
KARAKTERISTIK PULP RAYON SULFIT ASAM DAN PREHIDROLISIS KRAFT KOMERSIAL BERDASARKAN SNI 938:2017

Characteristics of Commercial Acid Sulfite and Prehydrolysis Kraft Rayon Pulp Based on SNI 938:2017

Chandra Apriana Purwita, Susi Sugesty, Hana Rachmanasari

Balai Besar Pulp dan Kertas
Jl. Raya Dayeuhkolot No 132 Bandung 402588, Indonesia
email: chandra@kemenperin.go.id

Diterima: 5 Maret 2019, Direvisi: 18 Juli 2019, Disetujui: 10 Maret 2020

Abstrak

Pulp rayon atau pulp larut (*dissolving pulp*) merupakan pulp dengan kandungan selulosa alfa tinggi dan kandungan komponen lain seperti lignin, abu, abu tak larut asam, kelarutan dalam alkali, dan ekstraktif rendah. Pulp rayon merupakan bahan baku untuk proses pembuatan serat rayon yang digunakan pada industri tekstil dan pakaian jadi. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik pulp rayon sulfit asam dan prehidrolisis kraft komersial yang kemudian dibandingkan dengan persyaratan mutu SNI 938:2017 Pulp rayon. Pulp rayon komersial yang diperoleh dari industri pulp rayon dan industri rayon di dalam negeri maupun impor dianalisis sesuai dengan persyaratan mutu SNI 938:2017. Parameter analisisnya adalah kadar air (SNI 08-7070-2005); selulosa alfa (SNI 8400:2017 (T 203 cm-09, IDT)), kelarutan dalam alkali (SNI 692:2010), ekstraktif diklorometana (DCM) (SNI 8401:2017 (T 204 cm-07, IDT)), abu (SNI 0442:2009), abu tidak larut asam (SNI ISO 776:2010), Ca dan Fe (TAPPI T 266 om -18); viskositas (SNI 8402:2017 (T 230 om -13, IDT)); viskositas intrinsik (SNI 5351:2012); dan derajat cerah ISO (SNI 2470-1:2014). Analisis dilakukan dengan 3 ulangan dan hasil dinyatakan sebagai rata-rata. Berdasarkan percobaan, pulp rayon prehidrolisis kraft memiliki kandungan selulosa alfa yang lebih tinggi, S10 dan S18 yang lebih rendah, dan viskositas yang lebih rendah dibandingkan pulp rayon sulfit asam. Dari lima jenis pulp rayon komersial, hanya dua jenis pulp rayon komersial yang memenuhi persyaratan mutu SNI 938:2017. Kedua pulp rayon tersebut merupakan pulp rayon kayudaun proses prehidrolisis kraft.

Kata kunci: pulp rayon, dissolving pulp, SNI, sulfit asam, prehidrolisis kraft

Abstract

Rayon pulp or dissolving pulp is a pulp with high alpha cellulose content and other components such as lignin, ash, acid-insoluble ash, solubility in alkali, and extractives are low. Rayon pulp is the raw material for making rayon fibers used in the textile and apparel industry. This study aims to understand the characteristics of commercial acid sulfite and prehydrolysis kraft rayon pulps then compared with the quality requirements of SNI 938:2017 Pulp rayon. Commercial rayon pulps obtained from rayon pulp and rayon industries, domestic and imports, were analyzed in accordance with quality requirement of SNI 938:2017. The analysis parameters are moisture content (SNI 08-7070-2005); alpha cellulose (SNI 8400:2017 (T 203 cm-09, IDT)), solubility in alkali (SNI 692:2010), dichloromethane extractive (DCM) (SNI 8401:2017 (T 204 cm-07, IDT)), ash (SNI 0442:2009), acid insoluble ash (SNI ISO 776:2010), Ca and Fe (TAPPI T 266 om -18); viscosity (SNI 8402:2017 (T 230 om -13, IDT)); intrinsic viscosity (SNI 5351:2012); and ISO brightness (SNI 2470-1:2014). The analysis was carried out with 3 replications and the results were expressed as averages. Based on experiments, prehydrolysis kraft rayon pulps have higher alpha cellulose content, lower S10 and S18, and lower viscosity than acid sulfite rayon pulp. From five commercial rayon pulps, only two pulps meet the quality requirements of SNI 938:2017. That rayon pulps are hardwood prehydrolysis kraft rayon pulps.

Keywords: rayon pulp, dissolving pulp, SNI, acid sulfite, prehydrolysis kraft

1. PENDAHULUAN

Industri tekstil dan pakaian jadi maju cukup pesat dewasa ini. Produk tekstil dan pakaian jadi menjadi produk andalan peringkat pertama sebagai penghasil devisa nonmigas di Indonesia (Herjanto, 2007). Selain itu, industri tekstil dan pakaian jadi tergolong industri yang mengalami peningkatan pertumbuhan kumulatif yang tinggi.

Berdasarkan data Kementerian Perindustrian, laju pertumbuhan PDB triwulanan atas dasar harga konstan 2010 pada triwulan I - III 2018, industri tekstil dan pakaian jadi mengalami pertumbuhan sebesar 7,98%. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan triwulan I-III 2017 yaitu 2,89%. Tercatat nilai ekspor pakaian jadi dari tekstil naik sebesar USD 65,83 juta (12,40%) pada September 2018 terhadap

September 2017. Hal ini menunjukkan mulai terjadinya perubahan struktur ekspor Indonesia. Berkurangnya nilai ekspor CPO, karet remah, serta komoditi lainnya akan mengurangi ketergantungan Indonesia pada harga komoditas dunia sehingga struktur ekonomi Indonesia akan semakin kuat melalui ekspor.

Seiring dengan perkembangan industri tekstil dan pakaian jadi, kebutuhan terhadap bahan baku juga meningkat. Salah satu bahan baku yang kini mulai banyak digunakan adalah rayon. Meskipun serat rayon lebih mahal dibandingkan serat lainnya seperti poliester, tetapi serat rayon lebih diminati karena lebih nyaman dipakai karena dingin, kainnya tidak mudah kusut dan mengkilap, serta lebih ramah lingkungan karena *biodegradable*.

Rayon dikenal sebagai sutera buatan karena merupakan serat selulosa yang dimanufaktur dari pulp kayu (Ariyanti, 2018). Pulp kayu yang digunakan pada industri rayon berbeda dengan pulp yang digunakan pada proses pembuatan kertas. Pulp tersebut dikenal sebagai pulp rayon atau pulp larut (*dissolving pulp*). Pulp rayon memiliki kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan pulp kertas. Kandungan selulosa alfa pada pulp rayon minimal 94% dengan kandungan ekstraktif, abu, abu tak larut asam, dan kelarutan dalam alkali rendah (SNI 938:2017).

Untuk mendukung industri rayon yang memiliki daya saing tinggi, bahan baku yang digunakan yaitu pulp rayon harus memiliki standar kualitas yang baik. SNI 0938:2017 disusun sebagai pedoman spesifikasi minimal yang harus dipenuhi pulp rayon komersial untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan serat rayon reguler.

Wahyudin Permana Syam Pada penyusunan standar tersebut, hanya pulp rayon yang diproduksi di Indonesia yaitu pulp rayon kayudaun yang diproduksi dengan proses prehidrolisis kraft yang menjadi acuan standar mutu. Pada proses pembuatan serat rayon, industri selalu mencampur pulp rayon kayudaun dan kayujarum. Pulp rayon kayujarum diperlukan untuk meningkatkan sifat fisik benang rayon sehingga kualitas pulp rayon kayujarum secara keseluruhan akan menentukan kualitas serat rayon yang dihasilkan (Purwita & Sugesty, 2018).

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik pulp rayon sulfit asam dan prehidrolisis kraft komersial yang kemudian mutunya dibandingkan dengan persyaratan mutu SNI 938:2017 Pulp rayon.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pulp rayon atau pulp larut (*dissolving pulp*) merupakan pulp putih rendemen rendah (30-35%) yang memiliki kandungan selulosa alfa tinggi (lebih dari 90%), namun kandungan hemiselulosa, ekstraktif, dan abu rendah (Cao *et al.*, 2014; Sixta, 2008; Wu, Zhou, Li, Wang, & Zhao, 2015). Pulp rayon memiliki keunggulan dibandingkan pulp kertas yaitu nilai derajat cerah yang lebih tinggi, berat molekul selulosa yang lebih seragam dan aksesibilitas serta reaktivitas yang tinggi (Matin, Rahaman, Nayeem, Sarkar, & Jahan, 2015; Roselli, Hummel, Monshizadeh, Maloney, & Sixta, 2014).

Pulp rayon tidak digunakan untuk pembuatan kertas melainkan pulp tersebut dilarutkan pada kondisi tertentu untuk membuat selulosa regenerasi (yaitu selulosa dilarutkan kemudian dipintal menjadi serat, dicetak menjadi film, atau diregenerasi menjadi spons) (Duan *et al.*, 2015; Miao *et al.*, 2015). Pulp tersebut tidak hanya digunakan untuk proses pembuatan serat rayon, akan tetapi digunakan untuk produksi berbagai produk turunan selulosa seperti selulosa eter (obat-obatan, bahan peledak, cat, kosmetik), selulosa ester (filter rokok, film, plastik kualitas tinggi, benang asetat), mikro dan nanoselulosa (selulosa mikrofibril selulosa, mikrokristalin selulosa, nanokristalin selulosa, selulosa nanokristal) dan lainnya (super absorben, resin penukar ion, komposit selulosa, filter selulosa). Sekitar 70% produksi pulp rayon digunakan untuk pembuatan serat rayon, sedangkan sisanya digunakan untuk pembuatan produk turunan selulosa (Kumar & Christopher, 2017).

Pulp rayon berkualitas tinggi diproduksi dengan melibatkan dua unsur penting yaitu kualitas bahan baku dan jenis serta kondisi proses pembuatan pulp rayon (Purwita & Sugesty, 2018).

Berdasarkan panjang seratnya, pulp rayon dibedakan menjadi dua jenis yaitu pulp rayon serat pendek yang berasal dari kayudaun dan pulp rayon serat panjang yang berasal dari kayujarum.

Pulp rayon (*dissolving pulp*) diproduksi melalui dua jenis proses yang berbeda yaitu sulfit asam dan prehidrolisis kraft. Proses sulfit asam merupakan proses terdahulu yang telah digunakan selama beberapa dekade. Sebanyak 65% dari total pulp rayon dunia diproduksi dengan proses sulfit asam, 25% diproduksi dengan proses prehidrolisis kraft dan sisanya 10% diderivatisasi dari *cotton linter* (Sixta, 2008).

Perbedaan proses pembuatan pulp akan menghasilkan pulp rayon dengan kualitas yang berbeda. Proses sulfit asam menghasilkan pulp

rayon dengan kandungan selulosa alfa 92 hingga 94% sedangkan proses prehidrolisis kraft menghasilkan pulp rayon dengan kandungan selulosa alfa lebih tinggi yaitu 94 hingga 96% (Duan *et al.*, 2015). Kondisi pemasakan proses sulfit asam dapat bervariasi tergantung pada kation, pH, dan temperatur pemasakan yang digunakan. Kondisi tersebut tergantung pada jenis kayu yang digunakan. Waktu pemasakan dapat mencapai 10 jam, suhu 145 °C, dan pH berkisar antara 1-2. Proses ini awalnya menggunakan kalsium sulfit, tetapi karena terbentuk kalsium sulfat yang tidak larut maka kalsium sulfit tersebut digantikan oleh kation yang larut seperti magnesium, natrium, dan amonia. Tingkat pH dari proses pemasakan yang menggunakan kalsium sulfit berkisar antara 1-2, pH 5 untuk magnesium, dan rentang pH yang lebih lebar hingga alkali untuk natrium. Perkembangan selanjutnya, diperkenalkan proses sulfit dengan dua atau tiga tahapan pemasakan dimana tingkat pH pada masing-masing tahapan berbeda dengan tujuan untuk meningkatkan penyisihan lignin dan hemiselulosa. Pemasakan tahap pertama berlangsung selama 2-6 jam dan 2-4 jam dengan temperatur 140 °C pada tahap kedua. Pemasakan tahap pertama mengandung cairan pemasakan yang bersifat netral atau sedikit asam, sedangkan pada tahapan kedua pH-nya lebih rendah (Strunk, 2012b).

Proses prehidrolisis kraft melibatkan dua tahapan yaitu prehidrolisis dan pemasakan kraft. Tahapan prehidrolisis dilakukan sebelum pemasakan kraft, serpih kayu di-*steam* (Luo, Liu, Wang, Huang, & Chen, 2014) atau diperlakukan dengan air pada 170 °C selama 60 menit (Nayeem, Sarkar, Wuadery, & Jahan, 2017) ataupun dengan 0,2%-0,4% asam sulfat 1 N dengan temperatur 160 °C selama 145 menit (Purwita & Sugesty, 2018). Prehidrolisis bertujuan untuk menghidrolisis hemiselulosa dan membantu melonggarkan matriks pulp sehingga meningkatkan aksesibilitas lignin terhadap bahan kimia pemasakan dan pemutihan pulp. Hasilnya, kemurnian pulp rayon yang dihasilkan meningkat (Behin, Mikaniki, & Fadaei, 2009; Liu, Shi, Cheng, & He, 2016).

2.1. Selulosa Alfa

Selulosa alfa merupakan bagian pulp yang memiliki berat molekul tinggi dan tidak larut serta tahan terhadap larutan natrium hidroksida 17,5% dan 9,45% (Badan Standardisasi Nasional, 2017a).

2.2. S₁₀ dan S₁₈

Kelarutan pulp dalam alkali ditunjukkan dengan nilai S. Nilai tersebut menunjukkan bagian terlarut yang dinyatakan sebagai persen berat zat terlarut terhadap berat kering oven. S₁₀ menunjukkan kelarutan pulp dalam larutan natrium hidroksida 10%, sedangkan S₁₈ menunjukkan kelarutan pulp dalam larutan natrium hidroksida 18% (Badan Standardisasi Nasional, 2010a).

2.3. Ekstraktif

Ekstraktif adalah zat dalam kayu atau pulp yang terekstrak oleh pelarut diklorometana yang dilakukan pada titik didih pelarut dalam waktu tertentu (Badan Standardisasi Nasional, 2017b).

2.4. Viskositas

Viskositas adalah suatu ukuran yang dari sifat fluida untuk melawan gaya yang menyebabkan fluida mengalir. Viskositas dinyatakan dalam milipascal detik (mPa.s) atau centiPoise (cP) (Badan Standardisasi Nasional, 2017d).

2.5. Abu

Abu merupakan residu yang tertinggal setelah contoh pulp diabukan dalam tanur dengan suhu 525±25 °C (Badan Standardisasi Nasional, 2009).

2.6. Abu tak larut asam

Merupakan residu yang diperoleh setelah contoh diabukan kemudian diperlakukan dengan asam klorida (Badan Standardisasi Nasional, 2010b).

2.7. Kadar Kalsium

Jumlah unsur kalsium dalam larutan yang diperoleh setelah mengabukan contoh pada temperatur 525±25 °C dan melarutkan residu dengan larutan HCl 6 mol/L (Badan Standardisasi Nasional, 2017d).

2.8. Kadar Besi

Jumlah unsur besi dalam larutan yang diperoleh setelah melakukan pengabuan contoh pada temperatur 525±25 °C dan perlakuan residu dengan larutan HCl 6 mol/L (Badan Standardisasi Nasional, 2017d).

2.9. Kadar air

Kadar air adalah rasio massa contoh uji yang hilang ketika dikeringkan pada oven dengan suhu 105±2 °C, terhadap massa pada saat pengambilan contoh (Badan Standardisasi Nasional, 2005).

2.10. Derajat cerah ISO

Derajat cerah merupakan faktor pantulan intrinsik yang diukur menggunakan reflektometer yang

dilengkapi dengan filter atau alat lain yang berfungsi untuk menghasilkan panjang gelombang 457 nm dan paruh pita lebar 44 nm dan diatur agar kandungan UV dalam iradiasi yang mengenai contoh uji sesuai dengan iluminasi C CIE (Badan Standardisasi Nasional, 2014a).

3. METODE PENELITIAN

Contoh pulp diambil sesuai SNI ISO 7213:2015 (Pulp – Pengambilan contoh untuk pengujian (ISO 7213:1981, IDT)). Pulp rayon komersial dianalisis sesuai dengan persyaratan mutu pulp rayon SNI 938:2017. Parameter analisisnya adalah kadar air (SNI 08-7070-2005 Pulp dan kayu - Cara uji kadar air pulp dan kayu dengan metode pemanasan dalam oven); selulosa alfa (SNI 8400:2017 Selulosa alfa, beta dan gama dalam pulp (T 203 cm-09, IDT)); kelarutan dalam alkali (SNI 692:2010 Pulp - Cara uji kelarutan dalam alkali); ekstraktif diklorometana (DCM) (SNI 8401:2017 Ekstraktif terlarut pada kayu dan pulp (T 204 cm-07, IDT)); abu (SNI 0442:2009 Kertas, karton dan pulp - Cara uji kadar abu pada 525 derajat Celsius); abu tidak larut asam (SNI ISO 776:2010 Pulp - Cara uji kadar abu tidak larut asam); Ca dan Fe (TAPPI T 266 om-18 *Determination of sodium, calcium, copper, iron, and manganese in pulp and paper by atomic absorption spectroscopy*); viskositas (SNI 8402:2017 Viskositas pulp (metode viskometer kapiler) (T 230 om-13, IDT)); dan viskositas intrinsik (SNI 5351:2012 Pulp - Cara uji bilangan viskositas limit (viskositas intrinsik) dalam larutan kuprietilendiamina (CED)).

Untuk analisa derajat cerah ISO, pulp rayon dibuat menjadi lembaran pulp laboratorium sesuai dengan SNI ISO 3688:2014 Pulp - Cara pembuatan lembaran pulp laboratorium untuk pengukuran faktor pantul baur biru (Derajat cerah ISO). Kemudian dilakukan pengukuran derajat cerah sesuai SNI 2470-1:2014 (Kertas, karton, dan pulp - Cara uji faktor pantul biru cahaya baur - Bagian 1: Kondisi siang hari di dalam ruangan (derajat cerah ISO)). Analisis dilakukan dengan 3 ulangan dan hasil dinyatakan sebagai rata-rata.

3.1 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian adalah pulp rayon kayudaun dan kayujarum komersial dari proses sulfit asam dan prehidrolisis kraft yang diperoleh dari industri pulp rayon dan industri rayon di dalam negeri dan impor. Bahan kimia yang digunakan antara lain larutan natrium hidroksida, asam klorida, asam sulfat, asam asetat, asam fosfat, kalium dikromat, besi (II) ammonium sulfat, indikator ferroin, kuprietilendiamina, dan diklorometana. Semua

bahan kimia yang digunakan adalah jenis pro-analisis.

Peralatan yang digunakan antara lain peralatan gelas, viskometer tabung kapiler dan *stopwatch* untuk analisa viskositas, oven listrik untuk analisa kadar air, tanur dan penangas air digunakan untuk analisa kadar abu dan abu tidak larut asam, *heating mantle* dan peralatan ekstraksi soxhlet untuk analisa kadar ekstraktif, dan alat Technidyne color touch 2 untuk uji derajat cerah ISO.

4. RESULTS AND DISCUSSIONS

Kadar air

Kadar air kelima pulp rayon komersial berkisar antara 4,89-5,65% (Tabel 1), memenuhi syarat standar SNI karena kadarnya di bawah 12%. Kadar air tertinggi terdapat pada pulp rayon C, sedangkan terendah pada pulp rayon A. Kadar air pada pulp rayon dipengaruhi oleh kandungan selulosa yang bersifat higroskopis. Pulp rayon akan menyerap uap air di atmosfer hingga mencapai kesetimbangan dengan lingkungan. Semua pulp secara normal akan mengandung kadar air berkisar antara 2 sampai 10% tergantung kelembaban udara lingkungan (Glatfelter, 2019).

Kandungan air pada pulp rayon akan menentukan umur simpan bahan. Pulp rayon yang memiliki kadar air tinggi, umur simpannya akan pendek karena jamur atau bakteri mudah tumbuh dan dapat mendegradasi pulp. Tingginya kadar air dalam pulp rayon dapat mengganggu proses pembuatan rayon viskosa terutama pada tahapan alkalisasi. Air yang terkandung pada pulp rayon akan mengencerkan konsentrasi larutan alkali yang digunakan sehingga proses alkalisasi tidak akan optimal.

Selulosa alfa

Pulp rayon C dan D yang merupakan pulp rayon prehidrolisis kraft memiliki kandungan selulosa alfa yang lebih tinggi dibandingkan pulp rayon A, B, dan E yang merupakan pulp rayon sulfit asam. Kandungan selulosa alfa pulp rayon C dan D berturut-turut 94,35 dan 94,05%, sedangkan pulp rayon A, B, dan E berturut-turut 91,39; 91,28; dan 90,70%.

Sejalan dengan penelitian Seta, Sugesty, & Kardiansyah (2014) yang membandingkan kandungan selulosa alfa pada tiga jenis pulp rayon komersial proses prehidrolisis kraft dan sulfit asam. Hasilnya, kandungan selulosa alfa pada pulp rayon proses prehidrolisis kraft (92,49%) lebih tinggi dibandingkan sulfit asam (88,16% dan 89,40%).

Berdasarkan kadar selulosa alfa, diantara kelima jenis pulp rayon komersial hanya pulp rayon C dan D yang memenuhi persyaratan SNI 938:2017. Sesuai dengan persyaratan mutu SNI, kandungan selulosa alfa pada pulp rayon harus lebih dari 94%. Pulp rayon impor yang sebagian

besar dibuat dengan proses sulfit asam akan sulit memenuhi persyaratan tersebut. Akan tetapi, pulp rayon produksi dalam negeri yang menggunakan proses prehidrolisis kraft dapat memenuhi persyaratan tersebut

Tabel 1 Karakteristik berbagai jenis pulp rayon komersial dibandingkan dengan persyaratan SNI 938:2017.

| No | Parameter | Pulp rayon | | | | | Persyaratan SNI 938:2017 |
|----|-----------------------------|--------------|-------------|-------------|------------|------------|--------------------------|
| | | A | B | C | D | E | |
| 1 | Air (%) | 4,89±0,2 | 5,38±0,32 | 5,65±0,18 | 5,21±0,11 | 5,40±0,16 | maks. 12 |
| 2 | Selulosa alfa (%) | 91,39±0,21 | 91,28±0,10 | 94,35±0,16 | 94,05±0,49 | 90,70±0,34 | min. 94 |
| 3 | S ₁₀ (%) | 11,08±0,82 | 10,63±0,48 | 7,50±0,15 | 6,51±0,94 | 13,23±0,08 | maks. 7,9 |
| 4 | S ₁₈ (%) | 5,57±0,07 | 6,12±0,10 | 4,68±0,18 | 3,71±0,18 | 6,40±0,07 | maks. 4,9 |
| 5 | Ekstraktif DCM (%) | 0,17±0,04 | 0,11±0,07 | 0,20±0,01 | 0,13±0,01 | 0,29±0,01 | maks. 0,2 |
| 6 | Abu (%) | 0,12±0,06 | 0,12±0,01 | 0,12±0,02 | 0,08±0,01 | 0,09±0,01 | maks. 0,15 |
| 7 | Abu tak larut asam (ppm) | 140,02±2,96 | 128,15±2,95 | 44,25±8,94 | 30,24±8,52 | 92,02±6,01 | maks. 100 |
| 8 | Ca (ppm) | 200,62±11,82 | 155,74±6,31 | 112,21±5,88 | 17,19±0,59 | 24,87±5,86 | maks. 150 |
| 9 | Fe (ppm) | 9,04±0,09 | 37,94±0,68 | 9,96±0,01 | 3,08±0,09 | 7,40±0,02 | maks. 10 |
| 10 | Viskositas (cP) | 9,32±0,02 | 10,24±0,05 | 9,11±0,05 | 8,21±0,03 | 9,39±0,01 | min. 6,2 |
| 11 | Viskositas intrinsik (mL/g) | 433±0,69 | 451±1,83 | 395±2,14 | 396±0,08 | 396±0,35 | min. 370 |
| 12 | Derajat cerah (%ISO) | 92,46±0,21 | 89,17±0,14 | 89,73±0,23 | 89,22±0,20 | 91,38±0,11 | min. 88 |

CATATAN 1 1 cP = 1 mPa.s

CATATAN 2 Kadar abu tidak larut asam juga dikenal kadar silika (sebagai SiO₂)

CATATAN 3 A: pulp rayon kayugarum proses sulfit asam

B: pulp rayon kayugarum proses sulfit asam

C: pulp rayon kayudaun proses prehidrolisis kraft

D: pulp rayon kayudaun proses prehidrolisis kraft

E: pulp rayon kayudaun proses sulfit asam

Perbedaan kandungan selulosa alfa pada pulp rayon disebabkan oleh perbedaan mekanisme reaksi yang terjadi pada proses pembuatan pulp. Pada proses prehidrolisis kraft, degradasi alkali pada selulosa terjadi melalui reaksi pengelupasan sedangkan pada proses sulfit asam degradasi selulosa terjadi melalui proses hidrolisis asam. Berbeda dengan reaksi pengelupasan, reaksi degradasi selulosa melalui hidrolisis asam menyebabkan terjadinya penurunan berat molekul selulosa. Akibatnya, pulp rayon sulfit asam akan memiliki distribusi berat molekul yang lebih luas dibandingkan pulp rayon prehidrolisis kraft. Karena distribusi berat molekul luas pada pulp rayon sulfit asam menyebabkan beberapa selulosa dengan berat molekul rendah akan larut pada larutan natrium hidroksida 17,5% saat analisis selulosa alfa sehingga kadar selulosa alfa akan lebih rendah. Selain itu, beberapa molekul xilan tahan alkali yang memiliki berat molekul tinggi akan tahan terhadap larutan natrium hidroksida 17,5%

sehingga akan berada pada bagian residu saat analisis selulosa alfa sehingga menyebabkan kandungan selulosa alfa pulp rayon proses prehidrolisis kraft akan lebih tinggi (Strunk, Eliasson, Hagglund, & Agnemo, 2011; Wollboldt, Zuckerstätter, Weber, Larsson, & Sixta, 2010).

S₁₀ dan S₁₈

Pulp rayon sulfit asam (pulp rayon A, B, dan E) cenderung memiliki kandungan S₁₀ dan S₁₈ yang lebih tinggi dibandingkan pulp rayon prehidrolisis kraft (pulp rayon C dan D) sesuai dengan penelitian Sixta (2000) dan Seta, Sugesty, & Kardiansyah, (2014). Seperti yang terlihat pada Tabel 1, hanya pulp rayon C dan D yang memenuhi persyaratan kelarutan dalam NaOH 10% dan 18% sesuai dengan SNI 938:2017. Serat rayon dengan kekuatan yang tinggi hanya dapat diperoleh jika bahan baku yang digunakan memiliki nilai S₁₀ dan S₁₈ yang rendah (Hinck, Casebier, & Hamilton, 1985).

Kelarutan pulp dalam alkali pada temperatur tertentu menunjukkan tingkat kemurnian pulp rayon. Semakin rendah kelarutan pulp dalam alkali maka kemurnian pulp rayon akan semakin tinggi. Larutan NaOH 10% melarutkan hemiselulosa dan selulosa terdegradasi, sedangkan larutan NaOH 18% hanya melarutkan hemiselulosa. Polimer dengan berat molekul kurang dari 25000 g/mol ($\log M_w = 4,4$) larut dalam fraksi S_{10} sedangkan polimer dengan berat molekul kurang dari 8000 g/mol ($\log M_w = 3,9$) larut dalam fraksi S_{18} (Strunk, 2012b).

Tingginya kelarutan dalam NaOH 10% yang menunjukkan tingginya kandungan hemiselulosa pada pulp rayon dapat menimbulkan masalah pada saat *spinning* di proses pembuatan serat rayon. Struktur hemiselulosa yang bercabang membuat benang rayon rapuh dan mudah putus. Selain itu, hemiselulosa dapat membuat kualitas produk rayon menjadi rendah karena hemiselulosa cenderung menyebabkan warna serat rayon menjadi kekuningan (Li, Fu, Zhou, & Zhan, 2015; Sugesty & Setiawan, 2016). Serat rayon yang berkualitas dapat diperoleh jika proses pembuatannya menggunakan pulp rayon C dan D.

Untuk menambah akurasi data hasil analisis, evaluasi kemurnian pulp rayon tidak cukup hanya dilakukan analisa selulosa alfa ataupun kelarutan pulp dalam alkali tetapi perlu dilakukan analisis gula, misalnya, dengan melakukan analisis dengan Kromatografi Ion sehingga dapat digunakan untuk menentukan secara akurat komposisi selulosa dan hemiselulosa pada pulp rayon (Strunk *et al.*, 2011).

Ekstraktif

Kadar ekstraktif pulp rayon komersial berkisar antara 0,13-0,29%. Berdasarkan persyaratan SNI 0938:2017, kadar ekstraktif maksimal yang diperbolehkan adalah 0,2% sehingga pulp rayon E tidak memenuhi persyaratan. Ekstraktif yang terlalu tinggi menimbulkan masalah yang serius pada proses pembuatan rayon viskosa. Selain dapat bereaksi bahan kimia pada proses pembuatan rayon viskosa, senyawa tersebut dapat menyumbat lubang *spinneret* sehingga menghambat proses *spinning*. Senyawa resin pada ekstraktif dapat menurunkan *filterability* viskosa.

Meskipun kandungan ekstraktif yang terlalu tinggi merugikan, kandungan ekstraktif yang terlalu rendah juga tidak diinginkan karena senyawa ekstraktif membantu penetrasi bahan

kimia seperti alkali dan karbon disulfida pada proses pembuatan rayon viskosa (Sixta, 2008).

Di industri pulp, tingginya kandungan senyawa ekstraktif dapat diatasi dengan memperlakukan pulp menggunakan *low density* dan *high density centrifugal cleaner* atau dengan cara menambahkan surfaktan atau dispersan (Sugesty, Kardiansyah, & Pratiwi, 2015).

Abu dan Abu Tidak Larut Asam

Kadar abu kelima pulp rayon komersial berada di bawah kadar maksimal yang dipersyaratkan SNI 938:2017 yaitu 0,15% seperti terlihat pada Tabel 1. Sedangkan untuk kadar abu tak larut asam, tiga jenis pulp rayon kadarnya lebih tinggi dari 100 ppm sehingga tidak memenuhi persyaratan. Pulp tersebut adalah pulp rayon A dan B dengan kadar abu tak larut asam 140,02 dan 128,15 ppm. Kadar abu dan abu tidak larut asam harus serendah mungkin karena merupakan pengotor yang harus disisihkan dari pulp rayon. Senyawa tersebut dapat menyebabkan *filterability* viskosa menjadi sangat buruk sehingga viskosa tidak dapat diproses lebih lanjut. Abu dan abu tak larut asam juga menimbulkan masalah operasional seperti pengerakan, korosi, degradasi bahan kimia pemutih pada proses pemutihan, dsb (Batalha *et al.*, 2012).

Perbedaan kondisi prehidrolisis menghasilkan pulp rayon dengan kualitas yang berbeda. Prehidrolisis menggunakan asam akan menghasilkan pulp rayon dengan kandungan abu tidak larut asam yang lebih rendah dibandingkan prehidrolisis menggunakan air. Hal ini disebabkan senyawa anorganik dalam serpih kayu tersisihkan karena bereaksi dengan asam. Tingginya kandungan abu dan abu tak larut asam dapat diatasi dengan memperlakukan pulp belum putih dengan larutan asam sulfat. Selain menyisihkan abu dan abu tak larut asam, kandungan kalsium dan besi juga akan turun (Tripathi, Mishra, Sharma, Chakrabarti, & Varadhan, 2011).

Ca dan Fe

Diantara kelima pulp rayon komersial, pulp rayon A dan B tidak memenuhi persyaratan SNI 938:2017 karena kandungan kalsium melebihi batas yang dipersyaratkan. Pulp rayon A dan B memiliki kandungan kalsium yang melebihi persyaratan mutu SNI dan pulp rayon B memiliki kandungan besi yang lebih tinggi dibandingkan spesifikasi SNI. Karena itu, sebelum digunakan pada proses pembuatan rayon, pulp rayon harus dicuci menggunakan air deion untuk menyisihkan sebagian besar ion besi. Pencucian dengan air deion mampu menyisihkan garam kalsium dan magnesium, besi, serta tembaga.

Tingginya kandungan kalsium pada pulp rayon menyebabkan pelarutan pulp rayon yang tidak sempurna saat proses pembuatan serat rayon. Endapan yang terbentuk dapat diamati dengan mikroskop pada serat rayon yang dipotong melintang berupa butiran berwarna hitam (Paulitz, Sigmund, Kosan, & Meister, 2017). Pada proses pembuatan serat rayon, tingginya kandungan garam kalsium pada viskosa maupun *dope* dapat menimbulkan penyumbatan pada lubang *spinneret*.

Logam kalsium juga menimbulkan masalah selama pemrosesan kimia di industri tekstil. Pada proses pewarnaan, ion kalsium dapat membentuk kompleks dengan pewarna sehingga membuat proses pewarnaan menjadi tidak efektif karena intensitas warna yang dihasilkan menjadi berkurang. Kalsium yang terkandung pada serat rayon juga menimbulkan masalah selama pemrosesan dan penggunaan konsumen. Saat dipanaskan (misalnya dijemur atau disetrika), ion kalsium pada serat rayon dapat membentuk padatan CaCO_3 yang kemudian akan bereaksi lebih lanjut membentuk kristal bening $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ dan CaCO_3 (Andrade & Colodette, 2014).

Pada pembuatan rayon dengan proses lyocell yang menggunakan pelarut N-Methylmorpholine-N-oxide (NMMO), kandungan logam berat seperti besi dan tembaga pada pulp rayon harus dihindari karena dapat menyebabkan dekomposisi pelarut yang serius melalui reaksi autokatalitik.

Viskositas

Viskositas pulp rayon dinyatakan sebagai viskositas centiPoise (cP) dan viskositas intrinsik (mL/g). Viskositas pulp rayon mulai dari yang terendah berturut-turut pulp rayon D (8,21 cP), C (9,11 cP), A (9,32 cP), E (9,39 cP), dan B (10,24 cP). Sedangkan viskositas intrinsik pulp rayon dari yang terendah berturut-turut C (395 mL/g), D dan E (396 mL/g), A (433 mL/g), dan B (451 mL/g).

Pulp rayon prehidrolisis kraft memiliki viskositas yang lebih rendah dibandingkan pulp rayon sulfit asam seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1. Pulp rayon C dan D yang merupakan pulp rayon prehidrolisis kraft memiliki viskositas intrinsik dan cP yang lebih rendah dibandingkan pulp rayon A, B, dan E. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian (Duan *et al.*, 2015; Ibarra, Köpcke, Larsson, Jääskeläinen, & Ek, 2010; Seta, Sugesty, Kardiansyah, 2014; Strunk, Eliasson, Hagglund & Agnemo, 2011). Pulp rayon prehidrolisis kraft memiliki viskositas yang lebih rendah karena residual lignin pada pulp belum putih memiliki selektivitas dan reaktivitas terhadap bahan kimia pemutih yang lebih rendah.

Oleh karena itu, selama proses pemutihan pulp tidak hanya lignin yang terdegradasi namun juga selulosa sehingga viskositas pulp rendah (Sixta, 2000).

Pulp rayon yang memiliki viskositas yang terlalu tinggi atau terlalu rendah tidak dikehendaki pada proses pembuatan serat rayon. Viskositas pulp rayon yang terlalu rendah menyebabkan *filterability* viskosa menjadi sangat rendah dan membuat benang rayon rapuh dan mudah putus. Pulp rayon yang viskositasnya terlalu rendah akan memiliki keterbatasan dalam penggunaan karena tidak cocok untuk digunakan sebagai bahan baku serat rayon tetapi cocok untuk digunakan untuk produksi turunan selulosa seperti selulosa asetat, selulosa nitrat atau karboksimetil selulosa. Sedangkan viskositas pulp rayon yang terlalu tinggi menimbulkan kesulitan untuk menurunkan viskositas pulp rayon pada proses pemeraman (*aging*) saat proses pembuatan serat rayon viskosa karena memerlukan waktu yang lebih lama. Industri rayon biasanya menambahkan MnSO_4 sebagai katalis untuk mendegradasi selulosa (Purwita & Sugesty, 2018). Viskositas yang terlalu tinggi menyebabkan viskosa menjadi sangat kental sehingga menyulitkan pada proses *spinning* (Javed, Iqbal, Ahmad, & Naeem, 2014). Viskositas intrinsik pulp rayon yang ideal untuk digunakan pada proses pembuatan rayon berkisar antara 400-600 mL/g dan viskositas tersebut akan diturunkan hingga 200-250 mL/g melalui proses pemeraman (Strunk, 2012a).

Pulp rayon sulfit asam memiliki keunggulan dibandingkan pulp rayon prehidrolisis kraft meskipun pulp tersebut memiliki viskositas intrinsik yang lebih tinggi. Pulp rayon sulfit asam lebih mudah didegradasi saat proses pemeraman karena memiliki degradasi viskositas yang lebih tinggi (Sixta, 2000).

Derajat cerah

Semua pulp rayon komersial yang digunakan pada penelitian memiliki derajat cerah yang memenuhi persyaratan SNI seperti yang terlihat pada Tabel 1. Pulp rayon dengan derajat cerah tinggi sangat disukai karena akan menghasilkan serat rayon dengan kualitas tinggi karena serat akan berwarna putih cerah. Meskipun pada saat proses pembuatan serat rayon ada tahapan pemutihan menggunakan hipoklorit, tetapi tidak mampu meningkatkan derajat cerah serat rayon terlalu tinggi sehingga derajat cerah pulp rayon sangat penting sebagai penentu kualitas serat rayon yang dihasilkan. Derajat cerah pulp rayon terutama dipengaruhi oleh urutan tahapan pemutihan yang digunakan sehingga baik pulp

rayon sulfit asam maupun prehidrolisis kraft memiliki derajat cerah lebih tinggi dari 89%.

5. KESIMPULAN

Pulp rayon komersial proses prehidrolisis kraft memiliki kandungan selulosa alfa yang lebih tinggi, S₁₀ dan S₁₈ yang lebih rendah, dan viskositas yang lebih rendah dibandingkan pulp rayon proses sulfit asam. Berdasarkan spesifikasi mutu pulp rayon sesuai SNI 938:2017, hanya ada dua jenis pulp rayon komersial yang memenuhi persyaratan mutu yaitu pulp rayon C dan D yang merupakan pulp rayon kayudaun dengan proses prehidrolisis kraft. SNI 938:2017 sudah dapat memfasilitasi persyaratan mutu pulp rayon yang diproduksi di Indonesia, tetapi persyaratan viskositas dan derajat cerah dapat ditingkatkan karena lebih rendah dibandingkan pulp rayon kayugarum sehingga diharapkan dapat memacu industri pulp rayon di Indonesia untuk meningkatkan kualitas pulp rayon yang dihasilkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Balai Besar Pulp dan Kertas, dan Teknisi Litkayasa yang telah membantu penelitian ini.

REFERENCES

- Andrade, M. F., & Colodette, J. L. (2014). Dissolving pulp production from sugar cane bagasse. *Industrial Crops and Products*, 52, 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.09.041>
- Ariyanti, R. (2018). *Kemenperin berharap pada industri pulp larut dan rayon untuk gantikan impor*. Retrieved July 5, 2018, from <http://industri.bisnis.com/read/20180228/257/743314/kemenperin-berharap-pada-industri-pulp-larut-dan-rayon-untuk-gantikan-impor>
- Badan Standardisasi Nasional. (2005). *SNI 08-7070-2005 cara uji kadar air pulp dan kayu dengan metode pemanasan dalam oven*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2009). *SNI 0442:2009 kertas, karton dan pulp - cara uji kadar abu pada 525 oC*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2010a). *SNI ISO 692:1982 pulp - cara uji kelarutan dalam alkali*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2010b). *SNI ISO 4276:1982 pulp - cara uji kadar abu tidak larut asam*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 5351:2012 pulp - cara uji bilangan viskositas limit (viskositas intrinsik) dalam larutan kuprietilendiamina (ced)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2014a). *SNI 2470-1:2014 kertas, karton, dan pulp - cara uji faktor pantul biru cahaya baur - bagian 1: Kondisi siang hari di dalam ruangan (derajat cerah iso)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2014b). *SNI ISO 3688:2014 Pulp - Cara Pembuatan Lembaran Pulp Laboratorium untuk Pengukuran Faktor Pantul Baur Biru (Derajat Cerah ISO)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). *SNI ISO 7213:2015 Pulp – Pengambilan contoh untuk pengujian (ISO 7213:1981, IDT)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017a). *SNI 8400:2017 Selulosa Alfa, Beta dan Gama dalam Pulp (T 203 cm-09, IDT)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017b). *SNI 8401:2017 Ekstraktif Terlarut pada Kayu dan Pulp (T 204 cm-07, IDT)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. <https://doi.org/10.5772/916>
- Badan Standardisasi Nasional. (2017c). *SNI 8402:2017 Viskositas Pulp (Metode Viskometer Kapiler) (T 230 om-13, IDT)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017d). *SNI 938:2017 Pulp Rayon*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Batalha, L. A. R., Colodette, J. L., Gomide, J. L., Barbosa, L. C. A., Maltha, C. R. A., & Gomes, F. J. B. (2012). Dissolving pulp production from bamboo. *BioResources*, 7(1), 640–651.
- Behin, J., Mikaniki, F., & Fadaei, Z. (2009). Dissolving pulp (alpha-cellulose) from corn stalk by kraft process. *Iranian Journal of Chemical Engineering*, 5(3), 14–28.
- Cao, S., Ma, X., Lin, L., Huang, F., Huang, L., & Chen, L. (2014). Morphological and chemical characterization of green bamboo (*Dendrocalamopsis oldhami* (Munro) Keng f.) for dissolving pulp production. *BioResources*, 9(3), 4528–4539. Retrieved from http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_09_3_4528_Cao_Gree

- n_Bamboo_Pulp_Production
Duan, C., Li, J., Ma, X., Chen, C., Liu, Y., ... Ni, Y. (2015). Comparison of acid sulfite (AS)- and prehydrolysis kraft (PHK)-based dissolving pulps. *Cellulose*, 22(6), 4017–4026. <https://doi.org/10.1007/s10570-015-0781-1>
- Glatfelter. (2019). *Paper moisture and relative humidity*. Retrieved February 17, 2019, from http://www.glatfelter.com/files/products/carbonless/Moisture_Humidity.pdf
- Herjanto, E. (2007). Analisis Perkembangan SNI Bidang Tekstil dan Produk Tekstil. *Jurnal Standardisasi*, 9(3), 116–122.
- Hinck, J. F., Casebier, R. L., & Hamilton, J. K. (1985). Dissolving pulp manufacture. *Pulp and Paper Manufacture*, 4, 213–243.
- Ibarra, D., Köpcke, V., Larsson, P. T., Jääskeläinen, A.-S., & Ek, M. (2010). Combination of alkaline and enzymatic treatments as a process for upgrading sisal paper-grade pulp to dissolving-grade pulp. *Bioresource Technology*, 101(19), 7416–7423. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.04.050>
- Javed, M. U., Iqbal, S., Ahmad, Z., & Naeem, M. S. (2014). *Viscose fiber strength and degree of polymerization*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/268629417_Viscose_Fiber_Strength_and_Degree_of_Polymerization
- Kementerian Perindustrian. (2018). *Analisis perkembangan industri edisi iv - 2018*.
- Kumar, H., & Christopher, L. P. (2017). Recent trends and developments in dissolving pulp production and application. *Cellulose*, 24(6), 2347–2365. <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1285-y>
- Li, G., Fu, S., Zhou, A., & Zhan, H. (2015). Improved cellulose yield in the production of dissolving pulp from bamboo using acetic acid in prehydrolysis. *BioResources*, 10(1), 877–886. <https://doi.org/10.15376/biores.10.1.877-886>
- Liu, Y., Shi, L., Cheng, D., & He, Z. (2016). Dissolving pulp market and technologies: Chinese prospective - a mini-review. *BioResources*, 11(3), 7902–7916. <https://doi.org/10.15376/biores.11.3.Liu>
- Luo, X., Liu, J., Wang, H., Huang, L., & 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), 1445–1457. <https://doi.org/10.1007/s10570-014-0234-2>
- Matin, M., Rahaman, M. M., Nayeem, J., Sarkar, M., & Jahan, M. S. (2015). Dissolving pulp from jute stick. *Carbohydrate Polymers*, 115, 44–48. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.08.090>
- Miao, Q., Tian, C., Chen, L., Huang, L., Zheng, L., & Ni, Y. (2015). Combined mechanical and enzymatic treatments for improving the Fock reactivity of hardwood kraft-based dissolving pulp. *Cellulose*, 22(1), 803–809. <https://doi.org/10.1007/s10570-014-0495-9>
- Nayeem, J., Sarkar, M., Wuadery, A. H., & Jahan, M. S. (2017). High purity dissolving pulp from jute. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 32(4), 623–629. <https://doi.org/10.3183/NPPRJ-2017-32-04-p623-629>
- Paulitz, J., Sigmund, I., Kosan, B., & Meister, F. (2017). Lyocell fibers for textile processing derived from organically grown hemp. *Procedia Engineering*, 200, 260–268. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.037>
- Purwita, C. A., & Sugesty, S. (2018). Pembuatan dan karakterisasi dissolving pulp serat panjang dari bambu duri (*Bambusa blumeana*). *Jurnal Selulosa*, 8(01), 21. <https://doi.org/10.25269/jsel.v1i01.232>
- Roselli, A., Hummel, M., Monshizadeh, A., Maloney, T., & Sixta, H. (2014). Ionic liquid extraction method for upgrading eucalyptus kraft pulp to high purity dissolving pulp. *Cellulose*, 21(5), 3655–3666. <https://doi.org/10.1007/s10570-014-0344-x>
- Seta, F. T., Sugesty, S., & Kardiansyah, T. (2014). Pembuatan nitroselulosa dari berbagai pulp larut komersial sebagai bahan baku propelan. *Jurnal Selulosa*, 4(2), 97–106.
- Sixta, H. (2000). Comparative evaluation of TCF bleached hardwood dissolving pulps. *Lenzinger Berichte*, 79(in), 119–128.
- Sixta, H. (2008). *Handbook of Pulp. Handbook of Pulp* (Vol. 1–2). Weinheim: Wiley-VCH. <https://doi.org/10.1002/9783527619887>
- Strunk. (2012a). Properties of cellulose pulps and their influence on the production of a cellulose ether. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 27(01), 024–034. <https://doi.org/10.3183/NPPRJ-2012-27-01-p024-034>
- Strunk, P. (2012b). *Characterization of Cellulose Pulps and The Influence of Their Properties on The Process and Production of Viscose and Cellulose Ethers*. Umeå Universitet.
- Strunk, P., Eliasson, B., Hagglund, C., & Agnemo, R. (2011). The influence of properties in cellulose pulps on the reactivity in viscose

- manufacturing. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 26(1), 81–89. <https://doi.org/10.3183/NPPRJ-2011-26-01-p081-089>
- Sugesty, S., Kardiansyah, T., & Pratiwi, W. (2015). Penggunaan xilanase pada pemutihan dissolving pulp (*Acacia crassicaarpa*). *Jurnal Selulosa*, 5(02), 99–106. <https://doi.org/10.25269/jsel.v5i02.80>
- Sugesty, S., & Setiawan, Y. (2016). Dissolving pulp from kenaf by bio-bleaching process. *Jurnal Selulosa*, 3(02). <https://doi.org/10.25269/jsel.v3i02.47>
- TAPPI. (2018). *TAPPI T 266 om-18 Determination of Sodium, Calcium, Copper, Iron, and Manganese in Pulp and Paper by Atomic Absorption Spectroscopy*. Peachtree Corners: TAPPI Press.
- Tripathi, S., Mishra, O. P., Sharma, N., Chakrabarti, S. K., & Varadhan, R. (2011). Quality improvement of rayon grade bamboo pulp by modified bleaching. *Jurnal of Korea TAPPI*, 43(2), 1–8.
- Wollboldt, R. P., Zuckerstätter, G., Weber, H. K., Larsson, P. T., & Sixta, H. (2010). Accessibility, reactivity and supramolecular structure of *E. globulus* pulps with reduced xylan content. *Wood Science and Technology*, 44(4), 533–546. <https://doi.org/10.1007/s00226-010-0370-2>
- Wu, C., Zhou, S., Li, R., Wang, D., & Zhao, C. (2015). Reactivity improvement of bamboo dissolving pulp by xylanase modification. *BioResources*, 10(3), 4970–4977. <https://doi.org/10.15376/biores.10.3.4970-4977>