



Dissolving Pulp dari Kayu dan Nonkayu: Tinjauan Proses Pembuatan dan Karakteristiknya

Reynaldo Biantoro^{1*}, Krisna Septiningrum², Teddy Kardiansyah¹

¹Balai Besar Pulp dan Kertas, Jl. Raya Dayeuhkolot No. 132, Bandung, Indonesia

²Balai Besar Industri Agro, Jl. Ir. H. Juanda No. 11, Bogor, Indonesia

Diterima : 15 April 2020, Revisi akhir : 10 Juni 2020, Disetujui terbit : 30 Juni 2020

Dissolving Pulp from Wood and Nonwood: Review of The Manufacturing Process and Its Characteristics

Abstract

Commercially, about 85-88% of dissolving pulp production is obtained through the conventional prehydrolysis kraft (PHK) process or sulfite process, complementing other well-known methods such as the bisulfite method and the sulfite-soda method. Currently, the production of dissolving pulp is directed at utilizing abundant nonwood raw materials using environmentally friendly methods. This manuscript discusses the sources of wood and non-wood raw materials, as well as conventional and alternative methods of making dissolving pulp. The process of making dissolving pulp from wood uses a pre-hydrolysis kraft process, while nonwood can use a pre-hydrolysis kraft process or a pre-hydrolysis soda process. The general pre-hydrolysis process can use water or dilute acid. Dissolving pulp from bagasse, banana stalks, bamboo and jute has alpha cellulose content above 90%, so it can be considered as an alternative raw material besides wood. An alternative method of making dissolving pulp that can be developed is the conversion of paper pulp to dissolving pulp.

Keywords: dissolving pulp, prehydrolysis kraft, enzyme, paper-grade pulp conversion

Abstrak

Secara komersial, sekitar 85-88% produksi dissolving pulp diperoleh melalui proses konvensional prahidrolisis kraft (PHK) ataupun proses asam sulfit, melengkapi metode lainnya yang telah dikenal seperti metode bisulfit dan metode sulfit-soda. Saat ini pembuatan dissolving pulp diarahkan untuk memanfaatkan bahan baku nonkayu yang cukup melimpah dengan menggunakan metode ramah lingkungan. Makalah ini membahas mengenai sumber bahan baku kayu dan nonkayu, serta metode pembuatan *dissolving pulp* secara konvensional maupun metode alternatif. Proses pembuatan *dissolving pulp* dari kayu menggunakan proses prahidrolisis kraft, sedangkan dari nonkayu dapat menggunakan proses prahidrolisis kraft atau proses prahidrolisis soda. Proses prahidrolisis secara umum dapat menggunakan air atau asam encer. *Dissolving pulp* dari bagas, batang pisang, bambu dan jute memiliki kandungan selulosa alfa di atas 90%, sehingga dapat dipertimbangkan sebagai bahan baku alternatif selain kayu. Metode alternatif pembuatan *dissolving pulp* yang dapat dikembangkan yaitu konversi pulp kertas menjadi *dissolving pulp*.

Kata kunci: *dissolving pulp*, prahidrolisis kraft, enzim, konversi pulp kertas

Pendahuluan

Pasar *dissolving pulp* dalam sepuluh tahun terakhir mengalami peningkatan signifikan, diantaranya didorong oleh permintaan yang besar terhadap serat selulosa untuk tekstil (Jarriault *et al.*, 2014). Pertumbuhan ekonomi dan populasi adalah faktor utama pendorong tingginya kebutuhan terhadap produk tekstil. Kebutuhan serat tekstil diproyeksikan akan meningkat dari 72,5 juta ton pada tahun 2010 menjadi 133,5 juta ton pada tahun 2030 (Hämmerle, 2011). Penurunan produksi kapas, keterbatasan sumber daya fosil, isu-isu lingkungan, diperolehnya karakteristik serat selulosa yang lebih baik dari serat sintetik (seperti poliester dan poliamida), telah semakin mendorong perkembangan pembuatan serat selulosa teregenerasi (misalnya viskosa dan *lyocell*) dari sumber daya hutan (kayu maupun nonkayu) yang dapat diperbaharui (Sixta *et al.*, 2013). Peningkatan permintaan serat selulosa murni juga terjadi pada industri lainnya, seperti bidang medis dan kesehatan, aditif, dan plastik, dengan demikian kebutuhan *dissolving pulp* sebagai bahan baku juga ikut meningkat (Li, Sevastyanova and Ek, 2012; Jarriault *et al.*, 2014). *Dissolving pulp* sebagai bahan baku industri derivat selulosa harus memiliki sifat khusus yaitu derajat cerah yang tinggi, derajat polimerisasi rendah dan distribusi berat molekul yang seragam (Hon and Shiraiishi, 2001), memiliki kandungan selulosa yang tinggi (90-99%), kandungan hemiselulosa yang rendah (2-4%), serta sedikit residu lignin, ekstraktif dan mineral, hal yang berbeda dengan pulp untuk kertas (Sixta, 2006), serta memiliki reaktivitas yang baik terhadap bahan kimia tertentu, misalnya karbon disulfida (Miao *et al.*, 2014).

Dissolving pulp merupakan produk penting yang dapat diperoleh dari kayu maupun nonkayu. Industri *dissolving pulp* umumnya menggunakan bahan baku kayu atau *cotton linter* (Dien *et al.*, 2015). Namun demikian, tumbuhan nonkayu seperti residu pertanian, bagas, bambu dan lainnya merupakan sumber serat selulosa yang murah dan telah banyak menarik perhatian peneliti untuk digunakan sebagai bahan baku komposit, tekstil, pulp dan kertas (Wang and Chen, 2013; Reddy and Yang, 2005). Serat nonkayu memiliki sifat dan struktur morfologi yang hampir sama dengan kayu. Kelebihan nonkayu yaitu membutuhkan pengairan dan pemupukan sedang, siklus pertumbuhan tanaman yang pendek, dan kandungan lignin yang

rendah sehingga mengurangi konsumsi energi dan bahan kimia selama pembuatan pulp. Selanjutnya, penggunaan nonkayu sebagai bahan baku bisa menghemat bahan baku kayu untuk keperluan lain dan mencegah deforestasi besar-besaran (Behin and Zeyghami, 2009; Rodriguez *et al.*, 2008; Ververis *et al.*, 2004).

Pulp dengan tingkat kemurnian tinggi dicapai melalui penghilangan hemiselulosa karena keberadaan hemiselulosa akan mengurangi kemampuan proses optimal selulosa, misalnya saat proses xanthasi dalam pembuatan viskosa rayon, menyebabkan filterabilitas yang buruk, dan pada produk akhir akan memiliki kekuatan yang rendah (Christov and Prior, 1993; Köpcke, 2010; Duan, Li, *et al.*, 2015; J. Li *et al.* 2015). Proses pemurnian selulosa ini menyebabkan *yield* produksi *dissolving pulp* relatif lebih rendah dibandingkan dengan produksi pulp biasa, sehingga proses produksi *dissolving pulp* memerlukan biaya yang lebih tinggi (Sixta, 2006), dimana komponen utama biaya produksi tersebut mencakup modal, bahan kimia, tingkat produksi, serta penyimpanan (Köpcke, 2010). Saat ini dampak lingkungan yang terkait proses pembuatan *dissolving pulp* konvensional (*kraft* dan sulfit) juga ikut menjadi perhatian (Vila, Santos and Parajo, 2004).

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan metode alternatif pembuatan *dissolving pulp* dengan proses yang lebih ramah lingkungan dan relatif hemat biaya. Upaya pemurnian pulp kertas yang murah menjadi *dissolving pulp* yang bernilai tinggi, menjadi salah satu metode alternatif yang telah cukup banyak dilaporkan (Puls, Janson and Saake, 2006; Janson *et al.*, 2008; Köpcke, Ibarra and Ek, 2008; Ibarra, Köpcke and Ek, 2009; Froschauer *et al.*, 2013; Kaur, Bhardwaj and Sharma, 2016). Tantangan utama konversi pulp kertas terletak pada penghilangan hemiselulosa didalam pulp kertas (Sixta, 2006). Produk akhir dari pulp ini adalah selulosa eter (karboksimetil selulosa), selofan, rayon, selulosa ester (asetat dan nitrat) dan derivat selulosa lainnya (Christov, Akhtar and Prior, 1998). Makalah ini akan memaparkan beberapa aspek penting terkait *dissolving pulp* yaitu bahan baku, proses pembuatan, dan karakteristik kunci. Bahan baku yang dibahas meliputi kayu sebagai pembanding dan beberapa jenis nonkayu seperti jute, bagas, kenaf, jerami padi dan bambu. Selain proses sulfit dan kraft dengan prahidrolisis, disinggung juga proses soda dan enzim, konversi dari pulp kertas.

Tabel 1. Komposisi Kimia Beberapa Jenis Nonkayu dan Kayu

Sifat	Bagas ¹	Jerami padi ²	Batang pisang ³	Bambu hijau ⁴	Bambu duri ⁵	Bambu mayan ⁶	Bambu sembilang ⁶	Kenaf ⁷	<i>Acacia mangium</i> ⁸	<i>Acacia crassicarpa</i> ⁹	<i>Eucalyptus urograndis</i> ¹⁰
Lignin Klason (<i>Klason lignin, %</i>)	21,3	16,3	12,1	23,1	23,20-24,32	23,86	23,85	10,16-16,88	27,65	26,95-27,31	26,30
Selulosa (<i>Cellulose, %</i>)	-	34,7	-	49,6	49,44-58,24	44,36	46,88	39,46-45,56	41,48	43,33-48,62	-
Pentosan (<i>Pentosan, %</i>)	-	19,8	-	17,5	13,91-20,90	18,37	21,61	16,92-22,65	18,37	17,39-18,88	-
Glukan (<i>Glucan, %</i>)	41,6	-	39,4	-	-	-	-	-	-	-	46,50
Xilan (<i>Xylan, %</i>)	18,9	-	19,5	-	-	-	-	-	-	-	10,50
Galaktan (<i>Galactan, %</i>)	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,90
Mannan (<i>Mannan, %</i>)	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,60
Arabinan (<i>Arabinan, %</i>)	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20
Abu (<i>Ash, %</i>)	4,0	11,2	18,3	1,8	2,59-4,52	1,66	3,70	3,50-4,59	0,83	0,55-0,64	0,02
Silika (<i>Silica, %</i>)	2,7	-	-	-	0,51-1,14	-	-	-	-	-	0,04
Ekstraktif (<i>Extractive, %</i>)	8,5	-	3,7	-	3,10-4,80	8,38	4,51	2,00-2,47	-	1,84-2,08	2,90

Keterangan : 1. Andrade and Colodette (2014); 2. Dien *et al.* (2015); 3. Das, Nakagawa-Izumi and Ohi (2016); 4. Luo *et al.* (2014); 5. Purwita and Sugesty (2017); 6. Sugesty, Kardiansyah and Hardiani (2015); 7. Sugesty and Setiawan (2013); 8. Sugesty and Setiawan (2012); 9. Sugesty, Kardiansyah and Pratiwi (2015); 10. Martino *et al.* (2017).

Bahan Baku

Pemilihan sumber kayu sebagai bahan baku untuk pulp didasarkan pada komposisi kimia yang dimilikinya. Kayu daun jarum dan kayu daun lebar mengandung selulosa sebesar 40-44% (Desch and Dinwoodie, 1996). Beberapa tanaman pertanian memiliki kandungan selulosa yang sama atau bahkan melebihi kandungan selulosa dalam kayu. Pelepeh kelapa sawit mengandung 49,8% selulosa alfa, sedangkan kenaf, rumput ilalang, dan kapas mengandung selulosa lebih dari 40% (Ververis *et al.*, 2004). Beberapa komposisi kimia dari tanaman nonkayu disajikan pada Tabel 1.

Kandungan selulosa dari jerami paling rendah dibandingkan dengan batang pisang, bagas dan bambu, namun demikian keempat jenis bahan baku nonkayu tersebut telah dicoba potensinya sebagai bahan baku *dissolving pulp*. Kandungan selulosa dari bagas dan bambu di atas 40% mendekati kadar selulosa dalam kayu. Kandungan hemiselulosa keempat jenis bahan baku nonkayu hampir sama yaitu sekitar 19%. Kandungan abu batang pisang dan jerami padi cukup tinggi dibandingkan dengan bambu, bagas dan kayu Eucalyptus. Kadar ekstraktif bagas cukup tinggi dibandingkan dengan bambu dan batang pisang. Kadar abu dan ekstraktif yang tinggi akan

berpengaruh pada proses produksi termasuk pada proses pemasakan, pemutihan dan pengolahan lindi hasil pemasakan (Cao *et al.*, 2014; Ek, Gellerstedt and Henriksson, 2009). Kayu dengan kadar ekstraktif yang rendah lebih disukai karena ekstraktif kayu akan mempengaruhi produk pulp dan meningkatkan kebutuhan bahan kimia pemasak untuk menghilangkan ekstraktif tersebut (Istikowati *et al.*, 2016).

Keberadaan senyawa anorganik dalam *dissolving pulp* dapat mengganggu proses *filterability* dan menyebabkan penyumbatan pada unit pemintal serat rayon, sehingga kadar anorganik diusahakan agar serendah mungkin (Sixta, 2006). Ekstraktif menyebabkan masalah dalam proses pembuatan rayon viskosa seperti pengendapan viskosa, penyumbatan pada pemintal dan penguningan pada benang. Sehingga, diharapkan kandungannya sangat rendah di dalam *dissolving pulp* (Duan, Long, *et al.*, 2015).

Proses Pembuatan *Dissolving Pulp*

Xilan merupakan komponen utama hemiselulosa pada *hardwood*, sekitar 30% dinding sel tumbuhan terdiri dari xilan (Awano, Takabe and Fujita, 2001). Sedangkan pada *softwood*,

komponen utama hemiselulosa didominasi oleh *galactoglucomannan* (15–20%) dan xilan terkandung sekitar 7–10%. Baik *softwood* dan *hardwood* mengandung sejumlah kecil komponen hemiselulosa lainnya seperti *galaktan* dan *arabinans* (Schaechter, 2009). Penghilangan komponen hemiselulosa ini dapat dilakukan melalui beberapa cara. Secara komersial, sekitar 85-88% produksi *dissolving pulp* saat ini diperoleh melalui proses prahidrolisis *kraft* (PHK) ataupun proses asam sulfit yang diikuti dengan tahap pemutihan dan pemurnian (Sixta, 2006; Gehmayr, Potthast and Sixta, 2012; Jarriault *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2015). Pada awalnya proses asam sulfit merupakan metode yang paling banyak digunakan, sekitar 65% produksi dunia menggunakan proses ini dengan 25% sisanya menggunakan proses PHK (Sixta, 2006). Pada akhir tahun 2014 proses PHK menyumbang 56% produksi *dissolving pulp* dunia, sementara proses asam sulfit menyumbang 42% (Chen *et al.*, 2016). Metode terbaru pembuatan *dissolving pulp* adalah konversi dari pulp kertas menjadi *dissolving pulp* menggunakan bahan kimia atau enzim, ataupun kombinasi dari penggunaan bahan kimia dengan enzim.

A. Metode Konvensional

1. Proses Bisulfit

Dissolving pulp dibuat melalui proses *pulping* menggunakan sulfur dioksida (Woodings, 2001). Larutan pemasak dibuat dari pembakaran sulfur untuk menghasilkan gas SO_2 yang diserap dalam larutan basa kationik (umumnya basa kation yang digunakan adalah kalsium, magnesium, sodium dan amonia) (Saka and Matsumura, 2004). Serpihan kayu kemudian dimasak dalam larutan pemasak yang mengandung asam sulfur (H_2SO_3) dan alkalin. Sulfonasi dimulai saat suhu di atas 110 °C. Proses ini dijalankan pada temperatur 160-180 °C dengan lama waktu pemasakan 0,25-3 jam dengan *yield* akhir 55-75% (Biermann, 1996). Referensi lain menyatakan kondisi pemasakan proses ini adalah pada suhu antara 130 dan 150 °C dengan tekanan berkisar 75 dan 125 psi selama 4 hingga 8 jam (Saka and Matsumura, 2004). Namun umumnya suhu yang digunakan 140-160 °C tergantung pada keasaman larutan pemasak, saat pH asam memerlukan suhu yang lebih rendah, sedangkan pH tinggi dapat menggunakan suhu yang lebih tinggi (Woodings, 2001). Kelemahan utama

dari proses pembuatan pulp asam sulfit adalah distribusi berat molekul (MWD) yang agak luas dari pulp yang dihasilkan, biaya investasi cukup tinggi, dan viskositas rendah (Sixta *et al.*, 2004).

2. Proses Sulfit-Soda

Proses ini biasanya menggunakan dua tahap sulfit-soda (*Sivola*) atau tiga tahap bisulfit-sulfit-soda (*Rauma*). Tujuan tahap sulfit adalah untuk meningkatkan proses delignifikasi, sedangkan tahap soda adalah untuk mengontrol tingkat kandungan selulosa alfa dan viskositas. Proses ini dilakukan pada pH 5-10, dengan suhu 145-180 °C dan waktu 1-4 jam. Kandungan selulosa alfa yang diperoleh dari proses bisulfit-sulfit-soda mencapai hingga 96% (*Rauma*) dan 95% untuk proses sulfit soda (*Sivola*) dengan kondisi suhu pemasakan 170 °C pada pH 8 (Sixta, 2006). Sekarang, proses ini sudah tidak digunakan lagi (Woodings, 2001).

3. Proses Prahidrolisis *Kraft* (PHK)

Tahapan hidrolisis dalam proses pembuatan *dissolving pulp* dapat berlangsung melalui fase cair ataupun gas. Ekstraksi dengan fase cair dilakukan menggunakan air panas pada suhu tinggi (140-170 °C) (Fatehi and Ni, 2011), sedangkan hidrolisis uap menggunakan penguapan langsung pada suhu antara 160 dan 170 °C selama 1-3 jam. Prahidrolisis dapat dilakukan juga dengan menggunakan asam sulfat 1 N dengan perbandingan padatan dan cair adalah 1: 5 (w/v) pada suhu 160 °C selama 145 menit (Purwita and Sugesty, 2018). Referensi lain menyatakan bahwa hidrolisis bisa dilakukan menggunakan air pada suhu 160–180 °C, atau asam encer (0,3–0,5% H_2SO_4 pada suhu 120–140 °C), maupun asam pekat (20–30% HCl pada suhu 40 °C) (Sixta, 2006). Pulp yang telah terhidrolisis kemudian dimasak dengan natrium hidroksida dan natrium sulfida ($\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$) (Saka and Matsumura, 2004).

Bahan utama yang aktif dalam proses PHK adalah anion hidroksida dan hidrosulfida, ion hidrosulfida berperan mempercepat delignifikasi dalam proses *pulping* dan mengubah soda pemasak non-selektif menjadi proses delignifikasi yang selektif (Sixta, 2006). Penghilangan hemiselulosa umumnya terjadi pasca ekstraksi oleh alkali (Gehmayr, Schild and Sixta, 2011). Pada tahap prahidrolisis, beberapa senyawa organik seperti

Tabel 2. Proses Pembuatan *Dissolving Pulp* Beberapa Jenis Nonkayu dan Kayu

Parameter proses	Bagas ¹	Jerami padi ²	Batang pisang ³	Bambu hijau ⁴	Bambu duri ⁵	Bambu mayan ⁶	Bambu sembilang ⁶	Kenaf ⁷	Jute ⁸ (Jute)	<i>Acacia mangium</i> ⁹	<i>Acacia crassicaarpa</i> ¹⁰	<i>Eucalyptus urograndis</i> ¹¹
Prahidrolisis (<i>Prehydrolysis</i>)	Air	Asam encer	Air	Air	Asam encer	Asam encer	Asam encer	Air, Asam encer	Air	Air, Asam encer	Asam encer	Air
Suhu (<i>Temperature, °C</i>)	180	70-120	150	150-180	160	-	-	135	150-170	165	-	-
Waktu tuju (<i>Time to, minutes</i>)	60	-	-	-	55	-	-	-	35	-	-	-
Waktu pada (<i>Time at, minutes</i>)	15	20-60	90	30-120	90	-	-	120	60-120	120	-	46,50
Rasio cairan:kayu (<i>Liquid:wood Ratio</i>)	8:1	10:1	7:1	3:1	5:1	-	-	5:1	5:1	4:1	-	10,50
Proses pemasakan (<i>Pulping process</i>)	<i>Soda</i>	<i>Kraft</i>	<i>Kraft, Soda, AS</i>	<i>Kraft</i>	<i>Kraft</i>	<i>Kraft</i>	<i>Kraft</i>	<i>Kraft</i>	<i>Kraft</i>	<i>Kraft</i>	<i>Kraft</i>	<i>Or-gano-solv</i>
Suhu (<i>Temperature, °C</i>)	180	80-120	150	170	160	165	165	160	170	165	165	170 162
Waktu tuju (<i>Time to, minutes</i>)	60	-	-	60	90	-	-	-	-	90	120	50 60
Waktu pada (<i>Time at, minutes</i>)	20	80-120	30-90	-	120	-	-	180	120	120	90	60 15
Rasio lindi:kayu (<i>liquor:wood ratio</i>)	8:1	10:1	7:1	3:1	-	5:1	5:1	5:1	5:1	4:1	4:1	7:1 4:1
Dosis alkali (<i>Alkali dosage, %</i>)	12,5; 15	10-30	20; 25*	21-23	16	20-22	20-22	16	14-18	18	20-22	- 25
Sulfiditas (<i>Sulfidity, %</i>)	-	25	25;30	26	30	30-32	30-32	28	27	32	30	- 25
Rasio etanol:air (<i>Ethanol:water ratio</i>)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	65:35 -
Asam sulfat (<i>Sulphuric acid, %</i>)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5 -
Proses pemutihan (<i>Bleaching process</i>)	ECF	ECF	ECF	ECF	ECF	ECF	ECF	ECF	ECF	ECF	ECF	ECF
Rangkaian (<i>Sequences</i>)	O-D ₀ - (Ep)- D ₁ -P	D ₀ - (Eop)-D ₁	D ₀ - D ₁ - D ₂ -D ₃ - Ep	D ₀ - E-D ₁	D ₀ -E- D ₁ -D ₂ ; D ₀ -Ep- D ₁ -D ₂	O-D ₀ - Eo- D ₁ -D ₂ ; X-O-D ₀ - Eo-D ₁	O-D ₀ - Eo- D ₁ -D ₂ ; X-O-D ₀ - Eo-D ₁	X-O-D ₀ - Eo-D ₁ -D ₂	D ₀ -Ep- D ₁ -Ep-D ₂	X-O-D ₀ - Eo- D ₁ -D ₂	O-D ₀ -E- D ₁ -E-D ₂ ; X-D ₀ -E- D ₁ -E-D ₂	O-D ₀ -(EH)- D ₁ -P

Keterangan: AS (Alkali sulfit), *(NaOH:Na₂SO₃=70:30; Anthraquinon 0,1%), ECF (Elemental-Chlorine Free), O=Oksigen, D=Klorin dioksida, Ep=Ekstraksi alkali dengan Hidrogen Peroksida, Eop= Ekstraksi alkali dengan Oksigen dan Hidrogen Peroksida, E= Ekstraksi alkali, EH= Ekstraksi alkali dengan Hipoklorit. 1. Andrade and Colodette (2014); 2. Dien *et al.* (2015); 3. Das, Nakagawa-Izumi and Ohi (2016); 4. Luo *et al.* (2014); 5. (Purwita and Sugesty, 2017); 6. Sugesty, Kardiansyah and Hardiani (2015); 7. Sugesty and Setiawan (2013); 8. Matin *et al.* (2015); 9. Sugesty and Setiawan (2012); 10. Sugesty, Kardiansyah and Pratiwi (2015); 11. Martino *et al.* (2017).

lignin, furfural dan asam asetat, terlarut atau membentuk tambahan pada hemiselulosa yang terlarut (Liu, Fatehi and Ni, 2011). Saat hidrolisis, gugus asetil dan formil dari kayu membentuk asam asetat dan asam format, menyebabkan pH menjadi 3,5 didalam kayu. Komponen kayu mulai terdepolimerisasi seiring dimulainya hidrolisis asam sehingga mengurangi massa kayu sebesar 5-20%, dimana pengurangannya tergantung pada lama waktu proses hidrolisis serta suhu. Jika proses hidrolisis berlangsung dalam waktu yang lebih lama akan mempengaruhi selulosa, sehingga menghasilkan *yield* selulosa yang rendah dan lebih banyak lignin terkondensasi (Woodings, 2001). Jahan *et al.* (2008) melakukan modifikasi proses PHK dengan menambahkan *soda-ethylene-diamine* (EDA) dalam larutan pemasak sehingga diperoleh *dissolving pulp* dari *Trema orientalis* dengan tingkat kemurnian tinggi. EDA mampu secara selektif memisahkan lignin dan hemiselulosa dengan mempertahankan selulosa alfa.

Karakteristik pulp dari proses PHK memiliki kandungan selulosa alfa yang lebih tinggi, nilai S_{10}/S_{18} yang lebih rendah, dan distribusi berat molekul (MWD) yang lebih sempit dibandingkan dengan pulp dari proses asam sulfit (Duan, Li, *et al.*, 2015). Metode PHK dapat diaplikasikan pada lebih banyak jenis kayu dibandingkan proses sulfit, sehingga metode PHK dapat digunakan secara luas (Saka and Matsumura, 2004). Namun proses prahidrolisis *kraft* juga memiliki kelemahan yang penting, yaitu adanya pembentukan intermediet yang sangat reaktif dalam prahidrolisat yang dihasilkan, dan ketika terjadi kondensasi akan membentuk endapan yang lengket saat drainase (Gehmayr, Schild and Sixta, 2011). Metode PHK juga memiliki potensi kerugian karena *losses* selulosa yang cukup besar (15–30%) disebabkan reaksi pengelupasan yang terjadi (Froschauer *et al.*, 2013).

Proses pemasakan yang digunakan dalam pembuatan *dissolving pulp* nonkayu pada Tabel 2 umumnya menggunakan proses kraft, namun demikian ada juga yang menggunakan proses soda. Proses pemutihan pada seluruh pembuatan *dissolving pulp* baik nonkayu maupun kayu menggunakan proses ECF (*Elemental-Chlorine Free*). Proses pemutihan ECF merupakan proses pemutihan bebas senyawa klorin elementer (Cl_2), tetapi masih menggunakan senyawa klorin dalam bentuk klorin dioksida (ClO_2). Tujuan utama dari proses pemutihan adalah untuk mengoksidasi

lignin secara selektif dan meminimalisasi oksidasi selulosa. Pemutihan dapat mereduksi bilangan kappa, tanpa menurunkan derajat polimerisasi pulp secara drastis (Behin and Zeyghami, 2009).

B. Metode Konversi dari Pulp Kertas

Sebagai alternatif telah dipelajari potensi pulp kertas yang relatif lebih murah untuk dikonversi menjadi *dissolving pulp* melalui reduksi hemiselulosa, relatif hemat biaya, dan ramah bagi industri (Ibarra *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2012). Pulp kertas memiliki reaktivitas yang rendah dan kandungan hemiselulosa yang tinggi sehingga tidak dapat digunakan langsung sebagai bahan baku produk derivat selulosa. Hal utama yang perlu dilakukan adalah pengurangan hemiselulosa ke tingkat yang dapat diterima sebelum meningkatkan reaktivitasnya (Kaur, Bhardwaj and Sharma, 2016). Hal lain yang perlu diperhatikan adalah meningkatkan aksesibilitas selulosa dan mengendalikan derajat polimerisasi (DP) (Gehmayr and Sixta, 2011; Li *et al.*, 2012). Ada beberapa metode untuk mengubah pulp kertas menjadi *dissolving pulp* seperti : proses ekstraksi kaustik, ekstraksi *organosolv*, ekstraksi cairan ionik, kombinasi penggunaan enzim (xilanase, endoglukanase) dan juga pra-perlakuan secara mekanis

1. Metode Konversi Konvensional

a. Ekstraksi Kaustik

Pulp kertas dapat dikonversi menjadi *dissolving pulp* melalui ekstraksi kaustik, dengan cara menghilangkan karbohidrat rantai pendek yang bertahan selama proses pembuatan pulp. Pemurnian dengan metode alkali ini dapat dilakukan dengan dua cara yaitu proses dingin/*Cold Caustic Extraction* (CCE) dijalankan pada suhu 20-40 °C dengan konsentrasi natrium hidroksida tinggi (1,2–3,0 mol/L), atau ekstraksi kaustik panas/*Hot Caustic Extraction* (HCE) yang dijalankan pada suhu 70 °C dan 130 °C dengan konsentrasi natrium hidroksida rendah (0,1–0,4 mol/L) (Sixta, 2006). Hasil *yield* yang diperoleh dari proses HCE kurang menguntungkan karena proses ini memerlukan energi yang sangat besar, serta HCE juga kurang selektif (Schild and Sixta, 2011). Hal ini diperkuat dengan penelitian (Jarriault *et al.*, 2014) bahwa *yield* dari *dissolving pulp* yang diperoleh dari proses HCE + asam panas adalah

Tabel 3. Referensi Proses Pembuatan *Dissolving Pulp* Konversi dari Pulp Kertas

Bahan Baku	Metode	Bahan Kimia	α -selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Yield (%)	Reaktivitas	Viskositas	Referensi
<i>E. urograndis</i> pulp kraft	IONCELL	1-ethyl-3-methylimidazolium dimethylphosphate	-	2,2	97,7	-	-	Roselli <i>et al.</i> (2014)
	Enzim+ IONCELL	Endoxylanase (Pulpzyme) + EMIM DMP	-	1,7	92,3	-	-	
	CCE	NaOH	-	3,9	79,5	-	-	
Birch pulp kraft	IONCELL + CCE	1-ethyl-3-methylimidazolium acetate (EMIM OAc)	96,9	3,1	-	-	-	Froschauer <i>et al.</i> (2013)
	IONCELL	NMMO	88,6	11,4	-	-	-	
<i>Softwood</i> pulp kraft	IONCELL	1-ethyl-3-methylimidazolium acetate	96,7	1	83	-	880 mL g ⁻¹	Laine <i>et al.</i> (2016)
<i>Eucalyptus globulus</i> pulp kraft	CCE+ oksidasi TEMPO	NaOH, 2,2,6,6-tetramethylpiperidin	94,8	4,7	-	-	450 mL g ⁻¹	Gehmayr, Potthast and Sixta (2012)
<i>Softwood</i> pulp kraft	CCE	NaOH	93,7	1,6	90	-	-	Jarriault <i>et al.</i> (2014)
	Asam panas + HCE (Hot Caustic Extraction)	NaOH	-	2,9	74	-	-	
<i>Softwood</i> pulp sulfit	CCE	NaOH	-	7,8	96,5	39,5%	-	Li <i>et al.</i> (2015)
	Mekanis+ CCE	NaOH	-	4,8	94,3	43,8%	-	
<i>E. globulus</i> pulp kraft	Enzim + CCE	Xylanase Endoglucanase (Novozyme 476) NaOH	95,9	4,7	-	26,8%	420 mL g ⁻¹	Gehmayr and Sixta (2011)
Eucalyptus	Organosolv	Milox	-	1,4	-	FV 232	245 mL g ⁻¹	Sixta <i>et al.</i> (2004)
		Acetosolv	-	3,7	-	FV 52	245 mL g ⁻¹	
		Formacell	-	2,5	-	FV 385	232 mL g ⁻¹	
Beech pulp	Organosolv	Acetosolv	-	4,5	-	-	604 cm ³ g ⁻¹	Vila, Santos and Parajo (2004)
Birch pulp kraft	Kompleks logam	Nitren	96	3,3	-	-	890 mL g ⁻¹	Janzon, Puls and Saake (2006)
<i>Eucalyptus</i> pulp kraft	Kompleks logam + alkali	Nitren	97	2,5	-	-	-	Puls, Janzon and Saake (2006)
		NaOH	97,1	2,5	-	-	-	
		KOH	96,3	2,9	-	-	-	
Birch pulp kraft		Nitren	96	3,5	-	-	-	
		NaOH	95	4,7	-	-	-	
		KOH	95,4	4	-	-	-	
Maple pulp kraft	Mekanis+ CCE+ enzim	NaOH, EG-rich cellulase	-	4,46	-	81%	402 mL g ⁻¹	Duan, Verma, <i>et al.</i> (2015)
Bambu pulp PHK	Mekanis + enzim	Xylanase	93,4	2,38	-	32,42%	6,1 mPa.S	Zhao <i>et al.</i> (2017)
<i>Mixed hardwood softwood</i> pulp	Enzim	Endoglukanase (Novozyme N476)	-	-	98,7	90,9%	343 mL g ⁻¹	Henriksson, Christiennin and Agnemo (2005)
<i>E. globulus</i> pulp kraft	Enzim+ alkali	NaOH, Xylanase (Pulpzyme HC), Endoglucanase (N476)	97,6	2,4	-	70,3%	220 dm ³ kg ⁻¹	Kopcke, Ibarra and Ek (2008)
			95,2	3,8	-	66%	190 dm ³ kg ⁻¹	
<i>Agave sisalana</i> pulp soda/AQ	Enzim+ alkali	NaOH, Novozyme 476, Pulpzyme HC	95,5	3,9	-	66,2%	290 mL g ⁻¹	Ibarra <i>et al.</i> (2010)
<i>E. globulus</i> pulp kraft	Enzim+ alkali	Xylanase (Pulpzyme HC), Endoglucanase (N476), NaOH	95,9	4,7	99,3	Filter Value 171	420 mL g ⁻¹	Gehmayr, Schild and Sixta (2011)
<i>Softwood</i> pulp kraft	Enzim + alkali peroksida	NaOH, H2O2, EG-rich cellulase	92,1	-	79,8	68,7%	506,9 mL g ⁻¹	Wang <i>et al.</i> (2014)
<i>Mixed hardwood pulp kraft</i>	Enzim + alkali	Xylanase, NaOH	97,1	<8	89,9	33%	9,1 cP	Kaur, Bhardwaj and Sharma (2016)

sebesar 74%, lebih rendah dibandingkan dengan *yield* dari proses CCE sebesar 90%. Metode CCE yang umum digunakan adalah ekstraksi kaustik menggunakan NaOH pada konsentrasi 8-10% (Chen *et al.*, 2016). Kekurangan metode CCE adalah efisiensi penghilangan hemiselulosa masih cukup terbatas, terutama untuk pulp yang berasal dari kayu daun jarum (*softwood*), karena glukomanan hanya diekstraksi sebagian (Sixta *et al.*, 2013). Hal lain yang perlu dipertimbangkan dari metode CCE adalah hilangnya *yield* selulosa 1,2-1,5% untuk setiap peningkatan 1% kandungan selulosa alfa, serta konsumsi natrium hidroksida yang tinggi (Roselli *et al.*, 2014). Gehmayr, Potthast and Sixta (2012) menyatakan kelemahan lain metode CCE adalah *dissolving pulp* yang dihasilkan masih memiliki reaktivitas yang rendah. Tabel 3 menyajikan referensi proses pembuatan *dissolving pulp* dari pulp kertas.

b. Organosolv

Metode *organosolv* menggunakan pelarut organik untuk menghilangkan lignin (Sixta, 2006). Pembuatan pulp secara *organosolv* juga menarik karena dapat diterapkan pada pabrik skala kecil dan tanpa menggunakan bahan kimia yang mengandung sulfur sehingga mendukung penggunaan pulp yang telah diputihkan dengan metode *Totally Chlorine Free* (TCF) (Alvarez and Tjeerdsma, 1995; Vila, Santos and Parajo, 2004). Pelarut yang diketahui digunakan untuk membuat pulp diantaranya *methanol*, *ethanol*, asam format, asam asetat, *phenol* dan *cresol*, *etil asetat*, amina dan amina oksida, keton, *dioxan* dan senyawa organik lainnya (Muurinen, 2000; Zhao, Cheng and Liu, 2009). Proses *organosolv* tidak mandiri energi. Kelemahan lain adalah harga bahan kimia pelarut organik yang mahal sehingga diperlukan proses *recovery* bahan kimia yang sangat baik, namun hal ini juga akan meningkatkan kebutuhan energi dan biaya produksi. Metode *organosolv* juga memiliki potensi kebakaran dan ledakan yang cukup tinggi (Muurinen, 2000; Bajpai, 2018). Hambatan-hambatan tersebut membatasi metode *organosolv* untuk digunakan secara luas (Bajpai, 2018). Tabel 3 menyajikan referensi proses pembuatan *dissolving pulp* dari pulp kertas.

c. Kompleks Logam

Metode alternatif lain yang telah dipatenkan untuk membuat *dissolving pulp* dari pulp kertas

adalah penggunaan pelarut yang mengandung kompleks logam. Pada prinsipnya, metode ini menggunakan pelarut selektif hemiselulosa yang mengandung kompleks logam seperti *Nitren* dan *Cuen* (Puls, Janzon and Saake, 2006; Janzon, Puls and Saake, 2006; Janzon *et al.*, 2008; Janzon, Saake and Puls, 2008). *Nitren* adalah sebuah kompleks nikel (*tris (2-aminoetil) amina*) yang mampu melarutkan xilan melalui ekstraksi pulp selama 1 jam pada suhu 30 °C diikuti dengan filtrasi hemiselulosa terlarut. Penggunaan *nitren* ini dilaporkan mampu mengurangi kandungan xilan dalam pulp *kraft* dengan selektivitas yang lebih baik daripada *cuen* (pelarut selulosa yang telah dikenal) (Puls, Janzon and Saake, 2006). Janzon, Puls and Saake, (2006) melakukan percobaan menggunakan *nitren* 7%, diperoleh *dissolving pulp* dengan selulosa alfa 96% dan hemiselulosa 3,3%. Modifikasi lain dilakukan oleh Puls, Janzon and Saake, (2006) yaitu kombinasi *nitren* 5% dengan ekstraksi alkali NaOH 10% dan KOH 14% sehingga diperoleh *dissolving pulp* dengan rata-rata kandungan selulosa alfa di atas 95% dan hemiselulosa dibawah 4%. Janzon *et al.* (2008) menyatakan bahwa struktur pulp yang diekstrak *nitren* mirip dengan *dissolving pulp* konvensional. Namun kelemahan metode pelarut kompleks logam adalah nikel dapat dengan mudah mencemari pulp yang diekstraksi, penggunaan senyawa nikel yang karsinogen dan bersifat alergi, serta kompleks logam yang digunakan hanya memiliki sedikit efek pada *mannan* sehingga membatasi untuk digunakan pada *softwood* (Roselli *et al.*, 2014).

d. Larutan Ionik

Metode lainnya adalah ekstraksi menggunakan larutan ionik atau *ionic liquor extraction* (IONCELL), hemiselulosa diekstraksi oleh larutan ionik. Metode IONCELL mampu memisahkan pulp kertas menjadi fraksi selulosa dan fraksi hemiselulosa masing-masing pada kadar kemurnian tinggi (Froschauer *et al.*, 2013). Larutan ionik adalah garam organik yang mengandung kation dan anion dengan titik leleh rendah (di bawah 100 °C), tidak mudah menguap, tidak beracun, tidak mudah terbakar dan stabil secara termal dan kimia. Selulosa yang dilarutkan dalam larutan ionik dapat diregenerasi oleh anti-pelarut seperti air, etanol, dan aseton (Hermanutz *et al.*, 2008; Li,

2010). Larutan ionik dengan anion halida akan memiliki viskositas yang relatif tinggi sehingga menyulitkan saat proses pelarutan. Larutan ionik dengan anion seperti asetat, format dan fosfat akan memiliki viskositas rendah sehingga dapat digunakan untuk berbagai aplikasi. Larutan ionik yang umum digunakan secara komersial adalah *1-ethyl-3-methylimidazolium acetate* (EMIM OAc) yang memiliki kemampuan melarutkan selulosa dengan baik (Isik, Sardon and Mecerreyes, 2014).

Laine *et al.* (2016) mengkonversi pulp kertas *softwood* menjadi *dissolving pulp* menggunakan larutan ionik EMIM OAc yang dicampurkan dengan air, diperoleh *dissolving pulp* dengan kandungan selulosa alfa 96,7%, dan rendah hemiselulosa (1%). Froschauer *et al.* (2013) melakukan kombinasi antara EMIM OAc) 15% dengan CCE sehingga dihasilkan *dissolving pulp* dengan kandungan selulosa alfa 96,9% dan hemiselulosa 3,1%. Sedangkan Roselli *et al.* (2014) menunjukkan bahwa pulp asetat dengan kemurnian tinggi juga dapat diperoleh dari pulp *Eucalyptus urograndis* yang dikonversi melalui proses IONCELL, dimana kandungan hemiselulosa berhasil dikurangi dari awal 16,6% menjadi 2,2%, bahkan hingga 1,7% jika proses IONCELL dikombinasikan dengan enzim endoxilanas dosis 500 U. Kemudian selulosa asetat yang dihasilkan sebanding dengan selulosa asetat komersial. Hal-hal tersebut membuat proses IONCELL sebagai metode alternatif yang menarik.

e. Mekanis

Metode mekanis lebih sering digunakan sebagai pra-perlakuan bahan baku sebelum penggunaan bahan kimia ataupun enzim. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan mekanis membuka struktur serat, meningkatkan luas permukaan serat, memperbanyak fraksi serat pendek, dan meningkatkan pembentukan pori mikro, lalu diikuti oleh ekstraksi rendah alkali sehingga proses penghilangan hemiselulosa lebih mudah dilakukan. Proses ini memungkinkan digunakannya alkali dengan konsentrasi rendah namun memiliki tingkat penghilangan hemiselulosa yang sama dengan proses konvensional, dan pulp yang dihasilkan dari metode kombinasi mekanis-alkali memiliki reaktivitas Fock yang tinggi (Duan, Verma, *et al.*, 2015). Li *et al.* (2015) melakukan kombinasi

CCE NaOH 4% dengan pra-perlakuan mekanis pulp pada alat PFI *mill* 10.000 *revolution*. Hasilnya hemiselulosa melalui pra-perlakuan mekanis lebih rendah (4,8%) dibandingkan perlakuan CCE saja tanpa mekanis (7,8%). Selain itu pra-perlakuan mekanis juga mampu meningkatkan reaktivitas *dissolving pulp* sebesar 43,8%, dibandingkan dengan perlakuan tunggal CCE sebesar 39,5%. Penelitian lain dilakukan Duan, Verma, *et al.* (2015a) menggunakan kombinasi PFI *mill* 3.000 *revolution*, CCE, dan enzim endoglukanase diperoleh *dissolving pulp maple* dengan kandungan hemiselulosa 4,46% dan reaktivitas 81%.

2. Metode Enzim dan Kombinasi antara Enzim dan Metode Konvensional

Enzim mampu menghilangkan hemiselulosa dan meningkatkan akses selulosa dalam *dissolving pulp*. Keunggulan enzim lainnya adalah kinerja tinggi, selektivitas tinggi pada substrat, dan lebih sedikit atau sama sekali tidak toksik dibandingkan dengan reagen kimia konvensional (Engstrom, Ek and Henriksson, 2006; Ibarra *et al.*, 2010; Gehmayr and Sixta, 2012). Metode pembuatan *dissolving pulp* menggunakan enzim dianggap sebagai salah satu cara yang paling menjanjikan karena reaksi selektifnya terhadap hemiselulosa tanpa efek merugikan pada selulosa, tidak beracun dan lebih ramah lingkungan (Li *et al.*, 2012; Zhao *et al.*, 2017).

Kuatnya interaksi antara selulosa dan hemiselulosa serta tingkat lignifikasi menyebabkan lignoselulosa memiliki ketahanan tertentu terhadap enzim. Karena itu diperlukan kombinasi dengan pra-perlakuan mekanis ataupun kimia untuk mengatasi hambatan fisik pada dinding sel, kristalinitas selulosa, dan lignin, sehingga enzim dapat mengakses struktur makro. Proses pra-perlakuan akan mempengaruhi biaya di hilir melalui faktor pengurangan ukuran bahan, tingkat toksisitas fermentasi, tingkat hidrolisis enzim, pemuatan enzim, dan variabel proses lainnya (Zhao, Cheng and Liu, 2009). Pada pengolahan pulp *kraft* dengan pemberian xilanase, energi yang dibutuhkan untuk proses pemurnian mampu dikurangi serta menghasilkan kertas dengan sifat kekuatan yang lebih baik (Buzala *et al.*, 2016). Penggunaan enzim xilanase sebelum proses pemutihan ECF dan TCF juga membantu dalam mengurangi konsumsi bahan kimia. Enzim xilanase membantu proses

pemutihan dengan menghilangkan xilan dari kompleks lignin-karbohidrat, serta mencuci lignin yang terperangkap, dimana xilan yang dihilangkan hampir 50%, terjadi peningkatan reaktivitas, dan berkurangnya hornifikasi serat (Gehmayr, Schild and Sixta, 2011). Penelitian lain menunjukkan bahwa *dissolving pulp* dari proses pemutihan xilanase memiliki kualitas lebih tinggi daripada pemutihan menggunakan oksigen sehingga memenuhi persyaratan spesifikasi SNI 0938:2010 (Sugesty, Kardiansyah and Pratiwi, 2015).

Metode ekstraksi alkali telah dikenal sebagai cara penghilangan hemiselulosa yang efektif (Janzon, Saake and Puls, 2008; Jarriault *et al.*, 2014). Selanjutnya, kombinasi dari penggunaan enzim dan ekstraksi alkali menunjukkan efek sinergis pada penghilangan hemiselulosa (Ibarra, Kopcke and Ek, 2009; Gehmayr, Schild, and Sixta, 2011; Gehmayr and Sixta, 2012). Penelitian yang telah dilakukan oleh Köpcke, Ibarra and Ek, (2008); Ibarra, Kopcke and Ek, (2009); Ibarra *et al.* (2010); Köpcke, (2010); Li *et al.* (2012); Zhao, (2016) menggunakan kombinasi enzim dengan alkali berhasil meningkatkan reaktivitas selulosa pulp kertas. Enzim xilanase berperan sebagai katalis proses hidrolisis rantai panjang xilan menjadi rantai pendek. Selanjutnya xilanase bekerja menghilangkan xilan yang menghalangi endoglukanase untuk bereaksi mengikat selulosa dan membantu peningkatan reaktivitas (Ibarra *et al.*, 2009; D. Li, Ibarra, *et al.*, 2012). Kombinasi antara enzim dan alkali tidak hanya untuk menghilangkan hemiselulosa namun juga untuk memperbaiki sifat karakteristik pulp (Bajpai, 2014). Saat proses konversi pulp kertas, penambahan enzim mampu menghambat efek hornifikasi yang diakibatkan oleh proses alkali (Kopcke, Ibarra and Ek, 2008).

Pengurangan residu hemiselulosa hingga hilang total sulit terjadi karena adanya modifikasi substrat ataupun penghalang struktural. Pada pulp yang diputihkan, pentosan terlindung oleh komponen pulp lainnya sehingga tidak rentan terhadap serangan enzim, bahkan saat digunakan kadar enzim yang tinggi dan waktu inkubasi yang lama (Bajpai, 2014). Faktor lain yang dapat mempengaruhi sulitnya penghilangan xilan dari pulp adalah jenis spesies kayu, metode pembuatan pulp, aksesibilitas terhadap *pentosan* dan banyaknya *pentosan* dalam pulp, kemampuan penetrasi dan spesifisitas substrat enzim, penghambatan oleh bahan-bahan kimia proses

pemutihan, serta ikatan kovalen dan hidrogen antara xilan ke lignin dan selulosa (Bajpai, 2018). Li *et al.* (2015) menyatakan bahwa hemiselulosa yang telah dipisahkan masih dapat digunakan dengan proses konversi menjadi produk lain seperti bio-etanol, *furfural*, dan *xylitol*.

Karakteristik *Dissolving Pulp*

Di Indonesia *dissolving pulp* sebagai bahan baku pembuatan serat rayon, memiliki spesifikasi sesuai standar SNI 938-2017. Parameter kualitas utama *dissolving pulp* adalah kandungan selulosa alfa yang tinggi (>90%) dan kandungan hemiselulosa yang rendah (2-6%). *Dissolving pulp* yang dihasilkan dari proses asam sulfit mengandung α -selulosa 92-94%, sedangkan dari proses PHK sebesar 94-96% (Duan, Li, *et al.*, 2015; Bajpai, 2018). Kemurnian *dissolving pulp* dapat ditingkatkan melalui perlakuan proses mekanis, kimia atau enzimatik, dimana proses ini dapat diterapkan sendiri atau dalam multi-tahap (Chen *et al.*, 2016). Pemurnian lanjutan dengan alkali tertentu diketahui mampu meningkatkan *yield* selulosa hingga 96% untuk proses asam sulfit dan hingga 98% untuk proses PHK (Bajpai, 2018). *Dissolving pulp* dengan kemurnian tinggi, akan menentukan viskositas (Tian *et al.*, 2014). Viskositas pulp merupakan salah satu parameter kendali setelah proses pemutihan untuk melihat sampai sejauh mana selulosa terdegradasi. Penentuan viskositas dapat diekspresikan dalam *centipoises* (cP) atau *milipascalsecond* (mPas) dan viskositas intrinsik dengan satuan milliliter per gram (mL/g) (Henriksson, Christiernin and Agnemo, 2005); (Kvarnlof N. *et al.*, 2006). Viskositas intrinsik yang diharapkan dari *dissolving pulp* berada dalam kisaran 400 hingga 600 mL g⁻¹, dan akan direduksi menjadi 200 hingga 250 mL g⁻¹ saat proses *ageing* saat pembuatan viskosa rayon (Duan, Li, *et al.*, 2015). Viskositas intrinsik yang terlalu rendah menyebabkan pemekaran larutan viskosa menjadi seperti gel, menyulitkan proses filtrasi dan mengurangi kekuatan fisik serat rayon; sementara viskositas intrinsik yang terlalu tinggi menyebabkan larutan tidak homogen saat merserisasi dan xantasi (Tian *et al.*, 2013).

Parameter reaktivitas *dissolving pulp* umumnya diukur dengan menggunakan metode uji Fock, yang lebih mudah diaplikasikan di laboratorium. Tingginya reaktivitas selulosa akan meningkatkan homogenitas dan kualitas

Tabel 4. Karakteristik *Dissolving Pulp* beberapa Jenis Nonkayu dan Kayu

Parameter proses (Process parameter)	Bagas ¹ (<i>Ba- gasse</i>)	Jerami padi ² (<i>Rice straw</i>)	Batang pisang ³ (<i>Banana plant stem</i>)	Bambu hijau ⁴ (<i>Green bamboo</i>)	Bambu duri ⁵ (<i>Spiny bamboo</i>)	Bambu mayan ⁶ (<i>Mayan bamboo</i>)	Bambu sembil- ang ⁶ (<i>Sem- bilang bamboo</i>)	Kenaf ⁷ (<i>Kenaf</i>)	Jute ⁸ (<i>Jute</i>)	<i>Acacia mangi- um</i> ⁹	<i>Acacia crassi- carpa</i> ¹⁰	<i>Eucalyptus urogran- dis</i> ¹¹
Selulosa alfa (<i>Alpha cellulose, %</i>)	91,30- 91,80	86,80	90,70- 94,20	97,60	94,88- 98,67	96,57	96,61- 97,49	86,36- 86,71	91,00- 92,40	88,00- 91,06	91,85- 94,13	95,40- 97,70
Pentosan (<i>Pentosan, %</i>)	4,60- 4,70	-	1,50-3,70	1,80	-	-	-	14,71- 14,97	6,50- 6,70	1,13- 2,05	0,65- 1,47	1,50-3,90
Kelarutan dalam alkali 18% (<i>Solubility in alkali 18%, %</i>)	-	-	-	-	3,57- 4,07	1,29	1,20- 1,32	7,33- 7,65	7,08- 7,52	1,29- 1,60	1,29- 1,67	2,30-4,20
Kelarutan dalam alkali 10% (<i>Solubility in alkali 10%, %</i>)	-	-	-	-	6,22- 6,64	4,69	4,29- 5,04	10,34- 10,93	10,80- 13,00	4,67- 5,68	3,48- 4,76	2,30-5,00
Derajat cerah (<i>Brightness, %ISO</i>)	88,10- 88,50	88,00	72,60- 82,30	73,20	85,38- 89,61	87,26	87,63- 88,12	86,23- 86,27	88,33- 88,60	86,24- 86,32	88,80- 89,70	89,40- 90,40
Viskositas (<i>Viscosity, cP</i>)	-	-	5-23	-	16,43- 25,75	16,21	15,97- 17,03	27,55- 29,06	3,05- 3,54	5,18- 5,82	7,18- 9,19	481-750
Viskositas intrinsik (<i>Intrinsic viscosity, mL/g</i>)	270- 295	-	-	927	553-731	556	560-567	-	-	-	-	-

produk akhir derivat selulosa, serta mengurangi kebutuhan penggunaan reaktan dalam proses pembuatannya (Ibarra, Kopcke and Ek, 2010). Parameter keseragaman distribusi berat molekul (MWD) adalah hal penting lain agar proses meriserisasi dan xantasi homogen saat pembuatan viskosa, sehingga diperoleh produk akhir rayon yang baik (Sixta, 2006; Duan, Li, *et al.*, 2015a). Umumnya pulp dari proses asam sulfit memiliki MWD yang agak lebar dan indeks polidispersitas tinggi (PDI) (7,6-8,5) sedangkan pulp dari proses PHK menunjukkan MWD yang lebih sempit dan seragam, serta PDI yang lebih rendah (3,8-4,5) (Duan, Li, *et al.*, 2015). Pulp dengan MWD yang lebar akan memberi dampak yang tidak diinginkan dalam hal kemampuan proses dan sifat produk derivat selulosa yang dihasilkan (Chen *et al.*, 2016). Parameter khusus lainnya meliputi kelarutan alkali, derajat polimerisasi (DP), kecerahan (Chen *et al.*, 2016; Zhao *et al.*, 2017).

Kandungan selulosa alfa *dissolving pulp* nonkayu pada Tabel 4 menunjukkan sebagian besar lebih dari 90%, hanya jerami padi dan kenaf yang tidak mencapai 90%. Hemiselulosa merupakan pengotor yang tidak diharapkan dalam *dissolving pulp*, karena akan mempengaruhi proses selanjutnya setelah menjadi produk. Kelarutan dalam alkali merupakan parameter

untuk mengevaluasi komposisi karbohidrat dalam pulp yang dapat mencerminkan kandungan selulosa alfa dan selulosa yang larut dalam larutan alkali. Kelarutan paling tinggi adalah dalam larutan natrium hidroksida 10 %. Bahan baku nonkayu cukup menjanjikan sebagai baku untuk *dissolving pulp*, jika melihat karakteristik yang dihasilkan. Apabila dibandingkan dengan *dissolving pulp* dari kayu, karakteristik *dissolving pulp* dari bahan baku nonkayu cukup kompetitif. Sehingga dapat digunakan sebagai sumber bahan baku alternatif selain kayu.

Kesimpulan

Bahan baku nonkayu memiliki potensi sebagai bahan baku *dissolving pulp* seperti bagas, batang pisang, bambu dan *jute*. Proses pembuatan *dissolving pulp* dari kayu menggunakan proses prahidrolisis kraft, sedangkan dari nonkayu dapat menggunakan proses prahidrolisis kraft atau proses prahidrolisis soda. Proses prahidrolisis secara umum dapat menggunakan air atau asam encer. *Dissolving pulp* dari bagas, batang pisang, bambu dan *jute* memiliki kandungan selulosa alfa di atas 90%, sehingga dapat dipertimbangkan sebagai bahan baku alternatif selain kayu. Selain pembuatan *dissolving pulp* dengan proses prahidrolisis kraft atau proses prahidrolisis

soda, terdapat metode alternatif lain yang lebih ramah lingkungan dan relatif murah serta dapat dikembangkan yaitu konversi pulp kertas menjadi *dissolving pulp*. Berbagai metode konversi pulp kertas yang tersedia seperti proses enzim dan larutan ionik memiliki sejumlah potensi yang menarik, namun juga perlu diperhatikan kekurangan yang menyertainya. Pada akhirnya pemilihan jenis bahan baku dan kesesuaian dengan metode pengolahannya akan menentukan sifat dan karakteristik produk akhir derivat selulosa yang diharapkan.

Daftar Pustaka

- Alvarez, R. S. and Tjeerdsma, B. F. (1995) 'Organosolv Pulping of Poplar Wood from Short-Rotation Intensive Culture Plantations', *Wood and Fiber Science*, 27(4), pp. 395–401.
- Andrade, M. F. and Colodette, J. L. (2014) 'Dissolving Pulp Production from Sugar Cane Bagasse', *Industrial Crops and Products*, 52, pp. 58–64. doi: 10.1016/j.indcrop.2013.09.041.
- Awano, T., Takabe, K. and Fujita, M. (2001) Xylan and Lignin Deposition on The Secondary Wall of *Fagus Crenata* Fibers, *Molecular Breeding of Woody Plants*. Elsevier Masson SAS. doi: 10.1016/S0921-0423(01)80065-4.
- Bajpai, P. (2014) *Xylanolytic Enzymes*, Elsevier Inc. doi: 10.1016/C2013-0-18577-7.
- Bajpai, P. (2018) *Biotechnology for Pulp and Paper Processing*, Springer Science+Business Media. doi: 10.1007/978-981-10-7853-8.
- Behin, J. and Zeyghami, M. (2009) 'Dissolving Pulp from Corn Stalk Residue and Waste Water of Merox Unit', *Chemical Engineering Journal*, 152(1), pp. 26–35. doi: 10.1016/j.cej.2009.03.024.
- Biermann, C. J. (1996) *Handbook of Pulping and Papermaking*. 2nd ed. Academic Press. doi: 10.1016/B978-0-12-097362-0.X5000-6.
- Buzafa, K. P., Przybysz, P., Kalinowska, H. and Derkowska, M. (2016) 'Effect of Cellulases and Xylanases on Refining Process and Kraft Pulp Properties', *Plos One*, pp. 1–14. doi: 10.1371/journal.pone.0161575.
- Cao, S., Ma, X., Lin, L., Huang, F., Huang, L. and Chen, L. (2014) 'Morphological and Chemical Characterization of Green Bamboo (*Dendrocalamopsis oldhami* (Munro) Keng f.) for Dissolving Pulp Production', *BioResources*, 9(3), pp. 4528–4539. doi: 10.15376/biores.9.3.4528-4539.
- Chen, C., Duan, C., Li, J., Liu, Y., Ma, X., Zheng, L., Stavik, J. and Ni, Y. (2016) 'Cellulose (Dissolving Pulp) Manufacturing Processes and Properties: A Mini-Review', *BioResources*, 11(2), pp. 1–12.
- Christov, L. P., Akhtar, M. and Prior, B. A. (1998) 'The Potential of Biosulfite Pulping in Dissolving Pulp Production', *Enzyme and Microbial Technology*, 23(1–2), pp. 70–74. doi: 10.1016/S0141-0229(98)00017-9.
- Christov, L. P. and Prior, B. A. (1993) 'Xylan Removal from Dissolving Pulp Using Enzymes of *Aureobasidium pullulans*', *Biotechnology Letters*, 15(12), pp. 1269–1274. doi: 10.1007/BF00130310.
- Das, A. K., Nakagawa-Izumi, A. and Ohi, H. (2016) 'Quality Evaluation of Dissolving Pulp Fabricated from Banana Plant Stem and Its Potential for Biorefinery', *Carbohydrate Polymers*. Elsevier Ltd., 147, pp. 133–138. doi: 10.1016/j.carbpol.2016.03.103.
- Desch, H. E. and Dinwoodie, J. M. (1996) *Timber Structure, Properties, Conversion and Use*, MacMillan Press Ltd.
- Dien, L. Q., Cuong, T. D., Hoang, P. H., Hoa, D. T. and Thanh, L. T. (2015) 'Production of Dissolving Cellulose from Rice Straw in Vietnam by Pre-hydrolysis Kraft Pulping', 1(3), pp. 359–365.
- Duan, C., Li, J., Ma, X., Chen, C., Liu, Y., Stavik, J. and Ni, Y. (2015) 'Comparison of Acid Sulfite (AS) - and Prehydrolysis Kraft (PHK) -Based Dissolving Pulps', *Cellulose*. Springer Netherlands. doi: 10.1007/s10570-015-0781-1.
- Duan, C., Long, Y., Li, J., Ma, X. and Ni, Y. (2015) 'Changes of Cellulose Accessibility to Cellulase Due To Fiber Hornification and Its Impact on Enzymatic Viscosity Control of Dissolving Pulp', *Cellulose*. Springer Netherlands, 22(4), pp. 2729–2736. doi: 10.1007/s10570-015-0636-9.
- Duan, C., Verma, S. K., Li, J., Ma, X. and Ni, Y. (2015) 'Combination of Mechanical, Alkaline and Enzymatic Treatments to Upgrade Paper-Grade Pulp to Dissolving Pulp with High Reactivity', *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.biortech.2015.10.067.
- Ek, M., Gellerstedt, G. and Henriksson, G. (2009) *Wood Chemistry and Biotechnology*, De Gruyter GmbH & Co. doi: 10.1515/9783110213409.
- Engstrom, A.-C., Ek, M. and Henriksson, G. (2006) 'Improved Accessibility and Reactivity of Dissolving Pulp for the Viscose Process : Pretreatment with Monocomponent Endoglucanase', *Biomacromolecules*, 7, pp. 2027–2031. doi: 10.1021/bm0509725.

- Fatehi, P. and Ni, Y. (2011) 'Integrated Forest Biorefinery-Prehydrolysis/Dissolving Pulping Process', ACS Symposium Series, pp. 475–506. doi: 10.1021/bk-2011-1067.ch018.
- Froschauer, C., Hummel, M., Iakovlev, M., Roselli, A., Schottenberger, H. and Sixta, H. (2013) 'Separation of Hemicellulose and Cellulose from Wood Pulp by Means of Ionic Liquid/Cosolvent Systems', Biomacromolecules. doi: 10.1021/bm400106h.
- Gehmayr, V., Potthast, A. and Sixta, H. (2012) 'Reactivity of Dissolving Pulps Modified by TEMPO-Mediated Oxidation', Cellulose, 19, pp. 1125–1134. doi: 10.1007/s10570-012-9729-x.
- Gehmayr, V., Schild, G. and Sixta, H. (2011) 'A Precise Study on The Feasibility of Enzyme Treatments of A Kraft Pulp for Viscose Application', Cellulose, 18, pp. 479–491. doi: 10.1007/s10570-010-9483-x.
- Gehmayr, V. and Sixta, H. (2011) 'Dissolving Pulps from Enzyme Treated Kraft Pulps for Viscose Application', Lenzinger Berichte, 89, pp. 152–160.
- Gehmayr, V. and Sixta, H. (2012) 'Pulp Properties and Their Influence on Enzymatic Degradability', Biomacromolecules, 13, pp. 645–651. doi: 10.1021/bm201784u.
- Hämmerle, F. M. (2011) 'The Cellulose Gap (The Future of Cellulose Fibres)', Lenzinger Berichte, 89, pp. 12–21.
- Henriksson, G., Christiernin, M. and Agnemo, R. (2005) 'Monocomponent Endoglucanase Treatment Increases the Reactivity of Softwood Sulphite Dissolving Pulp', Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 32, pp. 211–214. doi: 10.1007/s10295-005-0220-7.
- Hermanutz, F., Gahr, F., Uerdingen, E., Meister, F. and Kosan, B. (2008) 'New Developments in Dissolving and Processing of Cellulose in Ionic Liquids', Macromol. Symp., 262, pp. 23–27. doi: 10.1002/masy.200850203.
- Hon, D. N. S. and Shiraishi, N. (2001) Wood and Cellulosic Chemistry, Revised, and Expanded, Marcel Dekker, Inc. doi: 10.1201/9781482269741.
- Ibarra, D., Kopcke, V. and Ek, M. (2009) 'Exploring Enzymatic Treatments for The Production of Dissolving Grade Pulp from Different Wood and Non-Wood Paper Grade Pulps', Holzforschung, 63, pp. 721–730. doi: 10.1515/HF.2009.102.
- Ibarra, D., Kopcke, V. and Ek, M. (2010) 'Behavior of Different Monocomponent Endoglucanases on The Accessibility and Reactivity of Dissolving-Grade Pulps for Viscose Process', Enzyme and Microbial Technology. Elsevier Inc., 47(7), pp. 355–362. doi: 10.1016/j.enzmictec.2010.07.016.
- Ibarra, D., Kopcke, V., Tomas, P., Jääskeläinen, A. and Ek, M. (2010) 'Combination of Alkaline and Enzymatic Treatments as A Process for Upgrading Sisal Paper-Grade Pulp to Dissolving-Grade Pulp', Bioresource Technology. Elsevier Ltd, 101(19), pp. 7416–7423. doi: 10.1016/j.biortech.2010.04.050.
- Isik, M., Sardon, H. and Mecerreyes, D. (2014) 'Ionic Liquids and Cellulose : Dissolution , Chemical Modification and Preparation of New Cellulosic Materials', International Journal of Molecular Sciences, 15, pp. 11922–11940. doi: 10.3390/ijms150711922.
- Istikowati, W. T., Aiso, H., Sunardi, S., Sutiya, B., Ishiguri, F., Ohshima, J., Iizuka, K. and Yokota, S. (2016) 'Wood, Chemical, and Pulp Properties of Woods from Less-Utilized Fast-Growing Tree Species Found in Naturally Regenerated Secondary Forest in South Kalimantan, Indonesia', Journal of Wood Chemistry and Technology, 36(4), pp. 250–258. doi: 10.1080/02773813.2015.1124121.
- Jahan, M. S., Ahsan, L., Noori, A. and Quaiyyum, M. A. (2008) 'Process for The Production of Dissolving Pulp from Trema orientalis (Nalita) by Prehydrolysis Kraft and Soda-Ethylenediamine (EDA) Process', BioResources, 3(3), pp. 816–828.
- Janzon, R., Puls, J., Bohn, A., Potthast, A. and Saake, B. (2008) 'Upgrading of Paper Grade Pulps to Dissolving Pulps by Nitren Extraction : Yields , Molecular and Supramolecular Structures of Nitren Extracted Pulps', Cellulose, 15, pp. 739–750. doi: 10.1007/s10570-008-9224-6.
- Janzon, R., Puls, J. and Saake, B. (2006) 'Upgrading of Paper-Grade Pulps to Dissolving Pulps by Nitren Extraction : Optimisation of Extraction Parameters and Application to Different Pulps', Holzforschung, 60(1997), pp. 347–354. doi: 10.1515/HF.2006.055.
- Janzon, R., Saake, B. and Puls, J. (2008) 'Upgrading of Paper-Grade Pulps to Dissolving Pulps by Nitren Extraction : Properties of Nitren Extracted Xylans in Comparison to NaOH and KOH Extracted Xylans', Cellulose, 15, pp. 161–175. doi: 10.1007/s10570-007-9154-8.
- Jarriault, B. A., Lachenal, D., Chirat, C. and Heux, L. (2014) 'Upgrading Softwood Bleached Kraft Pulp to Dissolving Pulp by Cold Caustic Treatment and Acid-Hot Caustic Treatment', Industrial Crops & Products. Elsevier B.V., pp. 1–7. doi: 10.1016/j.indcrop.2014.09.051.
- Kaur, P., Bhardwaj, N. K. and Sharma, J. (2016) 'Pretreatment with Xylanase and Its Significance in Hemicellulose Removal from Mixed Hardwood Kraft Pulp as A Process Step for Viscose', Carbohydrate Polymers. Elsevier Ltd., 145, pp. 95–102. doi: 10.1016/j.carbpol.2016.03.023.

- Kopcke, V. (2010) Conversion of Wood and Non-wood Paper-grade Pulps to Dissolving-grade Pulps, Doctoral Thesis. Royal Institute of Technology Sweden.
- Kopcke, V., Ibarra, D. and Ek, M. (2008) 'Increasing Accessibility and Reactivity of Paper Grade Pulp by Enzymatic Treatment for Use as Dissolving Pulp', *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 23(4), pp. 363–368. doi: 10.3183/NPPRJ-2008-23-04-p363-368.
- Kvarnlof N., Germgard, U., Jonsson, L. J. and Soderlund, C. A. (2006) 'Enzymatic Treatment to Increase The Reactivity of A Dissolving Pulp for Viscose Preparation', *Appita Journal*, 59(3), pp. 242–246.
- Laine, C., Asikainen, S., Talja, R., Stépan, A., Sixta, H. and Harlin, A. (2016) 'Simultaneous Bench Scale Production of Dissolving Grade Pulp and Valuable Hemicelluloses from Softwood Kraft Pulp by Ionic Liquid Extraction', *Carbohydrate Polymers*. Elsevier Ltd., 136, pp. 402–408. doi: 10.1016/j.carbpol.2015.09.039.
- Li, D. (2010) Evaluation of Ionic Liquids as Direct Solvents for the Manufacturing of Novel Products from Cellulose, Master of Science Thesis. Chalmers University of Technology.
- Li, D., Ibarra, D., Kopcke, V. and Ek, M. (2012) 'Production of Dissolving Grade Pulps from Wood and Non-Wood Paper-Grade Pulps by Enzymatic and Chemical Pretreatments', *ACS Symposium Series*. doi: 10.1021/bk-2012-1107.ch009.
- Li, D., Sevastyanova, O. and Ek, M. (2012) 'Pretreatment of Softwood Dissolving Pulp with Ionic Liquids', *Holzforschung*, 66, pp. 935–943. doi: 10.1515/hf-2011-0180.
- Li, J., Liu, Y., Duan, C., Zhang, H. and Ni, Y. (2015) 'Mechanical Pretreatment Improving Hemicelluloses Removal from Cellulosic Fibers During Cold Caustic Extraction', *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd, 192, pp. 501–506. doi: 10.1016/j.biortech.2015.06.011.
- Liu, X., Fatehi, P. and Ni, Y. (2011) 'Adsorption of Lignocelluloses Dissolved in Prehydrolysis Liquor of Kraft-Based Dissolving Pulp Process on Oxidized Activated Carbons', *Ind. Eng. Chem. Res.*, 50, pp. 11706–11711. doi: 10.1021/ie201036q.
- Luo, X., Liu, J., Wang, H., Huang, L. and Chen, L. (2014) 'Comparison of Hot-Water Extraction and Steam Treatment for Production of High Purity-Grade Dissolving Pulp from Green Bamboo', *Cellulose*, 21(3), pp. 1445–1457. doi: 10.1007/s10570-014-0234-2.
- Martino, D. C., Colodette, J. L., Chandra, R. and Saddler, J. (2017) 'Steam Explosion Pretreatment Used to Remove Hemicellulose to Enhance The Production of A Eucalyptus Organosolv Dissolving Pulp', *Wood Science and Technology*. Springer Berlin Heidelberg, 51(3), pp. 557–569. doi: 10.1007/s00226-016-0889-y.
- Matin, M., Rahaman, M. M., Nayeem, J., Sarkar, M. and Jahan, M. S. (2015) 'Dissolving Pulp from Jute Stick', *Carbohydrate Polymers*. Elsevier Ltd., 115, pp. 44–48. doi: 10.1016/j.carbpol.2014.08.090.
- Miao, Q., Chen, L., Huang, L., Tian, C., Zheng, L. and Ni, Y. (2014) 'A Process for Enhancing the Accessibility and Reactivity of Hardwood Kraft-Based Dissolving Pulp for Viscose Rayon Production by Cellulase Treatment', *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd, 154, pp. 109–113. doi: 10.1016/j.biortech.2013.12.040.
- Muurinen, E. (2000) Organosolv Pulping. A Review and Distillation Study Related to Peroxyacid Pulping, Academic Dissertation. University of Oulu, Finland. Available at: <http://herkules.oulu.fi/issn03553213/>.
- Puls, J., Janzon, R. and Saake, B. (2006) 'Comparative Removal of Hemicelluloses from Paper Pulps Using Nitren, Cuen, NaOH, and KOH', *Lenzinger Berichte*, 86, pp. 63–70.
- Purwita, C. A. and Sugesty, S. (2017) 'Dissolving Pulp Production from Spiny Bamboo (*Bambusa blumeana*)', *Proceedings of International Workshop on Non-Wood Pulping and Papermaking Technology*, pp. 207–216.
- Purwita, C. A. and Sugesty, S. (2018) 'Pembuatan dan Karakterisasi Dissolving Pulp Serat Panjang dari Bambu Duri (*Bambusa blumeana*)', *Jurnal Selulosa*, 8(1), pp. 21–32. doi: 10.25269/jssel.v8i01.232.
- Reddy, N. and Yang, Y. (2005) 'Biofibers from Agricultural Byproducts for Industrial Applications', *Trends in Biotechnology*, 23(1), pp. 22–27. doi: 10.1016/j.tibtech.2004.11.002.
- Rodríguez, A., Serrano, L., Moral, A., Pérez, A. and Jiménez, L. (2008) 'Use of High-Boiling Point Organic Solvents for Pulping Oil Palm Empty Fruit Bunches', *Bioresource Technology*, 99(6), pp. 1743–1749. doi: 10.1016/j.biortech.2007.03.050.
- Roselli, A., Hummel, M., Monshizadeh, A., Maloney, T. and Sixta, H. (2014) 'Ionic Liquid Extraction Method for Upgrading Eucalyptus Kraft Pulp to High Purity Dissolving Pulp', *Cellulose*. doi: 10.1007/s10570-014-0344-x.

- Saka, S. and Matsumura, H. (2004) 'Wood Pulp Manufacturing and Quality Characteristics', *Macromol. Symp.*, 208, pp. 37–48. doi: 10.1002/masy.200450404.
- Schaechter, M. (2009) *Encyclopedia of Microbiology*, Academic Press.
- Schild, G. and Sixta, H. (2011) 'Sulfur-Free Dissolving Pulps and Their Application for Viscose and Lyocell', *Cellulose*, 18, pp. 1113–1128. doi: 10.1007/s10570-011-9532-0.
- Sixta, H. (2006) *Handbook of Pulp*, Wiley - VCH. doi: 10.1002/9783527619887.
- Sixta, H., Harms, H., Dapia, S., Parajo, J. C., Puls, J., Saake, B., Fink, H. P. and Roder, T. (2004) 'Evaluation of New Organosolv Dissolving Pulps . Part I: Preparation , Analytical Characterization and Viscose Processability', *Cellulose*, 11, pp. 73–83. doi: 10.1023/B:CELL.0000014767.47330.90.
- Sixta, H., Iakovlev, M., Testova, L., Roselli, A., Hummel, M., Borrega, M., Heiningen, A. van, Froschauer, C. and Schottenberger, H. (2013) 'Novel Concepts of Dissolving Pulp Production', *Cellulose*, 20, pp. 1547–1561. doi: 10.1007/s10570-013-9943-1.
- Sugesty, S., Kardiansyah, T. and Hardiani, H. (2015) 'Bamboo as Raw Materials for Dissolving Pulp with Environmental Friendly Technology for Rayon Fiber', *Procedia Chemistry*. Elsevier Ltd., 17, pp. 194–199. doi: 10.1016/j.proche.2015.12.122.
- Sugesty, S., Kardiansyah, T. and Pratiwi, W. (2015) 'Penggunaan Xilanase pada Pemutihan Dissolving Pulp Acacia crassicarpa', *Jurnal Selulosa*, 4(2), pp. 99–106. doi: 10.25269/jsel.v2i01.27.
- Sugesty, S. and Setiawan, Y. (2012) 'Making of Dissolving Pulp by Bio-Bleaching Process from Acacia mangium Wood', *Proceeding The International Conference on the Innovation in Polymer Science and Technology*, pp. 88–93.
- Sugesty, S. and Setiawan, Y. (2013) 'Dissolving Pulp from Kenaf by Bio-Bleaching Process', *Jurnal Selulosa*, 3(2), pp. 81–88.
- Tian, C., Zheng, L., Miao, Q., Cao, C. and Ni, Y. (2014) 'Improving the Reactivity of Kraft-Based Dissolving Pulp for Viscose Rayon Production by Mechanical Treatments', *Cellulose*. doi: 10.1007/s10570-014-0332-1.
- Tian, C., Zheng, L., Miao, Q., Nash, C., Cao, C. and Ni, Y. (2013) 'Improvement in The Fock Test for Determining The Reactivity of Dissolving Pulp', *Tappi Journal*, 12(11), pp. 21–26.
- Ververis, C., Georghiou, K., Christodoulakis, N., Santas, P. and Santas, R. (2004) 'Fiber Dimensions, Lignin and Cellulose Content of Various Plant Materials and Their Suitability for Paper Production', *Industrial Crops and Products*, 19(3), pp. 245–254. doi: 10.1016/j.indcrop.2003.10.006.
- Vila, C., Santos, V. and Parajo, J. C. (2004) 'Dissolving Pulp from TCF Bleached Acetosolv Beech Pulp', *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 79, pp. 1098–1104. doi: 10.1002/jctb.1090.
- Wang, H., Pang, B., Wu, K., Kong, F., Li, B. and Mu, X. (2014) 'Two Stages of Treatments for Upgrading Bleached Softwood Paper Grade Pulp to Dissolving Pulp for Viscose Production', *Biochemical Engineering Journal*. Elsevier B.V., 82, pp. 183–187. doi: 10.1016/j.bej.2013.11.019.
- Wang, N. and Chen, H. Z. (2013) 'Manufacture of Dissolving Pulps from Cornstalk by Novel Method Coupling Steam Explosion and Mechanical Carding Fractionation', *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd, 139, pp. 59–65. doi: 10.1016/j.biortech.2013.04.015.
- Woodings, C. (2001) *Regenerated Cellulose Fibres*, Woodhead Publishing Ltd and CRC Press LLC. Woodhead Publishing Ltd and CRC Press LLC. doi: 10.1533/9781855737587.
- Zhao, L. (2016) *Xylan Removal by Xylanase for the Production of Dissolving Pulp from Bamboo*. The University of British Columbia. doi: 10.14288/1.0340669.
- Zhao, L., Yuan, Z., Sella, N., Feng, X., Beatson, R., Trajano, H. L. and Martinez, D. M. (2017) 'Increasing Efficiency of Enzymatic Hemicellulose Removal from Bamboo for Production of High-Grade Dissolving Pulp', *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd, 223, pp. 40–46. doi: 10.1016/j.biortech.2016.10.034.
- Zhao, X., Cheng, K. and Liu, D. (2009) 'Organosolv Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Enzymatic Hydrolysis', *Applied Microbiology Biotechnology*, 82, pp. 815–827. doi: 10.1007/s00253-009-1883-1.

- Halaman ini sengaja dikosongkan -