat yang kuat dan tidak mudah lepas. Hal ini akan memberikan kekuatan lipat dan gaya sobek lembaran kertas yang tinggi [18], dan tidak mudah ditembus cahaya [34]. Hal senada juga diungkapkan oleh Kassim et al. [20]. Panjang serat juga berpengaruh terhadap kemudahan pencucian pulp dan kehalusan lembaran kertas [34]. Panjang serat alang-alang ini hanya lebih pendek dibandingkan dengan serat bambu (Tabel 2). Serat alang-alang yang digunakan dalam penelitian ini memiliki panjang serat yang terpanjang dibandingkan dengan panjang serat alang-alang yang telah dilaporkan sebelumnya [18,19]. Hal ini memperkuat tujuan penggunaan serat alang-alang ini sebagai sumber serat alam dengan tipe serat panjang sebagai penguat kertas daur ulang untuk kertas seni. Selain serat, pada Gambar 1 dan 2 juga ditunjukkan kehadiran parenkim (tanda panah warna orange) dengan diameter yang jauh lebih besar dengan ukuran yang sangat pendek. Parenkim ini juga umum ditemui pada kelompok rumput-rumputan seperti bambu. Kehadiran parenkim ini berpengaruh terhadap rendemen pemasakan pulp, karena parenkim lebih mudah terdegradasi dan hancur dibandingkan dengan serat. Hal ini diindikasikan dengan jumlah kehadiran parenkim yang lebih sedikit pada pulp (Gambar 2) dibandingkan dengan serat alang-alang (Gambar 1). Meskipun terdapat variasi dimensi serat antara alang-alang dari penelitian ini dengan yang dilaporkan oleh Sutiya et al. [18], namun keduanya diprediksi termasuk dalam kelas mutu II sebagai bahan pulp dan kertas [26].



Gambar 1. Serat alang-alang utuh (perbesaran 25x); tanda panah menunjukkan sel parenkim

Tabel 2. Rata-rata dimensi dan kualitas serat non kayu

Serat non kayu	Dimensi serat				Turunan dimensi serat					Kelas mutu	Referensi	
	Panjang (L) (mm)	Diameter (d) (μm)	Lumenn (e) (μm)	Tebal dinding (w) (μm)	Bilangan Runkel	Daya Tenun	Nilai Fleksibilitas	Koefisien Kekakuan	Bilangan Muhlsteph (%)			Total Skor
<i>I. cylindrica</i>	2.29±950	18±2	11±2	3.3±0.6	0.60	116	0.63	0.18	59	350*	II*	Penelitian ini
	100*				25*	100*	50*	25*	50*			
<i>I. cylindrica</i>	2.19	20	8.75	5.625	1.29	109.17	0.44	0.28	42.24			[18]
	100				25*	100*	50*	25*	50*	350*	II*	
<i>I. cylindrica</i>	1.04	7.49				138						[19]
<i>C. tataria</i>	0.62	17.4				35.5						[17]
Switch grass	0.76	13.9				94.3						[15]
Rumput gajah	0.75	15.1				87.9						[15]
Tembaku	1.23	24.3				56.6						[29]
Bambu	2.64-4.69	21-30	4-8	0.7-1.3	1.67-5.94	89.09-176.31	0.14-0.38	0.31-0.43	85.97-96.72			[36]

Keterangan :

* = Kelas mutu berdasarkan kriteria penilaian kayu Indonesia untuk bahan pulp dan kertas [26]

1) Bilangan Runkel = $2w/l$

2) Daya tenun = L/d

3) Perbandingan Fleksibilitas = l/d

4) Koefisien kekakuan = w/d

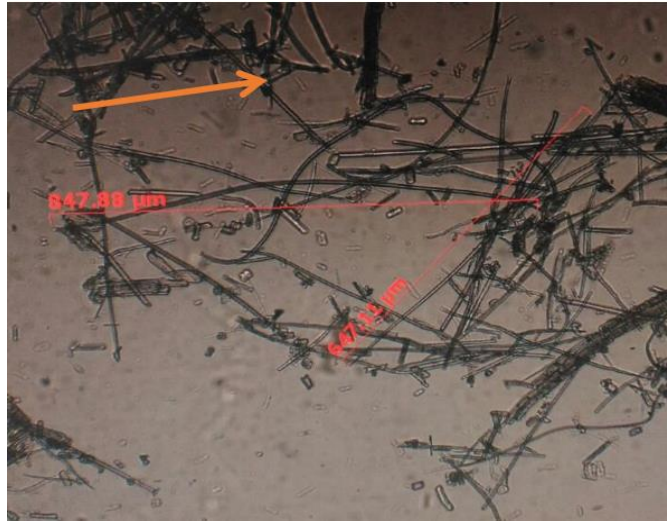
5) Perbandingan Muhlsteph = $\frac{(d^2-l^2)}{d^2} \times 100 \%$

Sumber : Rachman dan Siagian [27]

Diameter serat merupakan karakteristik penting yang berpengaruh terhadap kualitas lembaran kertas yang dihasilkan. Diameter serat yang lebar dengan lumen sel yang juga lebar dan dinding sel yang tipis akan memudahkan proses penggilingan dimana serat akan mudah menjadi pipih sehingga memperluas daerah kontak ikatan antar serat. Sebagai implikasinya, kekuatan tarik, jebol dan lipatnya lebih tinggi [28]. Pada Tabel 2 terlihat bahwa diameter serat alang-alang pada penelitian ini ($18 \pm 2 \mu\text{m}$) sedikit lebih kecil dibandingkan dengan diameter serat bamboo ($21\text{-}30 \mu\text{m}$) [36] dan tembakau ($24,3 \mu\text{m}$) [29], namun jauh lebih lebar jika dibandingkan diameter serat dari Kassim et al. yang hanya $7,49 \mu\text{m}$ [19]. Variasi karakteristik serat alang-alang kemungkinan juga dipengaruhi oleh lingkungan tempat tumbuhnya dan iklim.

Turunan dimensi serat merupakan karakteristik lain yang berperan untuk memprediksi kelayakan suatu biomassa menjadi pulp dan kertas. Tabel 2 menunjukkan bahwa serat alang-alang memiliki daya tenun yang lebih tinggi dibandingkan dengan serat lainnya kecuali serat dari beberapa spesies bambu. Lembaran kertas serat alang-alang akan lebih rapat sehingga kekuatan sobeknya lebih besar dan serat bersifat lebih lentur. Daya tenun memiliki hubungan parabolis dengan kekuatan tarik dan panjang kerusakan [37]. Lebih lanjut, Kassim et al. [20] menyatakan bahwa alang-alang memiliki serat yang panjang dan tebal dinding sel tipis.

Rachman dan Siagian [27] menyebutkan bahwa bahan yang termasuk kelas mutu II untuk pulp dan kertas umumnya mempunyai dinding sel tipis sampai sedang dengan lumen agak lebar. Dalam pembentukan lembaran kertas dari pulp, serat akan mudah menggepeng dengan ikatan antar serat dan daya tenunnya yang baik. Pada kelas mutu ini diprediksi akan menghasilkan lembaran kertas dengan kekuatan sobek, retak dan tarik yang sedang. Gambar 2 menunjukkan bahwa terjadi kerusakan pada serat alang-alang dan umumnya jarang ditemukan serat yang utuh/serat banyak yang terpotong. Kondisi pemasakan pulp juga dapat mempengaruhi tingkat kerusakan serat ini. Selain itu banyak serat yang belum terfibrilasi sempurna, masih berupa kumpulan serat (*fiber bundles*). Pada serat tunggal tampak bahwa serat pulp alang-alang termasuk kategori serat panjang. Hal ini sejalan dengan hasil pengukuran dimensi serat pada Tabel 1. Pengukuran dimensi serat diperlukan serat tunggal yang utuh, hal ini menyebabkan tidak bisa dilakukan pengukuran pada serat pulp. Selain itu terjadi penggumpalan serat pulp alang-alang terkait dengan penurunan hemiselulosa (Tabel 1) yang cukup besar sehingga rekristalisasi selulosa amorf mungkin terjadi.



Gambar 2. Gambar mikroskopik serat dari pulp alang-alang (perbesaran 50 x). Tanda panah orange menunjukkan sel parenkim, tanda panah kuning menunjukkan serat yang terpotong

Pengaruh Penambahan Pulp Alang Alang terhadap Kekuatan Lembaran Kertas Daur Ulang

Kekuatan tarik, kekuatan sobek, kekuatan retak, dan panjang kerusakan merupakan sifat mekanik lembaran kertas yang paling sering digunakan sebagai parameter dalam analisa kekuatan kertas. Kekuatan tarik pada kertas mengindikasikan proporsi kandungan selulosa pada kertas [11]. Seperti telah dinyatakan sebelumnya bahwa alang-alang memiliki daya tenun yang baik dan termasuk kelas mutu II yang menghasilkan kekuatan kertas yang sedang. Tabel 3 menunjukkan bahwa alang-alang menghasilkan kekuatan tarik yang cukup baik arah melintang serat (AM) yang lebih tinggi dibandingkan dengan arah sejajar serat (SM). Penurunan kekuatan tarik pada kertas campuran terjadi karena penurunan kekuatan ikatan pada serat tunggal dan kemampuannya untuk saling berikatan antar seratnya [38]. Jumlah ikatan dipengaruhi oleh fleksibilitas serat dan berpengaruh pada luas ikatan, sehingga serat yang fleksibel akan memiliki daerah permukaan untuk berikatan lebih luas [12]. Kasim et al. [20] melaporkan bahwa lembaran kertas alang-alang hasil pemasakan soda memiliki kekuatan tarik dan sobek yang tertinggi dibandingkan jenis serat non kayu lain. Kekuatan tarik pada penelitian ini sedikit lebih rendah dibandingkan Kassim et al. [20]. Perbedaan kondisi pemasakan, kandungan komponen kimia alang-alang dan dimensi serat berpengaruh terhadap hasil ini.

Lembaran kertas pulp alang-alang umumnya memiliki sifat mekanik yang lebih tinggi dibandingkan dengan lembaran kertas daur ulang berpenguat pulp alang-alang baik arah sejajar ataupun melintang serat. Hal ini

dapat dimengerti karena kertas daur ulang banyak mengandung serat pendek yang cenderung bersifat kurang baik terhadap sifat mekanik kertas. Oleh karena itu, pulp alang-alang dengan serat panjangnya berperan penting untuk meningkatkan kekuatan kertas daur ulang. Namun kertas daur ulang memiliki kekuatan retak yang lebih tinggi dibandingkan dengan kertas pulp alang-alang. Hal ini disebabkan kertas pulp alang-alang masih memiliki kandungan lignin di dalamnya yang menyebabkan kekakuan pada kertas [18]. Sebelumnya Kassim et al. [20] melaporkan bahwa kekuatan retak lembaran kertas pulp soda alang-alang lebih rendah dibandingkan dengan *canola straw* [39], namun lebih tinggi dari *vine shoot* [40] dan jerami padi [4]. Penurunan tebal dinding sel mengindikasikan penurunan kekuatan retak lembaran kertas [17]. Pemasakan soda panas terbuka telah menyebabkan degradasi cukup besar pada selulosa dan hemiselulosa (Tabel 1), sehingga mempengaruhi ikatan antar serat yang terbentuk pada lembaran kertas yang terbentuk. Penambahan serat daur ulang yang lebih utuh pada serat alang-alang berperan memperbaiki ikatan antar serat sehingga kekuatan retak kertas daur ulang lebih tinggi.

Tabel 3. Kekuatan lembaran kertas dari pulp alang-alang dan kertas daur ulang

Parameter	Satuan	Pulp alang-alang	Pulp alang-alang dan Kertas bekas	Menurut Kasim et al. [20]
Kekuatan tarik				
-AM	kN/m	3,41	1,18	45,1 Nm/g
-SM	kN/m	2,70	1,15	
Kekuatan sobek				
-AM	mN	800	362	2,17 mN.m ² /g
-SM	mN	898	386	
Kekuatan retak	kPa	82	138	3,9 kPa m ² /g
Kecerahan	%	66,31	57,69	
Panjang kerusakan				
-AM	m	2768	1859	
-SM	m	2190	2780	

Keterangan: AM : Arah melintang serat

SM : Arah sejajar serat

Interaksi pada serat pulp dan air merupakan interaksi kompetisi antara pembentukan ikatan hidrogen antara grup hidroksil pada polimer (sebagian besar selulosa) dan polimer dengan molekul air. Air mengalami penetrasi ke dalam serat dan memutuskan interaksi sekunder antar makromolekul selulosa dan teradsorpsi melalui ikatan hidrogen, yang menyebabkan pembesaran pada serat [30]. Degradasi hemiselulosa setelah pemasakan menyebabkan terbentuknya ukuran kristal dan luas penampangnya semakin meningkat yang mengakibatkan pembesaran pada serat menjadi terbatas karena serat menggumpal dan sukar dipisahkan sehingga daerah untuk kontak dengan air menjadi berkurang. Hal ini menyebabkan fleksibilitas kertas menurun dan

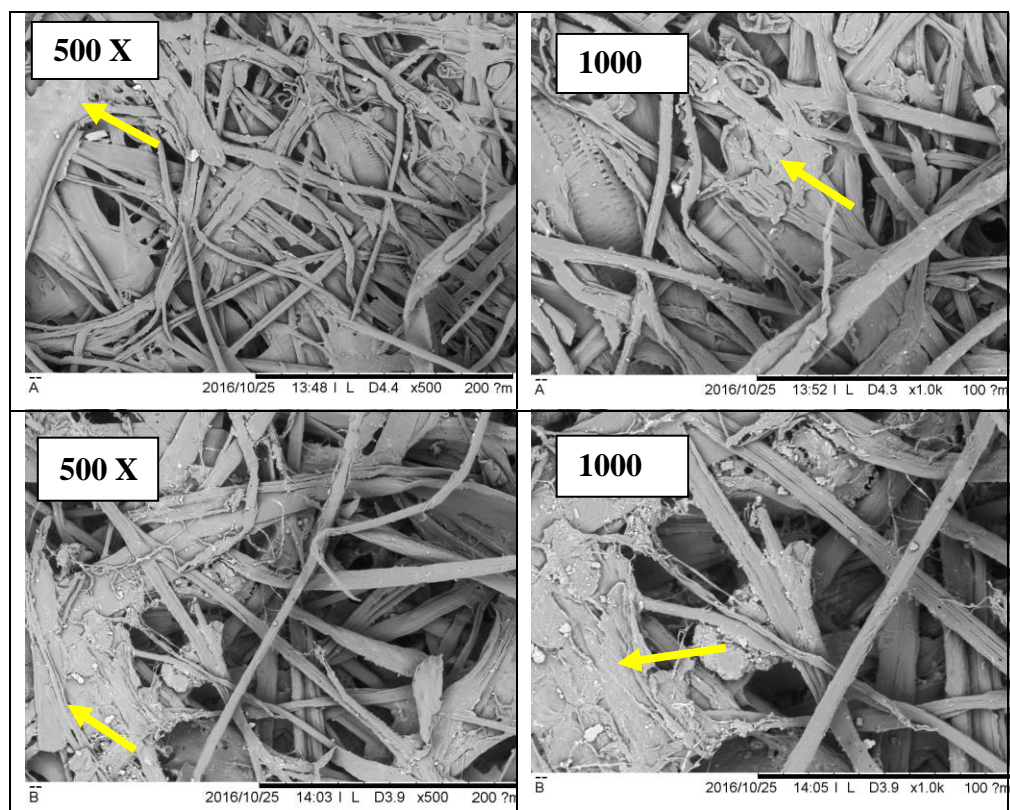
dapat menurunkan kekuatan tarik pada kertas yang dihasilkan. Sedangkan kekuatan sobek tidak hanya dipengaruhi oleh derajat ikatan tetapi juga dipengaruhi oleh panjang dan kekuatan serat [30].

Tingkat kecerahan pada kertas dari pulp alang-alang (66%) lebih tinggi jika dibandingkan dengan kertas dengan campuran kertas bekas (58%). Hal ini dikarenakan lembaran kertas alang-alang tidak mengalami proses pemutihan dan meskipun telah terjadi degradasi lignin yang cukup signifikan dibanding kadar lignin awal, namun masih ada lignin yang tertinggal dalam pulp alang-alang. Lignin ini berpengaruh terhadap kecerahan kertas alang-alang. Penggunaan kertas bekas tanpa proses penghilangan tinta terlebih dahulu pada kertas daur ulang juga menyebabkan penurunan tingkat kecerahan kertas daur ulang.

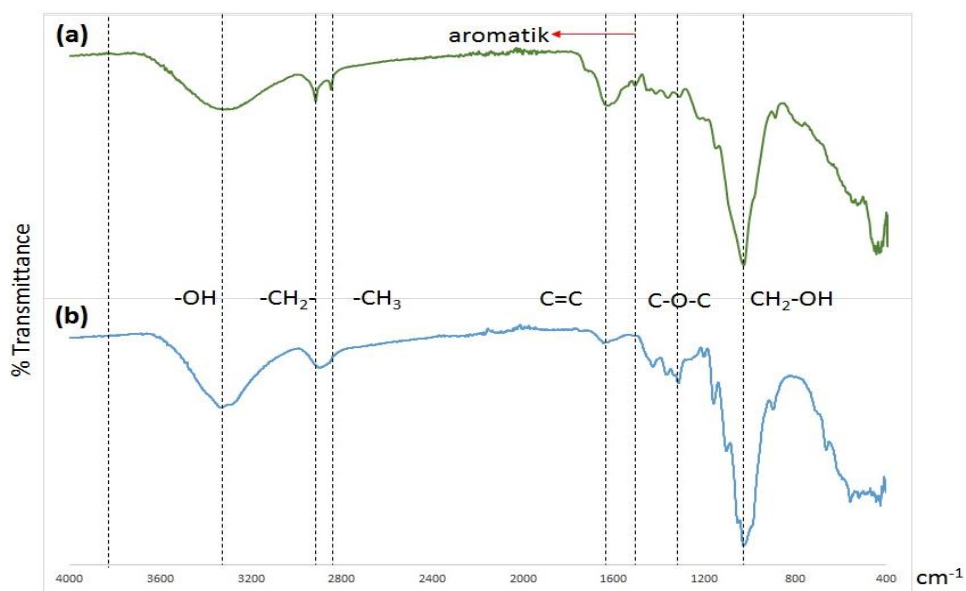
Analisa Morfologi Lembaran Pulp dan FTIR Alang-alang dan Pulp Alang-alang

Gambar 3 menunjukkan citra SEM dari lembaran kertas pulp alang-alang (a) dan kertas daur ulang berpenguat serat alang-alang (b) pada perbesaran 500x dan 1000x yang memperlihatkan struktur fisik serat yang menyusun lembaran kertas yang diproduksi. Pada Gambar 3a serat panjang yang utuh dari selulosa dan hemiselulosa mendominasi struktur dari kertas alang-alang dengan struktur yang lebih rapat. *Fiber bundles* juga tampak pada beberapa kelompok serat di permukaan lembaran kertas.

Struktur serat yang seragam, lurus dan utuh, lebih halus serta lebih rapat tampak pada lembaran kertas pulp soda alang-alang yang dilaporkan Kassim et al. [20] dibandingkan dengan Gambar SEM kertas alang alang pada penelitian ini. Perbedaan kondisi pemasakan berpengaruh terhadap perbedaan morfologi ini. Gambar 3b memperlihatkan bahwa terjadi penggumpalan serat (tanda panah kuning) yang lebih besar dan tampak nyata pada permukaan kertas daur ulang berpenguat pulp alang-alang. Penggumpalan ini kemungkinan dari pulp kertas bekas yang merupakan serat-serat pendek. Pada lembaran kertas daur ulang kehadiran serat panjang lebih sedikit dibandingkan dengan lembaran pulp alang-alang. Selain itu penggilingan dengan beater hollander terlihat belum sempurna antara serat kertas bekas dengan serat alang-alang. Hal ini diindikasikan dengan masih terpisahnya serat panjang dan serat pendek pada lembaran kertas daur ulang. Pada permukaan kertas daur ulang di bagian permukaan yang menggumpal tampak beberapa potongan material. Masih terkandungnya zat tambahan lain bersumber dari kertas bekas mungkin menyebabkan fenomena ini.



Gambar 3. (A) Citra SEM lembaran kertas pulp alang-alang, (B) lembaran kertas daur ulang berpenguat pulp alang-alang



Gambar 4. Spektrum FTIR : a) Serbuk Alang-alang dan b) Pulp Alang-alang

Analisa ATR-FTIR dilakukan untuk mengetahui adanya perubahan gugus fungsi yang terjadi pada bahan, dengan membandingkan spektrum serbuk alang-alang dengan spectrum pulp alang-alang. Identifikasi gugus fungsi menunjukkan adanya pergeseran puncak serapan, munculnya puncak serapan baru atau berubahnya intensitas serapan pada bilangan gelombang tertentu.

Spektrum FTIR serbuk alang-alang (Gambar 4a) menunjukkan adanya puncak serapan pada bilangan gelombang 3402-3233 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya gugus fungsi hidroksil (OH) dan puncak serapan pada bilangan gelombang 2917 cm^{-1} dan 2849 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus fungsi $-\text{CH}_3$ dan $-\text{CH}_2-$. Terjadi penurunan intensitas gugus fungsi O-H pada spektrum pulp alang-alang (Gambar 4b) yang salah satunya bersumber selulosa, hal ini mengindikasikan bahwa terjadinya ikatan hidrogen yang lebih kuat pulp alang alang. Selain itu muncul juga puncak serapan pada bilangan gelombang 1628 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus fungsi ikatan rangkap karbon C=C dan puncak serapan pada 1512 cm^{-1} yang berhubungan dengan gugus fungsi cincin benzene pada senyawa aromatik yang berasal dari lignin yang terkandung dalam serbuk alang-alang. Selain itu, terdapat juga puncak serapan pada bilangan gelombang 1316 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus fungsi C-O-C dan puncak serapan pada bilangan gelombang 1034 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya uluran C-O yang menunjukkan ikatan $\text{CH}_2\text{-OH}$.

Spektrum FTIR pulp alang-alang (Gambar 4b) menunjukkan adanya puncak serapan yang mirip dengan serbuk alang-alang, namun serapan pada bilangan gelombang 3402-3233 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya gugus fungsi hidroksil (OH) semakin tajam intensitasnya. Selain itu, puncak serapan pada bilangan gelombang 2849 cm^{-1} yang menunjukkan adanya uluran CH yang berasal ikatan O- CH_3 dan puncak serapan pada bilangan gelombang 1512 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus fungsi cincin benzene pada senyawa aromatik yang berasal dari lignin telah hilang. Hasil yang sama juga diperoleh pada penelitian yang dilakukan oleh Haque et al. [41], cincin aromatik dari lignin semakin mengalami penurunan intensitas melalui pra perlakuan NaOH pada konsentrasi 15 g/L hingga hampir menghilang pada konsentrasi 25 g/L. Perbedaan puncak serapan pada serbuk alang-alang dan pulp alang-alang tersebut diatas telah menunjukkan bahwa pulp alang-alang setelah proses pemasakan memiliki kandungan selulosa yang jauh lebih tinggi daripada serbuk alang-alang yang disebabkan menurunnya kandungan lignin (Tabel 1). Hal tersebut membuktikan bahwa proses pemasakan pulp alang-alang yang bertujuan untuk menghilangkan atau menurunkan kadar lignin dengan proses pemasakan telah berhasil dilakukan.

KESIMPULAN

Berdasarkan observasi karakteristik alang-alang secara menyeluruh terhadap komponen kimia, anatomi serat, analisis FTIR, analisis SEM pada lembaran kertas dan analisis kekuatan lembaran kertas, alang-alang berpotensi sebagai sumber bahan baku untuk industri pulp dan kertas. Alang-alang memiliki kadar α -selulosa dan hemiselulosa yang cukup tinggi, dua komponen tersebut berperan penting dalam pembentukan serat alang-alang dan kekuatan kertas yang dihasilkan. Analisis anatomi serat mengindikasikan bahwa alang-alang memiliki serat yang panjang sehingga jalinan ikatan antar seratnya kuat dan tidak mudah lepas. Hal ini akan memberikan kekuatan tarik lembaran kertas yang tinggi. Lembaran kertas pulp alang-alang memiliki sifat mekanik (kekuatan tarik dan kekuatan sobek) yang lebih tinggi dibandingkan dengan lembaran kertas daur ulang berpenguat pulp alang-alang karena kandungan serat pendek pada kertas daur ulang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh DIPA Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI tahun 2016 melalui program Biovillage dan program Insinas tahun 2018. Ucapan terimakasih kami sampaikan pada Pusat Penelitian Biomaterial LIPI atas dukungan fasilitas laboratorium serta kepada staf workshop Pusat Penelitian Biomaterial LIPI yang telah membantu dalam pengumpulan bahan pembuatan lembaran kertas. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Rika Raniya atas bantuan teknis dalam uji komponen kimia alang-alang dan pulp alang-alang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Endarwati O. Industri pulp dan kertas Indonesia diproyeksi tumbuh 4%. Sindonews.com 2017. <https://ekbis.sindonews.com/read/1175479/34/industri-pulp-dan-kertas-indonesia-diproyeksi-tumbuh-4-1485771658> diakses pada tanggal 24 Agustus 2017.
- [2]. Handoyo. Kemenperin kapasitas produksi kertas dan bubur kayu bakal naik di 2017. Berita Industri <http://www.kemenperin.go.id/artikel/8421/Kapasitas-Produksi-Kertas-dan-Bubur-Kayu-Bakal-Naik-di-2017>. diakses pada tanggal 24 Agustus 2017.
- [3]. TFT. Pulp & paper sourcing country profile : Indonesia. <http://www.tft-transparency.org/app/uploads/2016/02/Indonesia-Pulp-Paper-Country-profile.pdf>. diakses pada tanggal 24 Agustus 2017.

- [4]. Rodríguez A, Moral A, Serrano L, Labidi J, Jiménez L. Rice straw pulp obtained by using various methods. *Bioresour Technol* 2008;99(8):2881-6.
- [5]. Ververis C, Georghiou K, Christodoulakis N, Santas P, Santas R. Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production. *Ind Crops Prod* 2004;19(3):245-54.
- [6]. Zulfikar TM, Kumalaningsih S, Wijana S. Teknologi produksi pulp dari serat daun nenas (kajian variasi pelarut CaO, suhu dan waktu pemasakan). *J Penelitian Teknologi Industri Pertanian* 2008:1-21.
- [7]. Fatriasari W, Anita SH, Falah F, Adi DTN, Hermiati E. Biopulping bambu betung menggunakan kultur campuran jamur pelapuk putih (*Trametes Versicolor*, *Pleurotus Ostreatus* dan *Phanerochaete Crysosporium*). *J Selulosa* 2010;45(2):44-56.
- [8]. Fatriasari W, Ermawar RA, Falah F, Yanto DHY, Adi DTN, Anita SH, Hermiati E. Kraft and soda pulping of white rot pretreated betung bamboo. *J Tropical Wood Sci Technol* 2011;9(1):42-55.
- [9]. Fatriasari W, Ermawar RA, Falah F, Yanto DHY, Hermiati E. Pulping soda panas terbuka bambu betung dengan praperlakuan fungsi pelapuk putih (*Pleurotus ostreatus* dan *Trametes versicolor*). *J Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan* 2009;2(2):45-50.
- [10]. Falah F, Fatriasari W, Ermawar RA, Adi DTN, Hermiati E. Effect of corn steep liquor on bamboo biochemical pulping using *Phanerochaete chrysosporium*. *J Tropical Wood Sci Technol* 2011;9(2):111-2.
- [11]. Ramdhonee A, Jeetah P. Production of wrapping paper from banana fibres. *J Environ Chem Eng* 2017;5(5):4298-306.
- [12]. Ibrahim R. Structural, mechanical and optical properties of recycled paper blended with oil palm empty fruit bunch pulp. *J Oil Palm Res* 2003;15(2):28-34.
- [13]. Kaur D, Kant N, Kumar R. Prospects of rice straw as a raw material for paper making. *Waste Manage* 2017;60:127-39.
- [14]. Daud Z, Kassim M, Sari A, Aripin MA, Awang H, Hatta M, Zainuri M. Chemical composition and morphological of cocoa pod husks and cassava peels for pulp and paper production. *Aust J Basic Appl Sci* 2013;7(9):406-11.
- [15]. Madakadze IC, Masamvu TM, Radiotis T, Li J, Smith DL. Evaluation of pulp and paper making characteristics of elephant grass (*Pennisetum purpureum Schum*) and switchgrass (*Panicum virgatum L.*). *Afr J Environ Sci Technol* 2010;4:465-70.
- [16]. Sridach W. Pulping and paper properties of Palmyra palm fruit fibers. *Songklanakarin J Sci Technol* 2010;32(2):201-5.
- [17]. Tutus A, Comlekcioglu N, Karaman S, Alma MH. Chemical

- composition and fiber properties of *Crambe orientalis* and *C. tataria*. *Int J Agric Biol* 2010;12(2):286-90.
- [18]. Sutiya B, Wiwin TI, Adi R. Kandungan kimia dan sifat serat alang-alang (*Imperata cylindrica*) sebagai gambaran bahan baku pulp dan kertas. *Bioscientiae* 2012;9(1):8-19.
- [19]. Kassim ASM, Aripin AM, Hatta Z, Daud Z. Exploring non-wood plants as alternative pulps: from the physical and chemical perspectives. In *ICGSCE 2014 Singapore*: Springer; 2015:19-24.
- [20]. Kassim ASM, Aripin AM, Ishak N, Hairom NHH, Fauzi NA, Razali NF, Zainulabidin MH. Potential of cogon grass (*Imperata Cylindrica*) as an alternative fibre in paper-based industry. *ARNP J Eng Appl Sci* 2016;11(4):2681-6.
- [21]. Mussatto SI, Dragone G, Rocha GJ, Roberto IC. Optimum operating conditions for brewer's spent grain soda pulping. *Carbohydr Polym* 2006;64(1):22-8.
- [22]. L.E. Wise, M. Murphy, and A.A. D'Adieco. A chlorite holocellulose, its fractionation and bearing on summative wood analysis and studies on the hemicelluloses. *Paper Trade Journal*, 1946;122(2):35-43.
- [23]. Rowell RM. *Handbook of wood chemistry and wood composites*. Boca Raton: CRC press; 2012.
- [24]. Sari FP, Fatriasari W. Studi tekno-ekonomi dan analisa kelayakan produksi kertas seni dari kertas bekas di Cibinong Science Center-Botanical Garden (CSC-BG). Cibinong: Prosiding Seminar Lignoselulosa; 2016:52-62.
- [25]. Rulliaty S. Wood quality indicators as estimator of juvenile wood in Mahogany (*Swietenia macrophylla King*) from forest plantation in Sukabumi, West Java, Indonesia. *AGRIS*;1994.
- [26]. Lembaga Penelitian Hasil Hutan (LPHH). *Dimensi serat jenis kayu di Indonesia*. Bogor: Laporan LPHH 75; 1976.
- [27]. Rachman AN, Siagian RM. *Dimensi serat jenis kayu Indonesia (Fibre dimension of Indonesian wood species)*. Bogor: Lembaga Penelitian Hasil Hutan; 1979.
- [28]. Casey JP. *Pulp and paper: Chemistry and chemical technology*, vol. 1, 3rd Edition. Wiley; 1952.
- [29]. Shakhes J, Marandi MA, Zeinaly F, Saraian A, Saghafi T. Tobacco residuals as promising lignocellulosic materials for pulp and paper industry. *BioResources* 2011;6(4):4481-93.
- [30]. Wan J, Wang Y, Xiao Q. Effects of hemicellulose removal on cellulose fiber structure and recycling characteristics of eucalyptus pulp. *Bioresour Technol* 2010;101(12):4577-83.
- [31]. Yanti M, Indriyanto I, Duryat D. Pengaruh zat alelopati dari alang-alang terhadap pertumbuhan semai tiga spesies akasia. *J Sylva Lestari*

- 2016;4(2):27-38.
- [32]. Garrity GM, Bell JA, Lilburn TG. Taxonomic outline of the prokaryotes. Bergey's manual of systematic bacteriology. New York, Berlin, Heidelberg: Springer; 2004
- [33]. Indrawan DA, Efiyanti L, Tampubolon RM, Roliadi H. Pembuatan pulp untuk kertas bungkus dari bahan serat alternatif. J For Prod Res 2015;33(4):283-302.
- [34]. Haygreen JG, Bowyer JL. Forest products and wood science: An introduction. Forestry 1998;71(1):79-80.
- [35]. Uner B, Kombeci K, Akgul M. The utilization of tomato stalk in fiber production: NaOH and CaO pulping process. Wood Res 2016;61(6):927-36.
- [36]. Fatiasari W, Hermiati E. Analisis morfologi serat dan sifat fisis-kimia pada enam jenis bambu sebagai bahan baku pulp dan kertas. J Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan 2008;1(2):67-72.
- [37]. Utama MD. Pengaruh penambahan suhu maksimum pemasakan dalam pembuatan pulp soda antrakinson dari limbah kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.), Bogor: Skripsi Fakultas IPB; 1995.
- [38]. Wistara N, Young RA. Properties and treatments of pulps from recycled paper . Part I . Physical and chemical properties of pulps. Cellulose 1999;6(4):291-324.
- [39]. Enayati AA, Hamzeh Y, Mirshokraie SA, Molaii M. Papermaking potential of canola stalks. BioResources 2009;4(1):245-56.
- [40]. Jiménez L, Angulo V, Ramos E, De la Torre MJ, Ferrer JL. Comparison of various pulping processes for producing pulp from vine shoots. Ind Crops Prod 2006;23(2):122-30.
- [41]. Haque MA, Barman DN, Kim MK, Yun HD, Cho KM. Cogon grass (*Imperata cylindrica*), a potential biomass candidate for bioethanol: Cell wall structural changes enhancing hydrolysis in a mild alkali pretreatment regime. J Sci Food Agric 2016;96(5):1790-7.