

Kupersembahkan untuk yang terkasih
dan selalu penuh doa untukku
Bapak dan Ibu
Mas Ria, Mbak Ita, Mbak Iuti,
Mas Miming, Mbak Lollie dan
Dik Nina
Keponakanku Rahmad, Iqbal dan Ayu

F/TIP/1992/060

1992

PENGARUH UMUR KAYU ALBASIA (*Albazzia falcataria* (L) Fosberg) DAN KAYU KARET (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) TERHADAP SIFAT FISIK PULP SULFAT YANG DIPUTIHKAN

@Hak cipta milik IPB University

Oleh

SAPTARIYANTI ANJASARI KUSDIARNA PUTERI

F 24. 0950



1 9 9 2

**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
B O G O R**

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



SAPTARIYANTI ANJASARI KUSDIARNA PUTERI. F 24.0950. Pengaruh Umur Kayu Albisia (*Albizzia falcataria* (L) Fosberg) dan Kayu Karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) Terhadap Sifat Fisik Pulp Sulfat yang Diputihkan.

RINGKASAN

Meningkatnya kebutuhan akan kertas bermutu tinggi di negara kita menuntut diadakannya penelitian terhadap alternatif sumber bahan baku kertas yang masih potensial. Usaha ini dilakukan dalam proyek pengadaan Hutan Tanaman Industri (HTI). Di antara jenis pohon penghasil kayu yang dikembangkan adalah *Albizzia falcataria* (L) Fosberg dan *Hevea brasiliensis* Muell. Arg.

Proses sulfat merupakan salah satu alternatif proses pembuatan pulp kertas yang banyak digunakan di Indonesia. Pada pembuatan pulp, salah satu faktor yang mempengaruhi hasilnya adalah tingkat sulfiditas pada larutan pemasak. Mutu pulp juga akan dipengaruhi oleh jenis dan umur kayu asalnya.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari adanya pengaruh jenis dan umur kayu *Albizzia falcataria* (L) Fosberg dan *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. terhadap mutu pulp, serta kondisi pengolahan yang optimal.

Analisis mutu pulp diteliti berdasar konsumsi alkali, bilangan permanganat, rendemen pulp, kekuatan tarik,



ketahanan lipat, ketahanan sobek, ketahanan retak, derajat putih, opasitas cetak dan potensi noda.

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Lengkap Faktorial, dengan 3 perlakuan dan 2 ulangan. Perlakuan pertama adalah jenis dan umur kayu (A), dengan 5 taraf yaitu albasia 5, 10, 15 tahun dan karet 10 dan 20 tahun. Perlakuan kedua adalah tingkat sulfiditas yang digunakan yaitu 20, 22.5 dan 25 persen. Perlakuan ketiga adalah penggilingan serat dengan dua taraf, yaitu serat tidak digiling dan serat yang digiling sampai mencapai kehalusan 250 - 300 ml CSF.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat sulfiditas yang digunakan tidak mempengaruhi mutu pulp. Mutu pulp yang dihasilkan dipengaruhi oleh jenis dan umur kayu serta penggilingan serat.

Hasil optimal diperoleh dari jenis dan umur kayu albasia 10 tahun. Penggilingan serat memberikan hasil optimal untuk kekuatan tarik, kekuatan retak dan ketahanan lipat, tetapi akan menyebabkan penurunan pada kekuatan sobek.



PENGARUH UMUR KAYU ALBASIA (*Albizzia falcataria* (L) Fosberg)
DAN KAYU KARET (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) TERHADAP
SIFAT FISIK PULP SULFAT YANG DIPUTIHKAN

Oleh

SAPTARIYANTI ANJASARI KUSDIARNA PUTERI

F 24.0950

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

pada Jurusan Teknologi Industri Pertanian

di Fakultas Teknologi Pertanian

Institut Pertanian Bogor

1992

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

INSTITUT PERTANIAN BOGOR

BOGOR

INSTITUT PERTANIAN BOGOR
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

PENGARUH UMUR KAYU ALBASIA (*Albizzia falcataria* (L) Fosberg)
DAN KAYU KARET (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) TERHADAP
SIFAT FISIK PULP SULFAT YANG DIPUTIHKAN

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

pada Jurusan Teknologi Industri Pertanian

di Fakultas Teknologi Pertanian

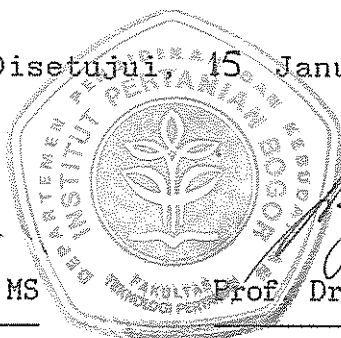
Institut Pertanian Bogor

Oleh

SAPTARIYANTI ANJASARI KUSDIARNA PUTERI

F 24.0950

Disetujui, 15 Januari 1992



Ir. RENA M. SIAGIAN, MS

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. WACHJUDDIN TJIPTADI, MS

Dosen Pembimbing I



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayahNya sehingga penulis bisa menyelesaikan tulisan ini sebagai laporan hasil penelitian masalah khusus untuk memperoleh gelar sarjana Teknologi Pertanian dari Institut Pertanian Bogor.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada

1. Prof. Dr. Ir. Wachjuddin Tjiptadi, MS selaku dosen pembimbing pertama yang juga merupakan pembimbing akademik

2. Ir. Rena M. Siagian, MS selaku pembimbing kedua

3. Dra. Nursyamsu Bahar, MS selaku kepala Balai Penelitian Pulp pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Industri Selulosa Bandung

4. Bapak, ibu dan keluarga besar H. A. D. Kusuma Negara

5. Rekan-rekan Agrieight

atas doa, perhatian dan bantuannya selama penulis menyelesaikan kuliah di IPB.

Semoga tulisan ini bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkannya.

Bogor, Januari 1992

Penulis





DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
I. PENDAHULUAN	1
A. LATAR BELAKANG	1
B. TUJUAN	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
A. KAYU SEBAGAI BAHAN BAKU PULP	4
B. KAYU ALBASIA DAN KAYU KARET	4
C. PEMBUATAN PULP	5
D. PROSES SULFAT	7
E. PEMUTIHAN	11
III. BAHAN DAN METODE	21
A. BAHAN	21
B. ALAT	21
C. METODE PENELITIAN	22
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	44
A. KONSUMSI ALKALI	44
B. BILANGAN PERMANGANAT	46
C. RENDEMEN PULP PUTIH DARI KAYU	47
D. SIFAT FISIK OPTIK PULP	50

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



E. INDEKS TARIK	54
F. PANJANG PUTUS	57
G. INDEKS SOBEK	58
H. INDEKS RETAK	60
I. KETAHANAN LIPAT	62
J. KEKUATAN FISIK SECARA UMUM	64
V. KESIMPULAN DAN SARAN	66
A. KESIMPULAN	66
B. SARAN	67
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN	71

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang menjiplak dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1.	Morfologi serat kayu albasia	5
Tabel 2.	Komposisi kimi kayu albasia	5
Tabel 3.	Morfologi serat kayu karet	6
Tabel 4.	Komposisi kimia kayu karet	7
Tabel 5.	Kondisi pemasakan serpih kayu	22
Tabel 6.	Kondisi pemutihan pulp sulfat	26

Hak cipta milik IPB University

1. Cipta dan/atau penemuan yang dihasilkan oleh dosen atau tenaga kependidikan IPB University, baik secara individu maupun bersama-sama dengan pihak lain, selama menjalankan tugas di IPB University, adalah hak cipta milik IPB University.
2. Dilarang menyalin, mengutip, atau memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR GAMBAR

Halaman

1. Gugus pembentuk lignin	15
2. Alat uji ketahanan lipat	33
3. Alat uji ketahanan retak	34
4. Alat uji ketahanan sobek menurut <i>Elemendorf</i>	36
5. Grafik hubungan nilai konsumsi alkali dan nilai bilangan permanganat	46
6. Grafik rendemen pulp untuk setiap tingkat sulfiditas	48
7. Grafik hubungan antara bilangan perma- nganat dengan rendemen pulp	49
8. Grafik hubungan antara derajat putih, opasitas cetak dan noda pada lembaran ..	52
9. Grafik nilai indeks tarik lembaran pulp	55
10. Grafik nilai panjang putus lembaran pulp	57
11. Grafik nilai indeks sobek lembaran pulp	59
12. Grafik nilai indeks retak lembaran pulp	61
13. Grafik hubungan ketahanan lipat lembar- an pulp	63
14. Grafik kekuatan fisik lembaran pulp ...	65

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran	1. Alir proses pada penelitian	72
Lampiran	2. Tabel konversi bilangan permanganat ke bilangan klor untuk menghitung kebutuhan klor	73
Lampiran	3. Rekapitulasi data penelitian	74
Lampiran	4a. Tabel sidik ragam konsumsi alkali ...	75
Lampiran	4b. Tabel uji Duncan Multiple Range's Test terhadap konsumsi alkali	75
Lampiran	5a. Tabel sidik ragam bilangan permanganat	76
Lampiran	5b. Tabel uji Duncan Multiple Range's Test terhadap bilangan permanganat ..	76
Lampiran	6a. Tabel sidik ragam rendemen pulp putih dari kayu	77
Lampiran	6b. Tabel uji Duncan Multiple Range's Test terhadap rendemen pulp putih dari kayu	77
Lampiran	7. Tabel sidik ragam derajat putih pulp	78
Lampiran	8. Tabel sidik ragam nilai opasitas cetak pulp putih yang digiling	79
Lampiran	9. Tabel sidik ragam potensi noda pada lembaran pulp putih	80
Lampiran	10a. Tabel sidik ragam nilai indeks tarik	81
Lampiran	10b. Tabel uji Duncan Multiple Range's Test terhadap nilai indeks tarik ...	82
Lampiran	11a. Tabel sidik ragam nilai panjang putus	83
Lampiran	11b. Tabel uji Duncan Multiple Range's Test terhadap nilai panjang putus ...	84

Lampiran 12a.	Tabel sidik ragam nilai indeks sobek	85
Lampiran 12b.	Tabel uji Duncan Multiple Range's Test terhadap nilai indeks sobek	86
Lampiran 13a.	Tabel sidik ragam nilai indeks retak	87
Lampiran 13b.	Tabel uji Duncan Multiple Range's Test terhadap nilai indeks retak	88
Lampiran 14a.	Tabel sidik ragam nilai ketahanan lipat	89
Lampiran 14b.	Tabel uji Duncan Multiple Range's Test terhadap nilai ketahanan lipat .	90

hak Cipta Didukung Undang-undang
Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menjiplak dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



I. PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Sejalan dengan lajunya pembangunan dan semakin meningkatnya perkembangan penduduk, maka kebutuhan kertas dalam negeri terus meningkat. Untuk memenuhi kebutuhan kertas dalam rangka mendukung program ekspor, maka kapasitas terpasang industri pulp dalam negeri akan ditingkatkan menjadi 2.5 juta ton dalam Pelita V ini (Hartoyo, 1989).

Kayu merupakan bahan baku yang penting untuk pulp kertas. Kayu dapat dibuat kertas setelah diadakan pemisahan terhadap komponen non selulosa yang tidak diperlukan, terutama lignin.

Bahan baku kayu untuk pembuatan berbagai jenis kertas terbagi dalam dua kelompok besar yaitu kayu daun jarum dan kayu daun lebar. Kayu daun jarum banyak terdapat di negara-negara subtropis, sedangkan di negara tropis seperti Indonesia, kayu yang banyak terdapat adalah kayu daun lebar.

Ketersediaan pulp dan kertas di Indonesia sampai sekarang belum cukup memadai untuk memenuhi kebutuhan pulp dan kertas yang semakin meningkat. Salah satu penyebabnya adalah kekurangan bahan baku kayu yang dapat dijadikan pulp. Jika di satu sisi banyak pihak yang

@Hak Cipta milik IPB University

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

menghendaki dipertahankannya hutan tropis demi keselamatan lingkungan dunia, di lain pihak kebutuhan kayu sebagai bahan baku industri pulp dan kertas terasa semakin mender-
sak.

Pencarian sumber bahan baku sangat memungkinkan dilakukan di Indonesia mengingat banyaknya jenis kayu yang dapat tumbuh dengan baik di berbagai tempat di Indonesia. Beberapa kebijaksanaan yang telah diambil oleh Departemen Kehutanan Republik Indonesia adalah dengan mengadakan proyek pembangunan Hutan Tanaman Industri (HTI).

Selain itu juga telah dikembangkan kerja sama antara Departemen Kehutanan dengan Departemen Pertanian, yaitu dengan pihak PT Perkebunan, untuk mengelola Hutan Tanaman Industri dengan jenis tanaman karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). Karet dari HTI tujuan utamanya bukan untuk produksi getah karet, walaupun sebelum tercapai usia tebang yang tepat getah dapat diproduksi.

Sebelum adanya pembangunan HTI, pemerintah telah lama menggalakkan program reboisasi hutan. Salah satu jenis pohon yang banyak ditanam dalam proyek reboisasi ini adalah *Albizzia falcataria* (L) Fosberg yang juga sering disebut albasia atau jeungjing.

Adanya berbagai alternatif jenis kayu yang dapat dijadikan bahan baku pulp dan kertas tentunya menghendaki penelitian lebih lanjut untuk mengetahui sifat-sifat

fisik dan kimianya yang akan mempengaruhi pulp dan kertas yang dihasilkan.

B. TUJUAN

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh data teknis mengenai penggunaan jenis kayu *Albizzia falcataria* (L) Fosberg dan *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. sebagai bahan baku pulp kertas dengan meneliti pengaruh umur dan tingkat sulfiditas dalam pemasakan secara proses sulfat serta penggilingan serat terhadap sifat fisik pulp yang sudah diputihkan.

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menyebarkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. KAYU SEBAGAI BAHAN BAKU PULP

Kayu pada umumnya terdiri atas selulosa, hemiselulosa dan lignin. Selain komponen tersebut terdapat juga zat ekstraktif di antara dinding sel kayu (Janes, 1969).

Selulosa merupakan komponen terbesar di dalam dinding sel serat kayu dengan rumus empiris $(C_6H_{10}O_5)_n$. Banyaknya selulosa pada setiap tanaman berbeda-beda, misalnya pada kapas terdapat sekitar 90 persen, sedangkan pada kayu berkisar antara 40 sampai 50 persen. Selulosa murni mengandung 44.4 persen karbon, 6.2 persen hidrogen dan 49.3 persen oksigen (Browning, 1963). Bobot molekul rata-rata selulosa biasanya sama dengan 2 500 satuan glukosa, atau 400 000.

B. KAYU ALBASIA DAN KAYU KARET

Albizzia falcataria (L) Fosberg atau albasia termasuk dalam famili tumbuhan *Mimosaceae*. Tumbuhan ini sudah lama dikenal oleh masyarakat luas, terutama di pulau Jawa, Maluku dan Irian Jaya. Tanaman ini juga dikenal dengan nama jeungjing dan sengan laut (Martawijaya, Kartasujana, Mandang, Prawira dan Kadir, 1989). Tanaman ini memiliki sifat pertumbuhan yang cepat dan dapat membantu menyuburkan tanah, sehingga banyak digunakan

Tabel 1. Morfologi serat kayu albasia^a

Jenis analisa	Nilai
Panjang serat (µm)	1.242
Diameter serat (µm)	46.0
Diameter lumen (µm)	39.4
Tebal dinding (µm)	3.3
Perbandingan Runkel	0.17

^aMartawijaya et al. (1989)Tabel 2. Komposisi kimia kayu albasia^b

Jenis analisa	Nilai
Kadar selulosa (%)	49.4
Kadar lignin (%)	26.8
Kadar pentosan (%)	15.6
Kadar abu (%)	0.6
Kadar silika (%)	0.2
Kelarutan dalam	
- Alkohol benzena (%)	3.4
- Air dingin (%)	3.4
- Air panas (%)	4.3
- NaOH 1 persen (%)	19.6

^bMartawijaya et al. (1989)

untuk merehabilitasi lahan kritis melalui program reboasasi dan penghijauan.

Kayu terasnya berwarna hampir putih atau coklat muda. Warna kayu umumnya tidak berbeda dengan warna kayu



teras (Martawijaya et al., 1989). Kayunya banyak digunakan untuk berbagai tujuan, misalnya sebagai bahan bangunan, bahan baku pulp, peti kemas dan barang kerajinan (Indriati, Bisowarno dan Kartiwa, 1985).

Pada umur 5 tahun, kayu albasia sudah dapat digunakan sebagai bahan baku pulp. Bobot jenisnya rendah yaitu rata-rata 0.33, sehingga sebagai bahan baku pulp cocok untuk pembuatan pulp rendemen tinggi (Pratiwi, 1983). Pada Tabel 1 dan Tabel 2 dapat dilihat morfologi dan komposisi kimia kayu albasia..

Kayu karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) termasuk dalam famili tanaman *Euphorbiaceae*. Banyak terdapat di pulau Jawa dan Sumatera serta Kalimantan sebagai tanaman perkebunan besar dan perkebunan rakyat untuk tujuan produksi getah. Pada umur pohon 25 - 30 tahun, pohon sudah tidak ekonomis untuk produksi getah karet, sehingga perlu diremajakan (Samingan, 1973).

Tabel 3. Morfologi serat kayu karet^c

Jenis analisa	Nilai		
Panjang serat (µm)	1.27	-	1.30
Diameter serat (µm)	15.50	-	22.00
Diameter lumen (µm)	10.70	-	16.40
Tebal dinding (µm)	2.40	-	2.90
Perbandingan Runkel	0.42	-	0.50

^cAlaudin et al. (1973)

Tabel 4. Komposisi kimia kayu karet^d

Jenis analisa	Nilai		
Kadar selulosa total (%)	60	-	68
Kadar selulosa Cross Bevan (%)	57	-	65
Kadar selulosa alfa (%)	39	-	45
Kadar pentosan (%)	19	-	22
Kadar lignin (%)	19	-	24
Kadar ekstrak alkohol benzena (%)	1.2	-	5.0
Kadar abu (%)	0.65	-	1.30

^dAlaudin et al. (1973)

Martawijaya (1972) mengemukakan sifat kayu karet, antara lain kayunya lunak, kayu teras sewaktu muda berwarna keputih-putihan dan lama kelamaan akan berwarna coklat muda, sedangkan bagian gubalnya berwarna putih tetapi tidak jelas batasnya dengan kayu teras. Bobot jenis kayu karet adalah 0.61. Pada Tabel 3 dan Tabel 4 dapat dilihat morfologi dan komposisi kimia kayu karet.

C. PEMBUATAN PULP

Pulp merupakan suatu suspensi serat terpisah yang diperoleh dari hasil pemisahan sumber serat lignoselulosa seperti kayu, bambu dan sisa hasil pertanian. Pulp sendiri merupakan bahan setengah jadi untuk pembuatan kertas, karton, papan serat dan dissolving pulp (Roliadi,

1989). Pengolahan pulp (pulping) merupakan proses pemisahan serat pada sumber serat dan membentuk suspensi serat. Menurut cara pembuatannya dikenal pulp mekanik, semi kimia dan kimia.

Pada pulp mekanik, proses perubahan kayu menjadi pulp terjadi akibat adanya gesekan mekanis antara permukaan dolok kayu dengan batu asah yang berputar dengan kecepatan tertentu. Pulp mekanik juga diperoleh dari pencabikan dan penggesekan secara mekanis terhadap serpih kayu dengan menggunakan piringan berputar. Rendemen pulp akan tinggi, tetapi sifat fisiknya kurang baik. Proses semi kimia merupakan penggabungan antara proses mekanik dengan proses kimia. Pulp yang dihasilkan juga memiliki sifat dan rendemen di antara sifat dan rendemen pulp mekanik dan pulp semi kimia.

Pada pembuatan pulp kimia digunakan bahan kimia sebagai larutan pemasak untuk memisahkan serat dari ikatannya. Pembuatan pulp secara kimia dikelompokkan dalam tiga metode, yaitu secara soda, sulfat dan sulfit (Casey, 1952).

Proses soda dan sulfat menggunakan larutan pemasak yang mengandung alkali yaitu NaOH, sehingga sering juga disebut pembuatan pulp secara alkali (alkaline pulping). Menurut Clark (1978), kertas yang dibuat dari pulp yang dimasak secara alkali akan lebih awet. Hal itu karena bahan kertas tersebut dapat menetralkan asam yang diserap

dari atmosfer sebagai SO_2 . Asam ini bersama dengan uap air dapat mendegradasi selulosa dengan cara memperpendek rantai molekulnya.

D. PROSES SULFAT

Proses sulfat atau proses kraft adalah proses pemisahan serat dengan menggunakan larutan pemasak utama yaitu natrium hidroksida (NaOH) dan natrium sulfida (Na_2S) untuk melarutkan bagian kayu yang tidak diinginkan.

Beberapa keuntungan dari proses sulfat adalah fleksibel dalam bahan baku, waktu pemasakan singkat, pulp dapat diputihkan sampai derajat kecerahan yang tinggi, kekuatan pulp tinggi dan bahan pemasak dapat didaur ulang. Kelemahannya adalah investasi yang tinggi untuk pabrik, masalah bau gas buangan dan biaya pemutihan pulp (Pasaribu dan Roliadi, 1989).

Rendemen, komposisi kimia dan sifat fisik pulp yang diperoleh dari proses sulfat ini dipengaruhi oleh bahan baku dan kondisi pengolahan.

1. Sulfiditas dan Alkali Aktif

Pada proses sulfat larutan pemasak yang digunakan dalam pemasakan dinyatakan dalam Na_2O (natrium oksida). Sulfiditas adalah perbandingan antara jumlah natrium sulfida (Na_2S) terhadap jumlah natrium hidroksida (NaOH) dan natrium sulfida (Na_2S) yang dinyatakan

dalam Na_2O . Sulfiditas dan alkali aktif sangat menentukan rendemen pemasakan dan juga sifat fisik mekanik pulp yang dihasilkan (Clayton, 1969).

Perubahan sulfiditas dapat menyebabkan terjadinya perubahan rendemen dan mutu pulp, karena dengan adanya sulfida pada alkali akan mempercepat delignifikasi dan juga memperbaiki mutu pulp. Bila sulfiditas dinaikkan dari 15 persen menjadi 25 persen, maka konsumsi alkali akan meningkat dan delignifikasi akan meningkat, artinya lignin yang larut akan semakin tinggi dan rendemen pulp yang dihasilkan akan semakin rendah (Browning, 1963).

Tingkat sulfiditas yang baik adalah di antara 20 dan 40 persen. Sulfiditas di bawah 20 persen akan menghasilkan pulp yang kurang kuat dan sukar diputihkan, sedangkan di atas 40 persen akan menyebabkan serat kayu mengalami delignifikasi berlebihan sehingga mutu pulp yang dihasilkan akan rendah. Sulfiditas larutan pemasak untuk proses sulfat berkisar antara 20 sampai 30 persen dan yang terbaik dan umum dipakai adalah 25 persen (Pasaribu dan Roliadi, 1989).

Konsentrasi alkali aktif pada proses sulfat biasanya antara 15 sampai 28 persen. Konsentrasi di bawah 15 persen mengakibatkan delignifikasi kurang sempurna dan konsentrasi di atas 28 persen mengakibatkan degradasi selulosa yang berlebihan (Casey, 1952).

Hidrolisis yang terjadi pada proses sulfat menghasilkan natrium hidroksida dan natrium hidrosulfida.



Hidrosulfida bertindak sebagai buffer dan cenderung memperkecil efek degradasi hidroksida terhadap selulosa. Efek terpenting dari hidrosulfida adalah reaksinya dengan lignin membentuk thiolignin atau gugus ^-SNa yang memungkinkan lignin lebih mudah larut (Wenzl, 1970).

Semua karbohidrat termasuk selulosa akan mengalami serangan dari larutan pemasak. Pektin dan pati dilarutkan secara sempurna sehingga tidak dapat ditemui lagi di dalam pulp. Sejumlah besar xylosa dan mannososa juga akan dilarutkan. Reaksi pemasakan juga akan memodifikasi karbohidrat non-selulosa di dalam pulp. Kelompok glukosa akan banyak hilang di dalam proses sulfat. Selulosa sendiri akan mengalami depolimerisasi (pemutusan panjang rantai) selama berlangsungnya pemasakan maupun dalam proses pemutihan.

2. Perbandingan Larutan Pemasak dengan Kayu

Clayton (1969) mengemukakan bahwa pembuatan pulp kimia dengan perbandingan larutan pemasak terhadap kayu yang tinggi, akan menyebabkan pemasakan yang lebih sempurna. Pada kondisi tersebut semua bahan

baku terendam dalam larutan pemasak, sehingga penetrasi larutan ke dalam dinding sel kayu akan lebih sempurna.

Perbandingan antara kayu dan larutan pemasakan yang baik adalah 1 berbanding 3 atau 1 berbanding 4. Semakin besar harga perbandingan tersebut dengan bahan kimia yang sama akan meningkatkan waktu pemasakan yang dibutuhkan. Semakin tinggi konsentrasi kimia aktif, maka akan semakin rendah perbandingan larutan pemasak dengan kayu.

3. Suhu dan Waktu Pemasakan

Suhu dan waktu pemasakan merupakan salah satu faktor pemasakan yang berpengaruh terhadap rendemen dan delignifikasi (Pasaribu dan Roliadi, 1989). Pemasakan pulp pada suhu yang terlalu tinggi dan waktu yang lama akan mengakibatkan degradasi selulosa, sehingga rendemen pulp akan menurun (Casey, 1952).

Pengolahan pada suhu tinggi atau konsentrasi yang tinggi akan mempersingkat waktu pemasakan. Pada proses sulfat yang umum dilakukan, waktu yang dibutuhkan adalah sekitar 1.5 jam pada suhu maksimal 170 °C. Pada suhu tersebut, seluruh waktu pemasakan akan berkisar dari 2 sampai 2.5 jam.

Pemasakan yang terlalu lama akan menurunkan sifat fisik pulp yang dihasilkan, sedangkan waktu pemasakan

yang terlalu singkat akan mengurangi kesempurnaan proses delignifikasi.

E. PEMUTIHAN PULP

Pemutihan merupakan proses penghilangan zat yang menimbulkan warna pada suatu bahan, seperti tekstil, pulp dan bahan lainnya. Pada pemutihan pulp zat yang terutama dihilangkan adalah lignin yang masih tersisa setelah pemasakan. Lignin tidak dapat dihilangkan seluruhnya pada saat pemasakan, karena akan menghasilkan pulp yang sifat fisiknya rendah (Casey, 1981).

Pada tahap pemutihan akan terjadi reaksi antara lignin dengan bahan pemutih. Sebenarnya rumus lignin di dalam kayu belum diketahui dengan pasti. Lignin merupakan bahan amorf yang membentuk sebagian dinding sel dan lamela tengah pada kayu. Lignin dicirikan oleh kandungan gugus metoksil (OCH_3) yang cukup banyak, dan oleh adanya gugus hidroksil, yang sebagian merupakan senyawa alam fenolik (Browning, 1967).

Lignin merupakan suatu polimer yang terbentuk dengan reaksi kondensasi dari beberapa gugus monomer yang mirip jenisnya. Biasanya gugus ini merupakan jenis fenil propane (C_6C_3) yang bergabung dengan berbagai cara. Pada kayu dari kelompok tumbuhan *angiospermae*, lignin terdiri dari gugus guaiacyl dan syringyl. Sifat ikatan pada fenil propane ini belum dipastikan, dan mungkin terdapat

beberapa jenis ikatan dalam satu molekul lignin. Pada Gambar 1 dapat dilihat bentuk molekul gugus pembentuk lignin.

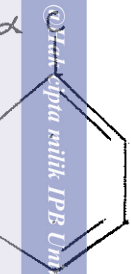
Terdapat dua reaksi yang terjadi selama berlangsungnya proses pemutihan, yaitu melarutkan dan menghilangkan lignin, dan mengubah lignin menjadi komponen yang tidak berwarna.

Pada proses pemasakan serpih kayu menjadi pulp dengan menggunakan proses kimia, sebagian lignin dan karbohidrat akan larut sehingga serat-serat selulosa akan terpisah. Sisa lignin dan karbohidrat yang tertinggal bersama selulosa banyaknya tergantung pada faktor yang digunakan pada waktu pemasakan seperti lamanya pemasakan, temperatur, konsentrasi cairan dan sebagainya.

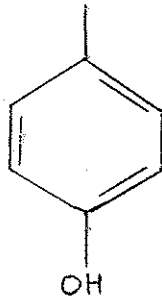
Pulp kimia yang belum diputihkan pada umumnya berwarna gelap, yang berasal dari sisa lignin. Warna pulp sulfat biasanya lebih gelap dari warna kayu asalnya atau jika dibandingkan dengan pulp sulfit (Clayton, 1969).

Pemutihan pulp kimia tanpa melarutkan sisa lignin tidak akan berhasil. Jadi dalam pemutihan pulp kimia lignin harus dilarutkan atau dihilangkan untuk mencapai derajat kecerahan yang diinginkan. Jadi proses pemutihan pulp kimia merupakan lanjutan proses delignifikasi.

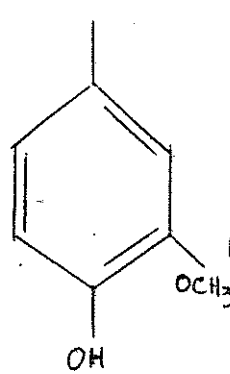
Pemutihan pulp kimia satu tahap (single-stage) hampir tidak pernah dilakukan. Proses pemutihan biasanya merupakan satu rangkaian yang terdiri dari beberapa macam



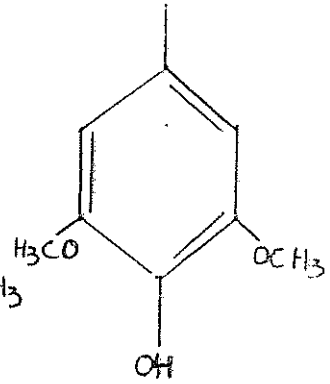
fenilpropana



p-hidroksifenil



guaiacyl



syringyl

Gambar 1. Gugus pembentuk lignin (Browning, 1967)

tahap (multi-stage), termasuk tahap ekstraksi alkali (Kraft, 1969). Prinsip pemutihan pulp kimia adalah pergantian antara tahap asam dan basa. Pada tahap asam digunakan senyawa pengoksidasi, dan dalam tahap basa, senyawa yang terbentuk dalam tahap asam akan diekstraksi.

Terdapat beberapa tahap dalam pemutihan pulp kimia, di antaranya adalah tahap klorinasi (C), ekstraksi alkali (E), tahap hipoklorit (H) dan tahap klordioksida (D). Banyaknya tahap yang digunakan dalam pemutihan bertingkat tergantung pada jenis kayu yang digunakan, jenis pemasakan dan tingkat kecerahan yang diinginkan.

1. Klorinasi

Pada dasarnya tahap klorinasi berfungsi merubah struktur lignin yang terdapat dalam pulp menjadi suatu

senyawa yang larut dalam air atau dalam alkali.

Klorinasi sebagai tahap pertama biasanya dilaksanakan sebelum tahap ekstraksi alkali, kemudian diikuti dengan tahap hipoklorit (Loras, 1981).

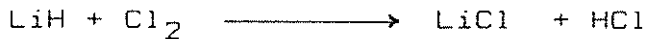
Bahan kimia yang digunakan pada tahap ini adalah klor. Banyaknya klor yang digunakan ditentukan berdasarkan bilangan permanganat dari pulp yang akan diputihkan. Terlalu banyak klor yang digunakan akan menyebabkan timbulnya serangan yang berlebihan terhadap karbohidrat sehingga akan dihasilkan rendemen dan kekuatan fisik yang rendah. Sebaliknya jika terlalu sedikit klor yang digunakan, maka akan menyebabkan pulp sulit untuk diputihkan.

Selama klorinasi akan terjadi reaksi awal yang cepat dan sangat eksotermis yang berlangsung selama 15 menit, dan disebut reaksi substitusi (Browning, 1967). Reaksi ini kemudian diikuti dengan reaksi yang lebih lambat yang berlangsung dengan kecepatan konstan untuk periode berikutnya dan merupakan reaksi oksidasi.

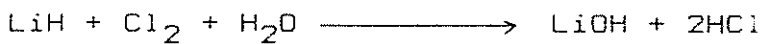
Pada tahap klorinasi akan terjadi reaksi substitusi, oksidasi dan adisi. Pada reaksi substitusi satu molekul klor (Cl_2) akan membentuk satu ion klorida (Cl^-), sedangkan dari hasil reaksi oksidasi akan dihasilkan dua ion klorida untuk setiap satu molekul Cl_2 . Reaksi adisi akan menghasilkan satu ion klorida

dan satu gugus hidroksil. Ketiga reaksi tersebut di atas dapat ditulis sebagai berikut di bawah ini (Li merupakan simbol bagian yang tidak bereaksi dari molekul lignin).

Substitusi :



Oksidasi :



Adisi :



Pada tahap klorinasi, reaksi oksidasi merupakan bagian yang penting, karena dalam reaksi ini dibentuk gugus-gugus asam sehingga lignin menjadi lebih mudah dilarutkan dalam ekstraksi alkali (Loras, 1981).

2. Ekstraksi Alkali

Ekstraksi alkali sebenarnya bukan merupakan tahap pemutihan, bahkan warna pulp akan kembali menjadi gelap setelah ditambahkan dengan larutan alkali. Tahap ini merupakan tahap pelarutan senyawa-senyawa yang terbentuk selama tahap klorinasi (Siagian, 1989). Tahap ini biasanya dilaksanakan setelah tahap klorinasi atau tahap hipoklorit serta fungsinya menetralkan gugus-gugus asam dan melarutkan hasil dekomposisi lignin yang telah dimodifikasi pada tahap klorinasi.

Pulp sulfat yang telah mengalami klorinasi akan mengandung sekitar 90 persen klor yang mengelilingi lignin. Dalam tahap ekstraksi alkali, klor yang mengelilingi lignin tersebut dipecahkan sehingga lignin dapat larut. Lignin terklorinasi ini dapat larut dalam alkali dan kandungan metoksilnya lebih kecil dari lignin asal.

Bahan kimia yang banyak digunakan sebagai pelarut pada tahap ini adalah NaOH. Banyaknya NaOH yang digunakan tergantung dari jenis kertas yang akan dibuat. Pada jenis kertas yang memerlukan kualitas yang baik, jumlah NaOH yang digunakan adalah satu sampai dua persen dari berat pulp kering oven yang telah diklorinasi.

Pada kondisi yang tepat, dalam tahap ekstraksi alkali diharapkan dapat terjadi reaksi yang berguna memutuskan dan menghilangkan senyawa klorlignin, menghilangkan hemiselulosa (pentosan) dari dalam serat, melemahkan senyawa asam lemak dan asam rosin yang terkandung dalam pulp, dan memendekkan rantai polisakarida pada serat.

3. Hipoklorit

Tahap hipoklorit biasanya dilaksanakan setelah tahap klorinasi dan ekstraksi alkali. Penggunaan hipoklorit sebagai tahap pertama dalam pemutihan

bertingkat juga dapat dilakukan, selain juga dapat digunakan dalam proses pemutihan tunggal (single-stage).

Bahan kimia yang banyak digunakan dalam tahap ini adalah klor yang berasal dari $\text{Ca}(\text{OCl})_2$. Jumlah klor yang digunakan sekitar 70 persen dari seluruh kebutuhan klor (yang meliputi tahap klorinasi dan tahap hipoklorit).

Loras (1981) mengemukakan bahwa reaksi antara lignin yang terdapat pada pulp yang telah mengalami klorinasi dan ekstraksi alkali dengan klor pada tahap hipoklorit akan menghasilkan gugus asam sehingga pH larutan dapat menurun. Selulosa akan diserang oleh klor pada nilai pH di bawah 7, sehingga untuk menghindari hal tersebut, pH larutan diusahakan lebih besar dari 7 dengan menambahkan alkali seperti NaOH . Kekuatan pulp lebih peka terhadap hipoklorit daripada terhadap klorinasi.

4. Klordioksida

Klordioksida dapat digunakan untuk pemutihan tahap tunggal, seperti juga hipoklorit. Bahan ini bereaksi spesifik dengan lignin dan tidak bereaksi dengan karbohidrat dalam kondisi pemutihan yang umum dilakukan (Kraft, 1969).

Reaksi antara klordioksida dengan lignin belum diperoleh dengan jelas. Tetapi diketahui bahwa dioksida cepat bereaksi dengan senyawa tak jenuh yang tidak memiliki gugus karboksil, dan dengan gugus fenol serta eteranya.

Jumlah klordioksida yang digunakan berkisar antara 0.3 sampai 1.2 persen. Kelarutan klordioksida dalam air rendah dan kelarutan ini akan menurun dengan meningkatnya suhu. Suhu pemutihan yang digunakan harus tinggi, dan suhu rata-rata yang cukup baik untuk digunakan adalah 70 °C. Jika pemutihan berlangsung di luar suhu tersebut, maka reaksi akan berlangsung dengan cepat dan seluruh klordioksida digunakan, sehingga pulp akan berada dalam suhu tinggi dan pH rendah, yang akan menyebabkan hilangnya kecerahan pulp dan juga menyebabkan kekuatan serat berkurang (Kraft, 1969).





III. BAHAN DAN METODE

A. BAHAN

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu albasia (*Albizia falcataria* (L) Fosberg) yang berasal dari daerah Sukabumi, dan kayu karet (*Hevea brasiliensis* Muehl. Arg.) yang berasal dari daerah Jasinga (Jawa Barat). Kelompok umur kayu albasia yang akan diteliti adalah 5, 10 dan 15 tahun, sedangkan untuk kayu karet adalah umur 10 dan 20 tahun. Bahan baku tersebut dalam bentuk gelondongan kemudian dijadikan serpih dan dijemur sampai mencapai kondisi kering udara.

Bahan kimia yang diperlukan adalah natrium hidroksida dan natrium sulfida untuk pemasakan kayu. Analisis laboratorium setelah pemasakan membutuhkan bahan kimia seperti larutan BaCl_2 10 persen, HCl 0.1 N, indikator phenolphthalein, H_2SO_4 4 N, KMnO_4 0.1N, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, KI 10 persen dan larutan kanji satu persen. Bahan kimia yang dibutuhkan dalam proses pemutihan adalah Cl_2 , NaOH dan NaOCl .

B. ALAT

Peralatan yang dibutuhkan untuk pemasakan pulp adalah digester rotary, disintegrator, alat penyaring, dan centrifuge. Pada tahap pemutihan dibutuhkan penangas

air. Pada pembuatan lembaran pulp dibutuhkan alat peng-
giling *PFI Mill Beater* dan pembuat lembaran. Dalam
pengujian sifat fisik lembaran pulp dibutuhkan alat
penguji kekuat-an tarik, ketahanan lipat, ketahanan
sobek, ketahanan retak dan derajat putih.

C. METODE PENELITIAN

Alir proses penelitian yang dilakukan dapat dilihat
pada Lampiran 1.

1. Pemasakan Pulp

Penelitian meliputi pemasakan serpih kayu secara
proses kimia sulfat dengan kondisi pemasakan seperti
pada Tabel 5.

Tabel 5. Kondisi pemasakan serpih kayu

Faktor	Kondisi
Alkali aktif	17 % x bobot bahan
Ratio Air : Kayu	1 : 4
Sulfiditas	20, 22.5, 25 persen dari Alkali aktif
Suhu maksimum	170° C
Waktu pemasakan	2 + 1.5 jam

Setelah pemasakan selesai maka pulp dicuci dengan
air bersih sehingga bebas dari larutan pemasak. Lindi
hitam (black liquor) hasil pemasakan ditampung untuk

dianalisis secara kimia. Analisis yang dilakukan terhadap pulp hasil pemasakan meliputi konsumsi alkali dan bilangan permanganat.

Pulp kemudian diuraikan serat-seratnya dengan menggunakan *disintegrator*, kemudian disaring dengan menggunakan saringan 80 mesh, diturunkan kadar airnya dengan menggunakan *centrifuge* dan terakhir disimpan dalam kantong plastik untuk perlakuan selanjutnya.

2. Analisis Kimia

a. Penetapan Konsumsi Alkali (TAPPI 625 m-45)

Black liquor (lindi hitam) hasil sisa pemasakan serpih kayu dan telah diketahui volumenya, diambil contoh sebanyak 50 ml. Kemudian ditambahkan 50 ml larutan BaCl_2 10 persen, dimasukkan ke dalam labu ukur 500 ml, dan diencerkan dengan air suling hingga mencapai tanda tera. Dikocok sampai tercampur benar dan diperoleh hasil yang homogen. Lalu dibiarkan selama sekitar 3 jam sampai terdapat adanya endapan dan bagian yang jernih di atasnya.

Dari bagian cairan yang jernih diambil sebanyak 50 ml dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Kemudian ditambahkan beberapa tetes indikator phenolphthalein dan dikocok secara perlahan-lahan hingga merata.

Selanjutnya terhadap hasil pengocokan tersebut dilakukan titrasi dengan asam klorida 0.1 N. Titrasi dihentikan sampai tepat terjadi perubahan warna, dan dicatat volume HCl yang digunakan.

Perhitungan banyaknya sisa alkali dalam larutan lindi hitam adalah sebagai berikut ini.

$$SA = \frac{500}{50 \times 50} \times \text{volume lindi hitam} \times \text{volume HCl (untuk titrasi)} \times N \text{ HCl} \times 40$$

Keterangan :

- N HCl = normalitas HCl dalam gram ekuivalen per liter
- 40 = berat molekul NaOH = faktor koreksi

$$\text{Konsumsi Alkali} = \frac{AA - SA}{\text{berat serpih kayu kering tanur yang dimasak (gram)}} \times 100 \text{ persen}$$

$$AA \text{ (Alkali asal)} = \text{berat serpih kayu kering mutlak yang dimasak (gram)} \times \text{Alkali aktif (\%)}$$

b. Penetapan Bilangan Permanganat Pulp (SII 0530 - 81)

Penetapan bilangan permanganat dilakukan untuk menentukan tingkat kematangan atau daya terputihkan dari suatu pulp kimia.

Bilangan permanganat adalah jumlah milimeter kalium permanganat 0.1 N yang terpakai oleh 1 gram pulp kering oven yang ditentukan pada kondisi standar.

Prosedur dimulai dengan menimbang contoh pulp kering oven sebanyak 1 gram ke dalam gelas piala 1 000 ml, kemudian ditambahkan 700 ml air suling, dan diaduk dengan pengaduk magnet agar serat terurai. Tambahkan 25 ml H_2SO_4 4 N dan 25 ml KMnO_4 0.1 N masing-masing, tambahkan air suling, sehingga volume menjadi 750 ml.

Kemudian diaduk dengan alat pengaduk selama 5 menit (diukur dengan stopwatch). Pada menit kelima ditambahkan larutan KI 10 persen sebanyak 10 ml, kemudian dititar dengan larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.1 N sampai terjadi perubahan warna dari warna coklat menjadi kuning.

Pada waktu mendekati akhir penitaran (warna kuning), ditambahkan indikator kanji sehingga warna menjadi biru, titrasi dilanjutkan sampai larutan menjadi bening. Volume tiosulfat yang digunakan dicatat, dan diulangi untuk blanko.

$$\text{Bilangan Permanganat} = \frac{(b - a) \times N \times 10}{K}$$

a = jumlah ml $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.1 N untuk titrasi contoh
 b = jumlah ml $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.1 N untuk titrasi blanko
 K = berat pulp kering oven (gram)
 N = normalitas larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ yang digunakan

3. Pemutihan Pulp

Pulp diputihkan dengan pemutihan lima tahap yaitu klorin, ekstraksi alkali, hipoklorit, ekstraksi alkali

dan klordioksida (C-E-H-E-D), kemudian dihitung rendemennya setelah pemutihan. Pemutihan dilakukan menurut kondisi yang tercantum pada Tabel 6.

Tabel 6. Kondisi pemutihan pulp sulfat^f

Tahap pemutihan	Pemberian		pH	Konsistensi (%)	Waktu (jam)	Suhu (°C)
	Klor	NaOH (%)				
Klorinasi	0.65 x bil. klor	-	2 - 3	3	1	25 - 27
Ekstraksi Alkali	-	1.5 x BK [*]	10 - 9	4.5	1	60
Hipoklorit	0.35 x bil. klor	-	9 - 8	4.5	3	40
Ekstraksi Alkali	-	1.5 x BK	10 - 9	4.5	1	60
Klordioksida	0.5	-	5 - 6	10	3	70

^f Siagian (1989)

* Berat kering pulp

a. Klorinasi

Pada tahap klorinasi sebanyak 150 gram pulp kering oven dimasukkan ke dalam kantong plastik, lalu ditambahkan dengan *soft water* dan air klor, kemudian kantong diikat dan dibiarkan dalam suhu kamar selama 1.5 jam.

Jumlah *soft water* dan air klor yang ditambahkan dihitung sebagai berikut ini.

Jumlah pulp kering oven = A

$$\text{Konsumsi air klor} = \frac{0.65 \times \text{bil. klor} \times A}{\text{konsentrasi air klor}} = B$$

Berat pulp basah = C

$$\text{Konsistensi} = \frac{A}{0.03} = D$$

Jumlah *soft water* yang dibutuhkan = D - C - B

Bilangan klor dicari dengan merubah bilangan permanganat ke bilangan klor dengan menggunakan angka konversi pada tabel yang tercantum dalam Lampiran 2.

b. Ekstraksi Alkali I

Setelah tahap klorinasi, pulp dicuci bersih dengan *soft water* sampai netral, lalu dikurangi kadar airnya dan ditimbang berat basahnya, kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik, ditambahkan dengan air dan larutan NaOH. Plastik kemudian diikat dan disimpan pada penangas dengan suhu 60 °C.

Jumlah *soft water* dan larutan NaOH yang ditambahkan dihitung sebagai berikut ini.

Jumlah pulp kering oven = A

$$\text{Konsumsi NaOH} = \frac{0.015 \times A}{\text{konsentrasi NaOH}} = B$$

Berat pulp basah = C





$$\text{Konsistensi} = \frac{A}{0.045} = D$$

$$\text{Jumlah soft water yang dibutuhkan} = D - C - B$$

Hipoklorit

Setelah ekstraksi alkali pertama, pulp dicuci kembali dengan *soft water* sampai netral, dikurangi kadar airnya dan ditimbang berat basahnya. Pulp basah lalu dimasukkan ke dalam kantong plastik, ditambahkan dengan *soft water* dan larutan natrium hipoklorit. Kantong plastik lalu diikat dan disimpan pada penangas dengan suhu 40 °C.

Jumlah *soft water* dan larutan hipoklorit yang ditambahkan dihitung sebagai berikut ini.

$$\text{Jumlah pulp kering oven} = A$$

$$\begin{aligned} \text{Konsumsi larutan} &= 0.35 \times \text{bil. klor} \times A \\ \text{natrium hipoklorit} &= \frac{\text{koncentrasi hipoklorit}}{\text{B}} \end{aligned}$$

$$\text{Berat pulp basah} = C$$

$$\text{Konsistensi} = \frac{A}{0.045} = D$$

$$\text{Jumlah soft water yang dibutuhkan} = D - C - B$$

Ekstraksi Alkali II

Ekstraksi alkali kedua dilakukan dengan cara yang sama dengan tahap ekstraksi alkali pertama.

Klordioksida

Setelah tahap ekstraksi alkali kedua, maka pulp dicuci sampai netral dan dikurangi kadar airnya, kemudian ditimbang. Pulp basah dimasukkan ke dalam kantong plastik dan ditambahkan dengan *soft water*, air klor dan garam natrium klorit (NaClO_2). Kantong plastik diikat dan reaksi dilangsungkan pada suhu penangas 70 °C.

Kebutuhan *soft water*, air klor dan NaClO_2 dihitung sebagai berikut ini.

$$\text{Jumlah pulp kering oven} = A$$

$$\text{Jumlah air klor} = \frac{0.01 \times 0.5 \times 71 \times A}{67.5 \times \text{konsentrasi air klor}} = B$$

$$\text{Jumlah } \text{NaClO}_2 = \frac{0.01 \times 90.5 \times A}{67.5 \times \text{konsentrasi air klor}} = C$$

$$\text{Berat pulp basah} = D$$

$$\text{Konsistensi} = \frac{A}{0.10} = E$$

$$\text{Jumlah } \text{soft water} \text{ yang dibutuhkan} = E - D - C - B$$

Setelah seluruh tahap pemutihan selesai dilakukan, pulp yang sudah putih kemudian disimpan dalam kantong plastik untuk perlakuan selanjutnya.



4. Pembuatan Lembaran Pulp

Pulp putih yang bobotnya setara dengan 45 gram pulp kering oven dicampur dengan air sehingga volumenya 450 ml, kemudian digiling dengan *PFI Mill Beater* sehingga mencapai derajat kehalusan serat 40 - 45 °SR atau 250 - 300 ml CSF. Setelah penggilingan pulp dicuci sampai bersih, dan diuraikan seratnya dengan *disintegrator* kemudian dimasukkan ke dalam kotak penampung. Pulp kemudian dibuat konsistensi yang volumenya 9 liter.

Pulp untuk contoh uji pengukuran derajat giling diambil dari konsistensi ini yaitu sebanyak 600 ml dan ditambah air sampai volumenya 1 000 ml. Contoh uji dimasukkan ke dalam tabung *freeness tester* dan ditutup. Banyaknya air yang tertampung pada saat tutup bagian bawah tabung dibuka menunjukkan derajat kehalusan penggilingan.

Untuk membuat satu lembaran pulp, 435 ml konsistensi dimasukkan ke dalam alat pembuat lembaran; kemudian divakumkan. Selanjutnya pulp yang tertinggal pada kawat kasa dipindahkan ke atas lempengan aluminium, diangin-anginkan hingga kering udara. Lembaran pulp ini selanjutnya dianalisis sifat fisiknya, seperti indeks tarik, panjang putus, indeks sobek, ketahanan lipat, indeks retak, derajat putih, opasitas cetak dan noda.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber ;

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang menyebarkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

5. Pengujian Sifat Fisik Mekanik Lembaran Pulp

Pengambilan contoh uji dilakukan sesuai dengan SII. 0444 - 81 tentang cara pengambilan contoh kertas dan karton, dan sebelumnya lembaran pulp yang akan diuji dikondisikan pada kondisi standar sesuai dengan SII. 0388 - 80 tentang kondisi ruang pengujian untuk lembaran pulp, kertas dan karton, paling sedikit selama 24 jam.

a. Cara Uji Ketahanan Tarik (SII. 0436 - 81)

Contoh uji sekurang-kurangnya sepuluh lembar jalur dengan ukuran panjang 200 mm dan lebar 15 mm dengan tepi sejajar.

Alat diatur sehingga pada posisi diam jarak antara kedua klem penjepit 180 mm. Hindarkan sentuhan pada jalur contoh uji yang ada di antara kedua penjepit. Pasang ujung jalur contoh uji pada penjepit bagian atas, kemudian ujung yang lain dipasang pada bagian bawah. Keraskan penjepit pada kedua ujung jalur contoh uji dan dijaga agar jalur tersebut terpasang merata. Longgarkan pengatur untuk penentuan daya regang. Motor dijalankan untuk mengayunkan bandulan. Ayunan akan berhenti pada saat jalur kertas putus. Besar penunjukan skala ketahanan tarik dan skala daya regang dicatat.

Ketahanan tarik dihitung berdasarkan nilai rata-rata pembacaan skala ketahanan tarik (dalam kg gaya) dari jalur contoh uji, dan dinyatakan dalam kilogram gaya atau dalam kilo newton tiap meter (1 kg gaya/15 mm sama dengan 0.6538 kN/m). Indeks tarik dan panjang putus diperoleh dari nilai ketahanan tarik tersebut.

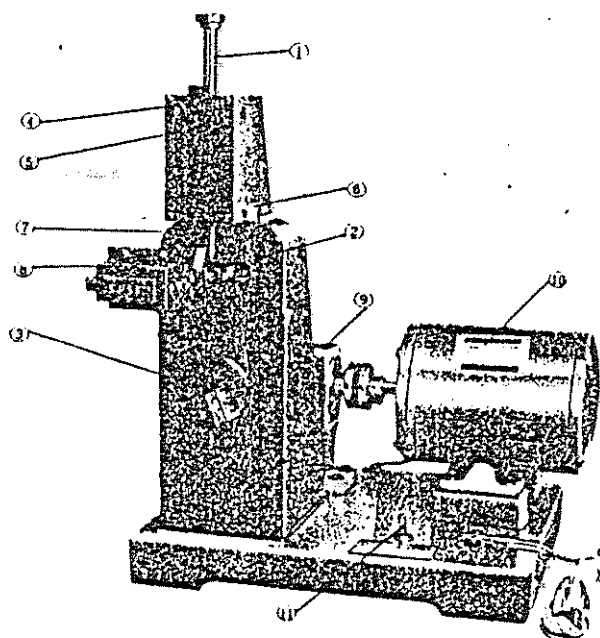
$$\text{Indeks tarik} = \frac{\text{ketahanan tarik (N/m)}}{\text{gramatur (g/m}^2\text{)}}$$

$$\text{Panjang putus} = \frac{\text{ketahanan tarik (kgf)} \times \text{panjang jalur (m)}}{\text{berat jalur (kg)}}$$

b. Cara Uji Ketahanan Lipat (SII. 0527 - 81)

Contoh uji berupa jalur dengan ukuran lebar 15 mm, dipersiapkan sebanyak sepuluh lembar. Alat yang dipergunakan untuk uji ketahanan lipat adalah MIT Folding Endurance Tester seperti terlihat pada Gambar 2.

Kepala pelipat diatur sehingga celah terbuka tempat contoh uji lurus ke bawah. Beban tarikan diatur sehingga menunjuk angka satu kilogram. Ujung contoh uji dijepit dengan kedua alat penjepit. Alat penahan tarikan dilonggarkan, sehingga contoh uji tertarik dengan gaya sebesar satu kilogram. Alat penghitung jumlah lipatan diatur hingga



- | | |
|-------------------|-------------|
| 1. Plunger | 7. Adjuster |
| 2. Penjepit | 8. Counter |
| 3. Kepala pelipat | 9. Gear box |
| 4. Penunjuk beban | 10. Motor |
| 5. Skala beban | 11. Switch |
| 6. Stopper | |

Gambar 2. Alat uji ketahanan lipat
(Anonymous, 1975)

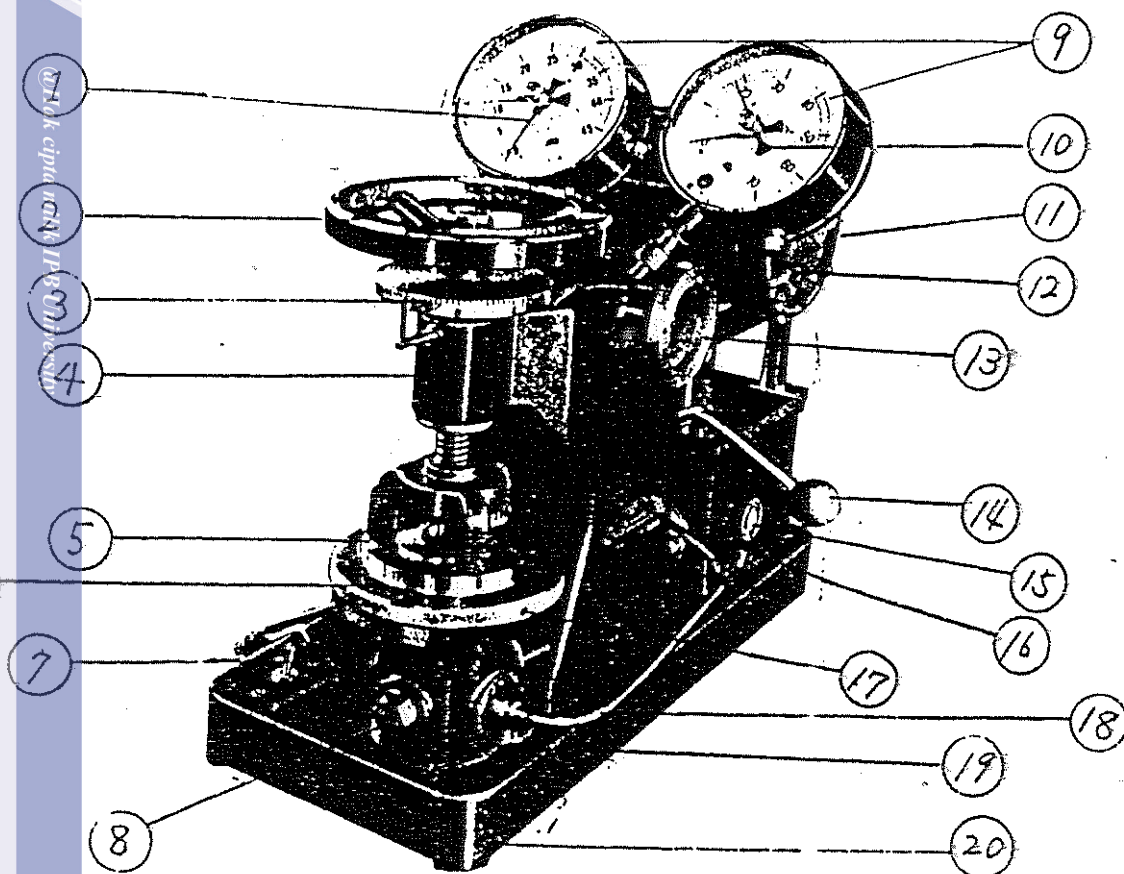
menunjuk angka nol. Motor dijalankan sampai contoh yang terlipat putus. Angka lipatan yang dibaca pada alat penghitung jumlah lipatan dibaca, dan angka ini merupakan nilai ketahanan lipat contoh yang diuji. Nilai ketahanan lipat dihitung sebagai nilai rata-rata dari data yang diperoleh.

Cara Uji Ketahanan Retak (SII. 0529 - 81)

Alat uji ketahanan retak yang digunakan adalah jenis Mullen, seperti terlihat pada Gambar 3.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengutip sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



- | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Load pointer | 11. Exhaust cock |
| 2. Specimen clamping handle | 12. Motor |
| 3. Clamping gauge | 13. Pressure gauge |
| 4. Frame | 14. Clutch lever |
| 5. Specimen clamping ring | 15. Oil gauge |
| 6. Specimen base | 16. Gear box |
| 7. Motor switch | 17. Rubber diaphragm clamping screw |
| 8. Stop nut | 18. Pressure feed pipe |
| 9. Pressure gauge | 19. Pressure chamber |
| 10. Maximum pointer (idle pointer) | 20. Bed |

Gambar 3. Alat uji ketahanan retak
(Anonymous, 1973)

Contoh uji berukuran 10 cm dan lebar 5 cm, dipersiapkan sebanyak 20 lembar.

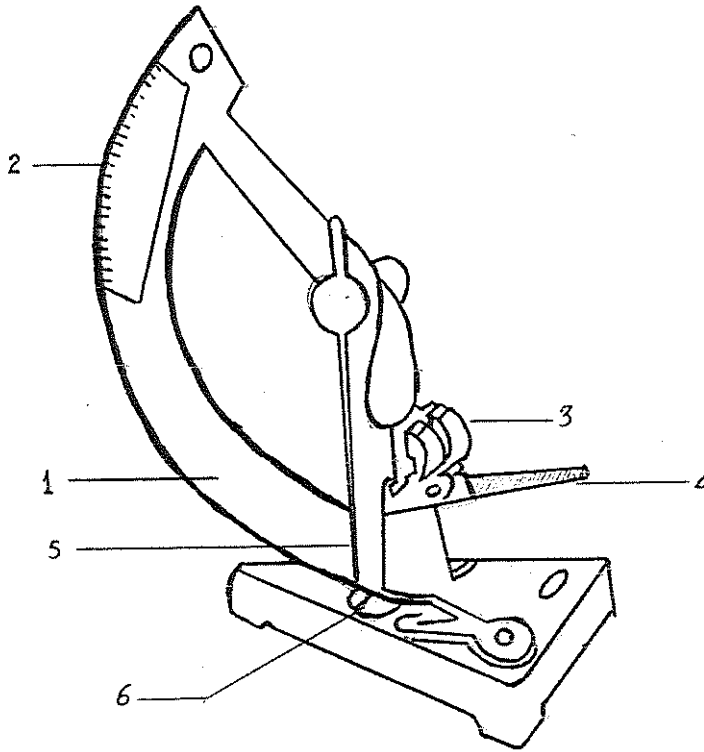
Contoh uji dijepit pada alat, dan jarum pengukur tekanan diatur sampai menunjukkan angka nol. Pompa dijalankan sehingga contoh uji retak, pompa penekan dikembalikan sampai posisi semula. Skala pembacaan dicatat dan merupakan nilai ketahanan retak. Indeks retak diperoleh dari nilai ketahanan retak.

$$\text{Indeks retak} = \frac{\text{Ketahanan retak (kPa)}}{\text{gramatur (g/m}^2\text{)}}$$

d. Cara Uji Ketahanan Sobek (SII. 0435 - 81)

Kekuatan sobek diuji dengan alat yang disebut *Elemendorf tester*, seperti terlihat pada Gambar 4. Setiap contoh uji dilakukan paling sedikit dua kali ulangan.

Pengujian awal perlu dilakukan untuk mengetahui berapa lembar contoh uji yang harus dipasang, agar penunjukkan skala mendekati angka 40. Sektor bandulan disiapkan pada kedudukan awal dan jarum penunjuk pada titik nol. Contoh uji dipasang pada alat penjepit dengan posisi vertikal searah lebar contoh uji. Penyobekan awal dilakukan dengan menggunakan pisau yang terdapat pada alat tersebut, dengan jarak sobek yang tersisa 43.0 mm. Alat



- | | |
|------------------|---------------------|
| 1. Bandulan | 4. Pisau |
| 2. Skala | 5. Jarum penunjuk |
| 3. Alat penjepit | 6. Penahan bandulan |

Gambar 4. Alat uji ketahanan sobek menurut *Elemendorf* (SII 0435 - 81)

penahan bandulan ditekan sehingga bandulan mengayun bebas. Setelah sobekan menyeluruh, bandulan ditahan dan dikembalikan pada kedudukan awal tanpa

mengganggu jarum penunjuk. Skala pada jarum penunjuk dicatat sebagai hasil pengujian.

Ketahanan sobek rata-rata dinyatakan dalam gram gaya.

$$\text{Ketahanan sobek rata-rata} = \frac{16 \times A}{B}$$

A = pembacaan skala rata-rata dalam gram gaya (gf)

B = jumlah lembar contoh uji yang dipergunakan pada satu saat pengujian

Hasil yang diperoleh dapat dinyatakan dalam satuan SI dengan konversi satu gram gaya sama dengan 9.807 milinewton (mN), dan dapat dinyatakan sebagai faktor sobek atau indeks sobek.

$$\text{Faktor sobek} = 100 \times \frac{\text{ketahanan sobek (mN)}}{\text{gramatur (g/m}^2\text{)}}$$

$$\text{Indeks sobek} = \frac{\text{ketahanan sobek (mN)}}{\text{gramatur (g/m}^2\text{)}}$$

e. Cara Uji Derajat Putih (SII. 0437 - 81)

Derajat putih merupakan perbandingan antara intensitas cahaya biru dengan panjang gelombang 457 nm yang dipantulkan oleh permukaan lembaran pulp dengan cahaya sejenis yang dipantulkan oleh permukaan lapisan magnesium oksida (MgO) pada kondisi

sudut datang cahaya 45° dan sudut pantul 0° , dan dinyatakan dalam persen.

Pengujian derajat putih dilakukan dengan alat yang disebut *brightness multimeter* yaitu dengan mencatat nilai L , a dan b . Nilai derajat putih dihitung dengan rumus berikut ini.

$$\text{Derajat putih} = 100 - (100 - L)^2 + (a^2 + b^2)^{1/2}$$

L menunjukkan kecerahan bahan, a menunjukkan warna merah bila bernilai positif dan warna hijau bila bernilai negatif, dan b menunjukkan warna kuning bila bernilai positif dan warna biru bila bernilai negatif.

f. Cara Uji Opasitas Cetak (SII. 0531 - 81)

Opasitas cetak adalah perbandingan antara faktor pantul pencahayaan (R_0) dengan faktor pantul pencahayaan intrinsik (R_∞) dan dinyatakan dalam persen. Faktor pantul (R) adalah perbandingan intensitas cahaya yang dipantulkan suatu bahan terhadap intensitas cahaya sejenis yang dipantulkan oleh sebuah alat pemantul cahaya (reflektor) sempurna dan diukur pada kondisi yang sama.

Faktor pantul pencahayaan (R_0) adalah faktor pantul dari selembar kertas dengan alas standar dasar hitam. Faktor pantul pencahayaan intrinsik

(R_{∞}) adalah faktor pantul pencahayaan dari setumpuk kertas dengan ketebalan yang cukup sehingga tidak tembus cahaya.

Lembaran contoh uji diatur membentuk tumpukan, sedemikian rupa sehingga uji faktor pantul (R) terhadap tumpukan tersebut dengan alas standar dasar hitam menunjukkan angka yang tetap. Alat yang digunakan adalah reflektometer, dilengkapi dengan filter hijau dan standar dasar hitam dengan faktor pantul pencahayaan (R_0) kurang dari 0.5 persen.

Faktor pantul pencahayaan intrinsik (R_{∞}) dari lembar teratas tumpukan dicatat, dan dijaga agar daerah pengukuran tidak tersentuh tangan. Lembar uji tersebut kemudian diambil dan diukur serta dicatat faktor pantul pencahayaannya (R_0) pada daerah yang sama dengan menggunakan alas standar dasar hitam, lalu dikembalikan ke dasar tumpukan. Pengujian diulangi pada lembar contoh berikutnya untuk sepuluh lembar contoh uji. Nilai R_0 dan R_{∞} rata-rata dari semua hasil pengujian dihitung.

$$\text{Opasitas cetak (persen)} = \frac{R_0}{R_{\infty}} \times 100$$

g. Cara Uji Noda (SII. 0829 - 83)

Noda adalah benda asing yang terdapat pada lembaran pulp, kertas atau karton, berwarna lain

dan mempunyai luas hitam setara minimal 0.04 mm^2 . Luas hitam setara adalah luas sebuah standar noda hitam bulat di atas dasar putih yang memberikan kesan pandangan yang sama dengan noda yang terdapat pada lembaran uji.

Untuk pengujian ini dibutuhkan peta standar noda yang memuat foto suatu seri standar noda hitam bulat di atas dasar putih dengan luas tertentu.

Contoh uji lembaran yang digunakan adalah 10 kumpulan contoh uji yang tiap kumpulannya mempunyai luas pengamatan minimal 0.075 m^2 untuk kedua permukaan. Permukaan lembaran uji disikat dengan hati-hati sehingga semua kotoran yang mudah lepas hilang. Noda yang terdapat pada permukaan lembaran uji dibandingkan dengan noda yang terdapat pada peta standar noda. Pengujian dilakukan pada kedua permukaan lembaran uji. Luas hitam setara semua noda yang luasnya 0.04 mm^2 atau lebih dicatat dan dijumlahkan. Luas seluruh lembaran uji yang diamati juga dicatat dalam satuan m^2 .

Sebuah noda mempunyai luas hitam yang setara dengan noda standar bila kedua noda tersebut tidak dapat dibedakan pada jarak panjang yang sama atau sama-sama menghilang bila diamati melalui kertas glasin transparan. Adanya noda yang tidak biasa, misalnya serangga atau kotoran yang terjadi karena

penanganan yang kurang baik, tidak dihitung sebagai noda.

$$\text{Noda (mm}^2/\text{m}^2) = \frac{\text{jumlah luas hitam setara (mm}^2\text{)}}{\text{luas daerah pengamatan (m}^2\text{)}}$$

6. Identifikasi Faktor

Perlakuan penelitian terdiri dari tiga faktor, yaitu faktor umur dan jenis kayu, faktor sulfiditas dan faktor penggilingan serat.

A = Faktor umur dan jenis kayu

A1 = 5 tahun (albasia)

A2 = 10 tahun (albasia)

A3 = 15 tahun (albasia)

A4 = 10 tahun (karet)

A5 = 20 tahun (karet)

B = Faktor sulfiditas

B1 = 20 persen

B2 = 22.5 persen

B3 = 25 persen

C = penggilingan serat

C1 = tanpa penggilingan

C2 = penggilingan 250 - 300 ml CSF

7. Model Rancangan

Rancangan yang dilakukan pada penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap Faktorial dengan dua

kali ulangan dengan formulasi sebagai berikut ini (Hicks, 1982 dan Sudjana, 1985).

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + AB_{ij} + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + \epsilon_{l(ijk)}$$

di mana

$$i = 1, 2, 3, 4, 5$$

$$j = 1, 2, 3$$

$$k = 1, 2$$

$$l = 1, 2$$

Y_{ijkl} = Variabel respon karena pengaruh bersama taraf ke- i faktor A, taraf ke- j faktor B dan taraf ke- k faktor C yang ada pada pengamatan ke- l

μ = Efek rata-rata yang sebenarnya

A_i = Efek sebenarnya dari taraf ke- i faktor A

B_j = Efek sebenarnya dari taraf ke- j faktor B

C_k = Efek sebenarnya dari taraf ke- k faktor C

AB_{ij} = Efek sebenarnya dari interaksi antara taraf ke- i faktor A dengan taraf ke- j faktor B

AC_{ik} = Efek sebenarnya dari interaksi antara taraf ke- i faktor A dengan taraf ke- k faktor C

BC_{jk} = Efek sebenarnya dari interaksi antara taraf ke- j faktor B dengan taraf ke- k faktor C

ABC_{ijk} = Efek sebenarnya dari interaksi antara taraf ke- i faktor A dengan taraf ke- j faktor B dan taraf ke- k faktor C



$\epsilon_1(ijk)$ = Efek sebenarnya dari kesalahan percobaan pada taraf ke- i faktor A, taraf ke- j faktor B, taraf ke- k faktor C dan ulangan ke- l

8. Analisis Data

Data penelitian ini berupa data primer, yang didapatkan dari hasil pengamatan langsung. Data yang diperoleh selanjutnya diuji dengan ANAVA. Apabila terdapat pengaruh yang nyata pada salah satu faktor atau interaksi faktor, maka dilakukan uji lanjutan dengan Duncan Multiple Range's Test (DMRT). Uji lanjutan ini juga dilakukan untuk memperoleh ranking nilai rata-rata perlakuan (Siegel, 1985).

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber ;
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menyebarkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian pada semua karakteristik pulp yang diamati, memperlihatkan bahwa tingkat sulfiditas yang digunakan tidak menghasilkan perbedaan yang nyata. Hal ini menunjukkan bahwa kisaran tingkat sulfiditas sebesar 20, 22,5 dan 25 persen tidak mempengaruhi sifat pulp yang diteliti. Rekapitulasi data secara keseluruhan dapat dilihat pada Lampiran 3.

A. KONSUMSI ALKALI

Lampiran 4a memperlihatkan analisis sidik ragam terhadap nilai konsumsi alkali tidak berbeda nyata pada tingkat keyakinan 99 persen, tetapi berbeda nyata pada tingkat keyakinan 95 persen. Faktor perlakuan yang mempengaruhi hanya umur dan jenis kayu yang digunakan. Faktor sulfiditas dan interaksi faktor perlakuan tidak mempengaruhi konsumsi alkali.

Uji lanjutan pada Lampiran 4a memperlihatkan nilai rata-rata tertinggi adalah pada perlakuan A5B1 dan A4B1, yaitu kayu karet umur 20 tahun dan 10 tahun dengan tingkat sulfiditas 20 persen. Nilai rata-rata terendah adalah pada perlakuan A3B1, yaitu albasia 15 tahun dengan tingkat sulfiditas 20 persen. Terlihat bahwa kedua titik ekstrem tersebut diperoleh dengan tingkat sulfiditas 20 persen, yang kembali menegaskan bahwa tingkat sulfiditas dalam hal ini tidak memberikan perbedaan yang nyata.

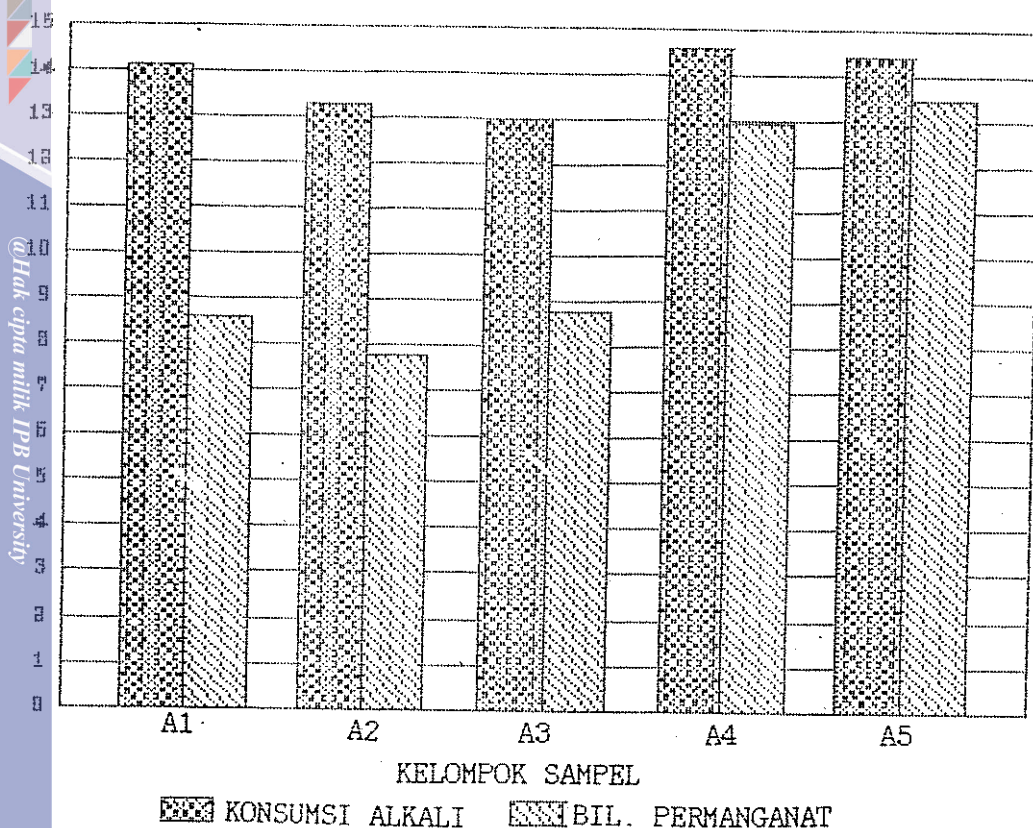
Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa kelompok kayu karet memiliki nilai konsumsi alkali yang lebih besar daripada kelompok kayu albasia. Di dalam kelompok kayu karet sendiri, nilai konsumsi alkali untuk kayu karet umur 10 tahun lebih besar daripada kayu karet umur 20 tahun.

B. BILANGAN PERMANGANAT

Bilangan permanganat pada pulp coklat hasil pemasakan merupakan indikasi kemampuan pulp tersebut untuk diputihkan, karena bilangan permanganat meunjukkan banyaknya lignin yang masih terdapat pada pulp setelah pemasakan. Semakin tinggi bilangan permanganat, maka kemampuan pulp untuk diputihkan akan berkurang.

Analisis sidik ragam pada Lampiran 5a memperlihatkan bahwa bilangan permanganat hanya dipengaruhi oleh faktor umur dan jenis kayu, tetapi tidak dipengaruhi oleh sulfiditas. Hal ini menunjukkan bahwa tiap level sulfiditas yang digunakan tidak akan membedakan hasil yang diperoleh.

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa nilai rata-rata bilangan permanganat yang paling tinggi adalah pada sampel dengan perlakuan A5B3, yaitu sampel dari kayu karet umur 20 tahun dengan tingkat sulfiditas 25 persen. Nilai terendah adalah pada sampel dengan perlakuan A1B3,



Gambar 5. Grafik hubungan nilai konsumsi alkali dan nilai bilangan permanganat

yaitu sampel dari kayu albasia umur 5 tahun dengan sulfiditas 25 persen.

Secara keseluruhan kelompok faktor A5, yaitu kayu karet umur 20 tahun, memiliki nilai rata-rata bilangan permanganat yang paling tinggi, diikuti dengan kelompok A4 yaitu kayu karet umur 10 tahun. Kelompok yang paling rendah nilai bilangan permanganatnya adalah A2, yaitu kayu albasia umur 10 tahun.

Hal ini memperlihatkan bahwa kayu karet ternyata mempunyai kadar lignin yang lebih tinggi dari pada kelompok kayu albasia, sehingga proses delignifikasi pada

pemasakan kayu karet masih meninggalkan kandungan lignin yang lebih besar daripada sisa lignin pada kayu albasia. Hubungan antara konsumsi alkali dengan nilai bilangan permanganat dapat dilihat pada Gambar 5.

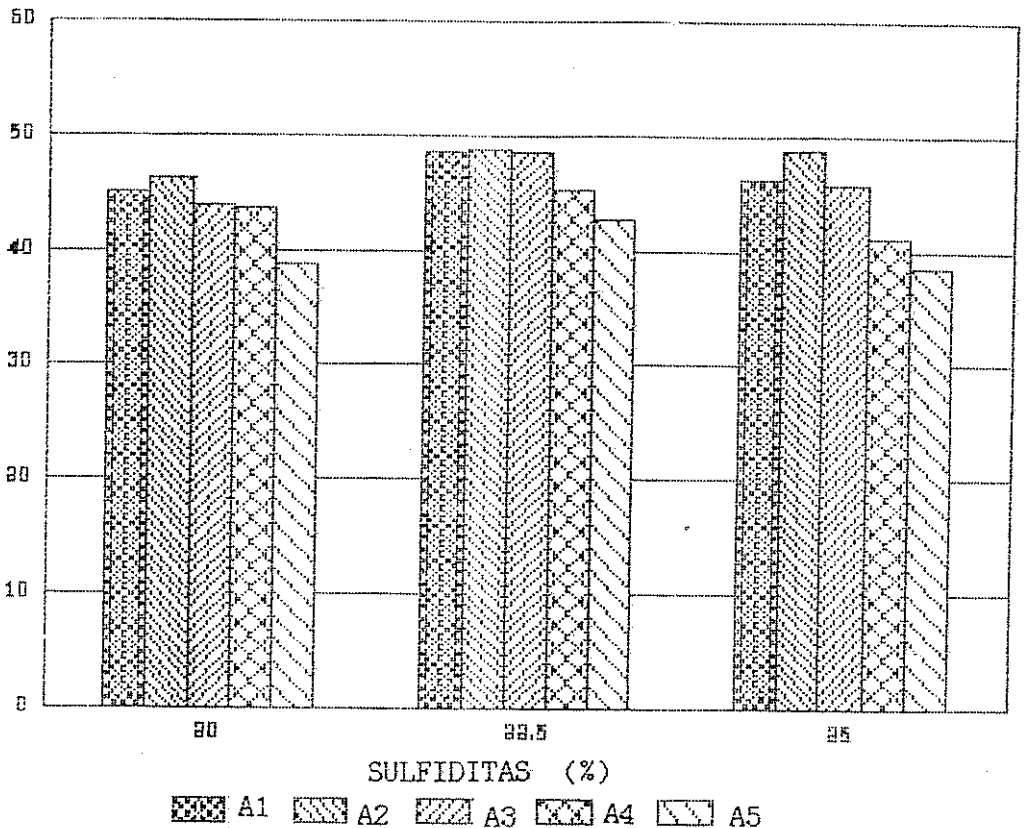
Selanjutnya nilai bilangan permanganat ini akan mempengaruhi kemampuan pulp untuk diputihkan. Penampakan pulp coklat kayu karet lebih gelap jika dibandingkan dengan pulp coklat dari kayu albasia. Pada perlakuan dan kondisi pemutihan yang seragam, hal ini akan terlihat pada perbedaan nilai derajat putih pulp. Secara keseluruhan, nilai bilangan permanganat yang diperoleh masih memungkinkan tercapainya derajat putih pulp yang baik. Nilai bilangan permanganat yang disarankan oleh Kraft (1969) adalah di bawah 17, sedangkan pada hasil penelitian maksimal nilai bilangan permanganat adalah 13.825.

C. RENDEMEN PULP PUTIH DARI KAYU

Rendemen yang dihitung dari jumlah pulp putih terhadap jumlah kayu asal berkisar dari 38.58 persen sampai 48.71 persen. Rendemen pulp biasanya dipengaruhi oleh faktor pemasakan dan jenis kayu yang dimasak.

Analisis sidik ragam pada Lampiran 6a menyatakan bahwa faktor pemasakan berupa sulfiditas tidak mempengaruhi perbedaan rendemen pulp putih. Faktor perlakuan yang mempengaruhi adalah jenis dan umur kayu yang dijadikan pulp.

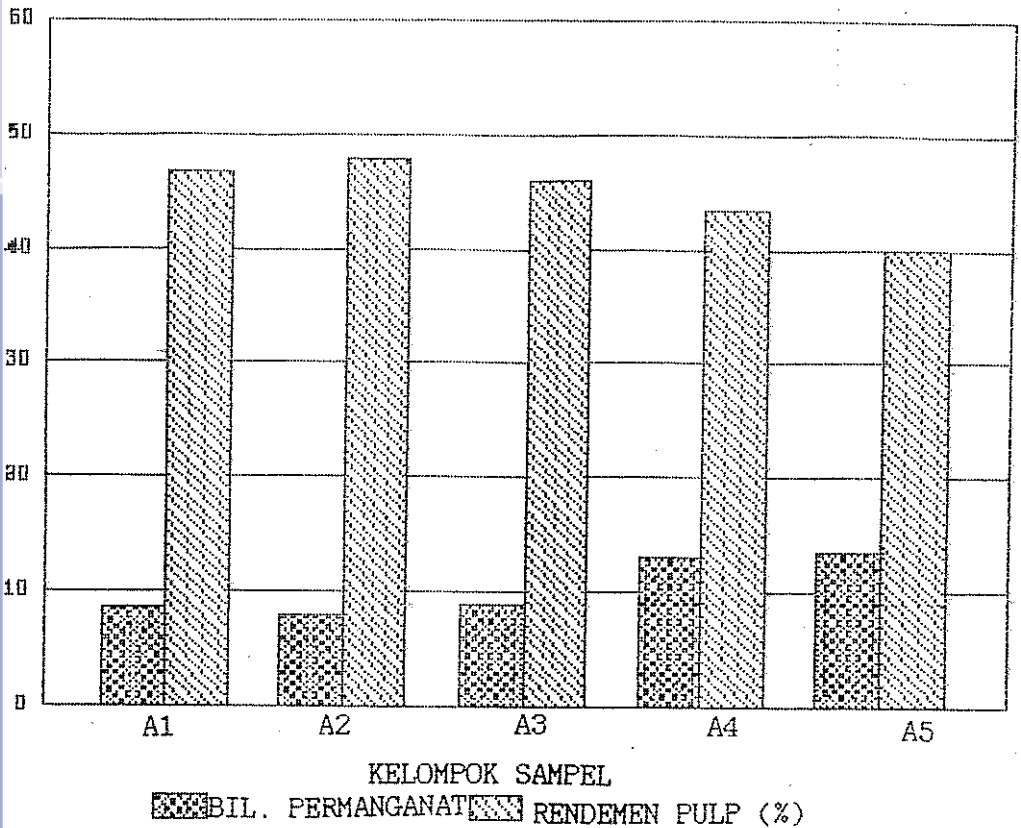
Tidak berpengaruhnya faktor sulfiditas dapat dilihat dari kecenderungan hasil yang sama untuk setiap tingkat sulfiditas, seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik rendemen pulp untuk setiap tingkat sulfiditas

Rendemen pulp biasanya dipengaruhi oleh proses delignifikasi pada saat pemasakan maupun pemutihan. Jika kayu masih mengandung lignin yang tertinggal dari proses pemasakan, maka pada proses pemutihan lignin akan dihilangkan lebih lanjut.





Gambar 7. Grafik hubungan antara bilangan permanganat dengan rendemen pulp

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa rendemen pulp paling tinggi diperoleh dari kelompok kayu albasia. Kayu karet yang mengandung lebih banyak lignin daripada kayu albasia, dalam proses pemutihan akan mengalami pengurangan lignin lebih lanjut, sehingga rendemennya akan semakin kecil. Hubungan antara rendemen dengan kandungan lignin yang ditunjukkan oleh bilangan permanganat dapat dilihat pada Gambar 7. Semakin tinggi nilai konsumsi alkali maupun bilangan permanganat, maka rendemen akan semakin rendah.



Fakta yang diperoleh pada rendemen pulp berbanding terbalik dengan fakta yang diperoleh pada bilangan permanganat. Rendemen tertinggi diperoleh dari kelompok faktor A2, sedangkan rendemen terkecil diperoleh dari kelompok faktor A5.

SIFAT FISIK OPTIK PULP

Sifat fisik optik pulp yang diamati dalam penelitian ini adalah derajat putih, opasitas cetak dan noda pada lembaran pulp putih. Analisis sidik ragam dan uji lanjutan terhadap ketiga sifat tersebut dapat dilihat pada Lampiran 7, Lampiran 8 dan Lampiran 9.

Analisis sidik ragam yang dilakukan pada tingkat keyakinan 95 dan 99 persen, tidak memperlihatkan adanya perbedaan nyata akibat adanya faktor-faktor perlakuan. Faktor yang dapat mempengaruhi sifat fisik optik tersebut biasanya berupa faktor pemasakan dan jenis kayu, serta jenis pemutihan dan kondisi pemutihan.

Jenis pemutihan dan kondisi pemutihan yang dialami oleh seluruh sampel percobaan adalah sama, sehingga faktor yang mungkin mempengaruhi adalah jenis dan umur kayu serta tingkat sulfiditas. Tetapi kedua faktor tersebut juga tidak memberikan hasil yang berbeda nyata.

Tidak adanya pengaruh faktor pemasakan dan jenis serta umur kayu karena kondisi dan jenis pemutihan yang dilakukan dapat menutupi pengaruh kedua faktor tersebut.

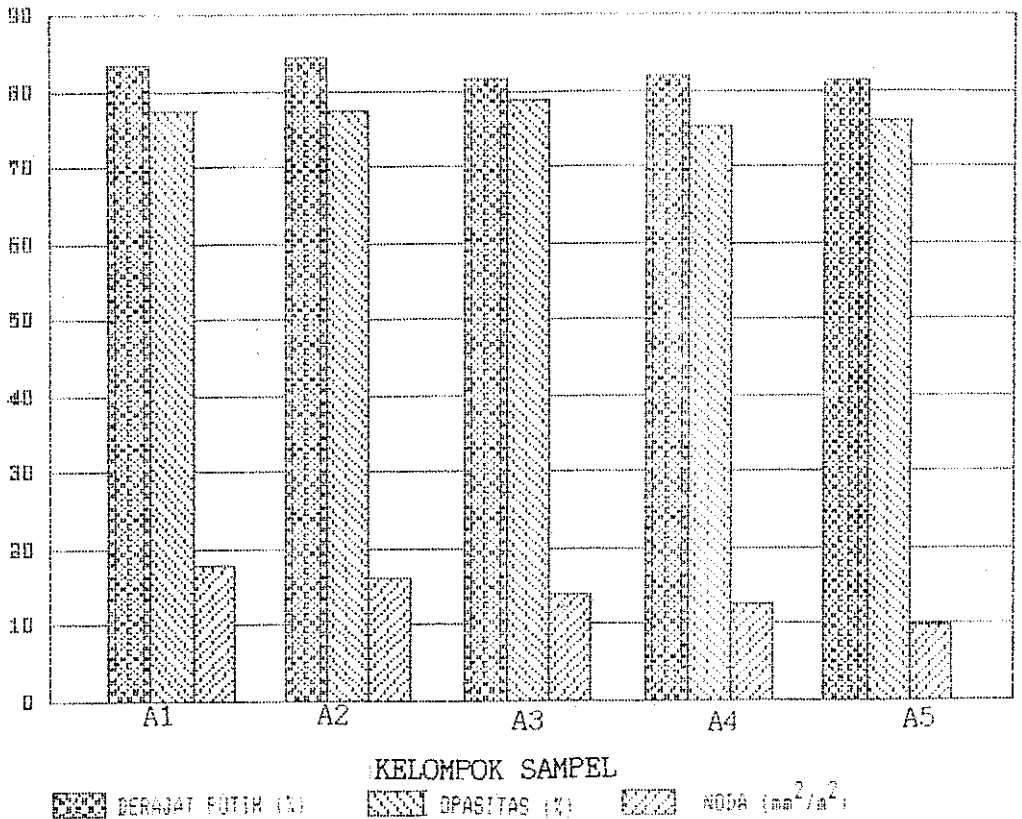
Pemutihan dilakukan dalam 5 tahap., yaitu C-E-H-E-D. Menurut Kraft (1969), pemutihan dengan 5 tahap seperti itu dapat menghasilkan pulp dengan derajat putih di atas 70 persen GE, artinya dapat menghilangkan cukup banyak lignin yang masih tersisa. Semakin sempurna penghilangan lignin yang tersisa pada pulp, maka akan semakin tinggi derajat putih yang dicapai.

Seluruh pulp putih yang dihasilkan memiliki derajat putih rata-rata di atas 80 persen GE, sehingga masih memenuhi spesifikasi derajat putih untuk pulp sulfat pada Standar Industri Indonesia yaitu minimal 80 persen GE (SII. 0830 - 83). Nilai tertinggi derajat putih adalah untuk sampel A2B3 dengan derajat putih 86.65 persen GE, sedangkan yang terendah adalah pada sampel A5B3 dengan nilai derajat putih 80.45 persen GE.

Opasitas cetak biasanya dibutuhkan untuk kertas bermutu tinggi. Opasitas cetak secara sederhana dapat diartikan sebagai perbandingan antara derajat hitam lembaran pulp terhadap derajat putihnya, dan dinyatakan dalam persen. Pada pulp yang sudah diputihkan, biasanya nilai opasitas cetak akan sedikit lebih rendah dari nilai derajat putih.

Faktor lain yang juga dapat mempengaruhi nilai opasitas cetak adalah penggilingan serat. Jika penggilingan makin halus, maka lembaran kertas akan semakin transparan, akibatnya nilai opasitas cetaknya rendah.

Dalam penelitian ini, nilai opasitas cetak diamati pada lembaran pulp putih yang sudah mengalami penggilingan dan mencapai derajat kehalusan serat yang relatif sama, yaitu pada kisaran 250 sampai 300 ml CSF.



Gambar 8. Grafik hubungan antara derajat putih, opasitas cetak dan noda pada lembaran

Analisis sidik ragam pada Lampiran 8 memperlihatkan bahwa opasitas cetak juga tidak dipengaruhi oleh perlakuan. Pada uji lanjutan, nilai rata-rata opasitas cetak berkisar dari 74.42 pada sampel A4B2 sampai 81.46 pada sampel A3B1.



Noda pada lembaran pulp atau kertas biasanya berasal dari zat ekstraktif pada pulp, dan noda ini dikenal dengan istilah *pitch trouble* yang dapat menyulitkan pembentukan lembaran dan pemutihan kertas (Pasaribu dan Roliadi, 1989). Penelitian ini mengamati faktor noda pada lembaran, karena adanya dugaan awal bahwa faktor ini akan memberikan pengaruh pada kekuatan fisik lembaran pulp yang dihasilkan. Dugaan ini terutama ditujukan pada sampel A4 dan A5 yang merupakan kayu karet, dan ada kemungkinan mengandung zat ekstraktif yang cukup banyak. Sebagai pembanding, maka kayu albasia yaitu sampel A1, A2 dan A3 juga diamati faktor nodanya.

Analisis sidik ragam memperlihatkan bahwa tidak ada faktor perlakuan yang memberikan perbedaan nyata, baik pada tingkat keyakinan 99 persen, maupun 95 persen. Nilai rata-rata noda pada lembaran yang diperoleh berkisar dari $27.5 \text{ mm}^2/\text{m}^2$ pada sampel A1B2 sampai $6.25 \text{ mm}^2/\text{m}^2$ pada sampel A1B3. Hal ini memperlihatkan bahwa kelompok kayu albasia dan kayu karet memiliki potensi noda yang sama. Selain itu, nilai yang diperoleh masih berada di bawah standar SII untuk pulp sulfat putih, yaitu maksimal $50 \text{ mm}^2/\text{m}^2$ (SII.0830 - B3).

Kayu karet yang digunakan tidak banyak mengandung zat ekstraktif (terutama getah karet), karena dalam pembuatan pulp, yang digunakan adalah bagian kayu, sedangkan getah karet banyak terdapat di bagian dekat

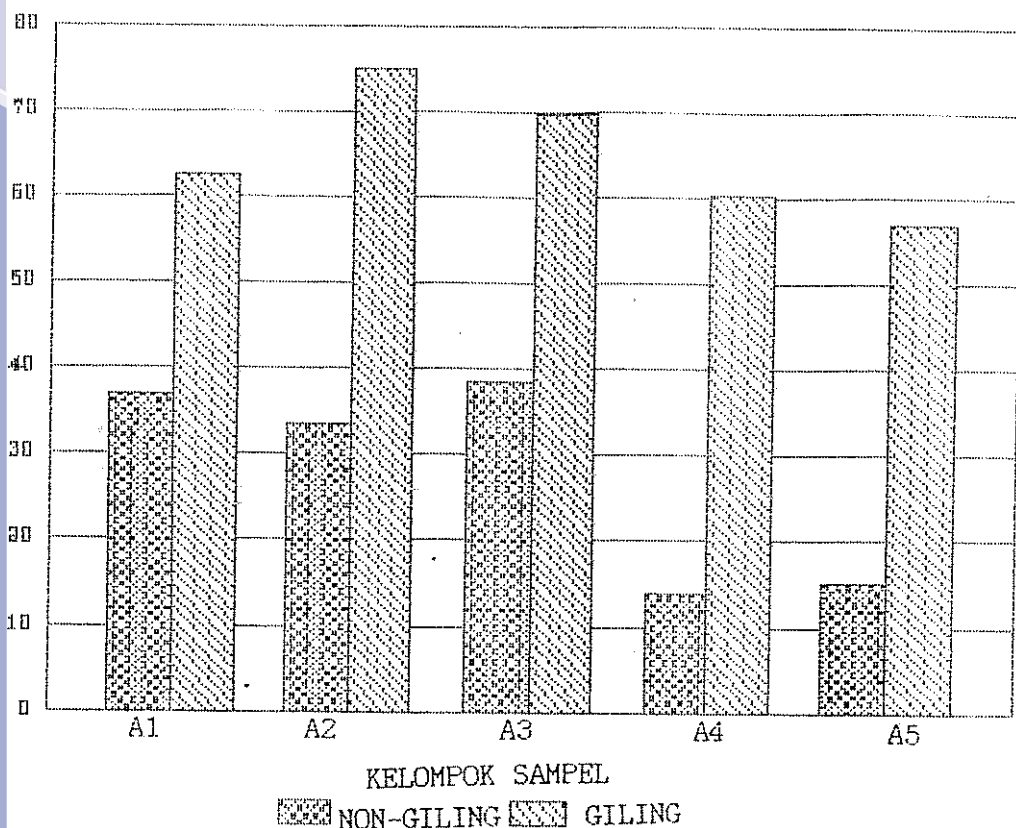
kulit. Adanya zat ekstraktif ini akan merugikan dalam pembuatan lembaran, karena akan menurunkan kekuatan fisik dan kecerahan. Kekuatan fisik dapat dipengaruhi, karena dalam pembuatan lembaran, zat ekstraktif ini dapat menutupi saringan, sehingga gramatur lembaran tidak rata, bahkan ada kemungkinan terjadi lubang pada lembaran.

Pada Gambar 8 dapat dilihat hubungan antara derajat putih, opasitas cetak dan noda untuk setiap kelompok sampel.

E. INDEKS TARIK

Analisis sidik ragam terhadap nilai indeks tarik memperlihatkan bahwa faktor perlakuan yang berpengaruh sangat nyata adalah faktor jenis dan umur kayu serta faktor penggilingan. Faktor sulfiditas tidak memiliki pengaruh terhadap indeks tarik. Hal ini dapat dilihat pada Lampiran 10a. Kekuatan tarik umumnya dipengaruhi oleh konsentrasi kimia aktif larutan pemasak, yang berhubungan dengan degradasi selulosa.

Nilai rata-rata indeks tarik yang tertinggi adalah 78.920 Nm/g pada faktor perlakuan A2B3C2, sedangkan nilai terendah adalah 13.163 Nm/g pada perlakuan A4B1C1. Nilai indeks tarik pada derajat giling 300 ml CSF menurut SII adalah minimal 30 Nm/g (SII.0830 - 83). Derajat giling yang digunakan dalam penelitian ini adalah dalam kisaran 250 - 300 ml CSF, dan disebut faktor perlakuan C2.



Gambar 9. Grafik nilai indeks tarik lembaran pulp

Kelompok sampel yang memiliki nilai indeks tarik paling tinggi adalah kelompok A2, yaitu kayu albasia umur 10 tahun, dan yang terendah adalah pada kelompok A4, yaitu kayu karet umur 10 tahun. Faktor penggilingan serat ternyata sangat berpengaruh nyata pada kekuatan tarik, bahkan lebih berpengaruh daripada jenis dan umur kayu yang digunakan.

Pengaruh penggilingan serat terhadap indeks tarik dapat segera terlihat pada uji lanjutan dalam Lampiran 10b. Nilai rata-rata indeks tarik dapat dibagi dalam dua

kelompok besar. Kelompok dengan indeks tarik yang lebih tinggi merupakan kelompok yang memiliki faktor perlakuan C2, yaitu mengalami penggilingan serat hingga mencapai derajat kehalusan 250 sampai 300 ml CSF.

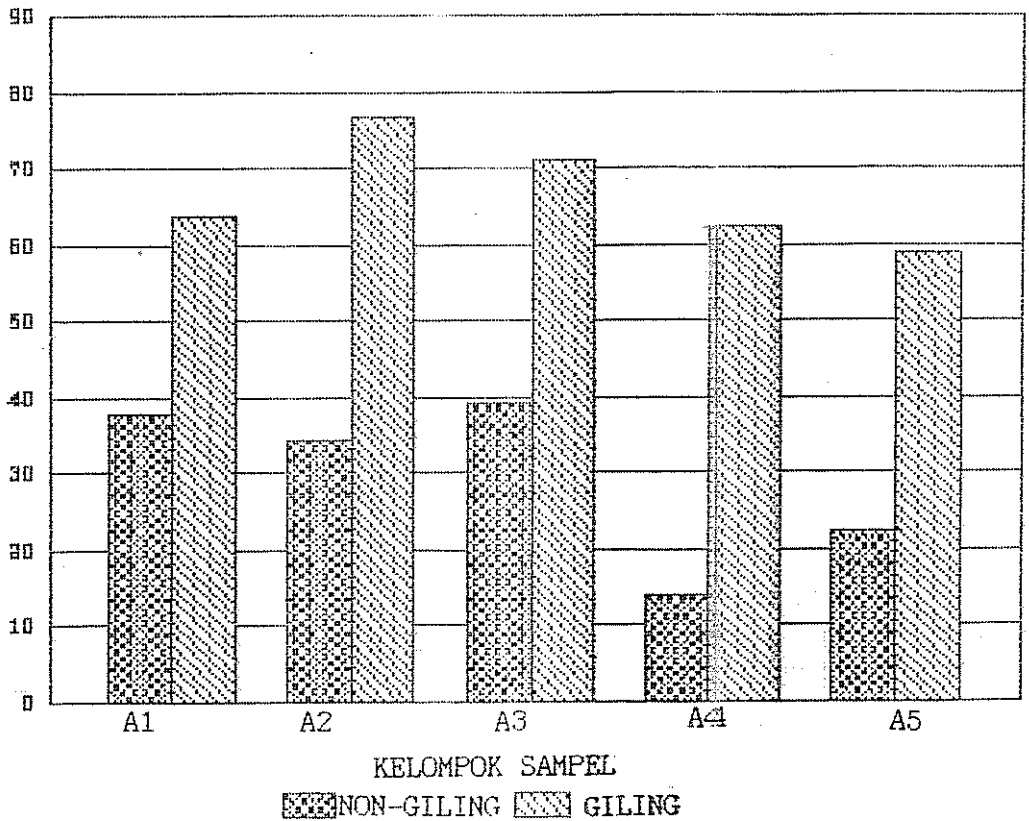
Penggilingan akan menyebabkan serat kayu lebih mudah menggepeng dalam pembentukan lembaran dan mempunyai kekuatan ikatan antar serat yang tinggi, sehingga kekuatan tarik lembaran yang dihasilkan akan tinggi (Tamolang dan Wangard, 1961). Serat yang belum digiling memiliki derajat kehalusan serat awal sekitar 600 - 650 ml CSF. Tanpa penggilingan, serat tersebut akan mempertahankan bentuknya dalam pembuatan lembaran sehingga kekuatan tenunnya akan rendah. Akibatnya kekuatan tariknya akan rendah.

Bahkan menurut Brandon (1981), jumlah dan kekuatan ikatan serat merupakan hal yang paling utama yang mempengaruhi kekuatan tarik. Meningkatnya kekuatan ikatan, baik karena penggilingan atau penekanan, akan meningkatkan kekuatan tarik. Jika pulp mengalami penggilingan yang berlebihan, maka kekuatan tarik cenderung menurun sedikit karena rusaknya struktur serat.

Pada Gambar 9 akan terlihat hubungan antara nilai indeks tarik pulp yang tidak mengalami penggilingan dengan pulp yang sudah digiling, untuk setiap kelompok sampel.

F. PANJANG PUTUS

Hasil analisis sidik ragam pada Lampiran 11a memperlihatkan faktor yang berpengaruh nyata adalah jenis dan umur kayu serta penggilingan serat. Faktor sulfiditas serta interaksi antara faktor-faktor tersebut tidak memberikan perbedaan nyata terhadap hasil yang diperoleh.



Gambar 10. Grafik nilai panjang putus lembaran pulp

Pengaruh faktor penggilingan serat terhadap nilai panjang putus ini lebih nyata daripada pengaruh faktor

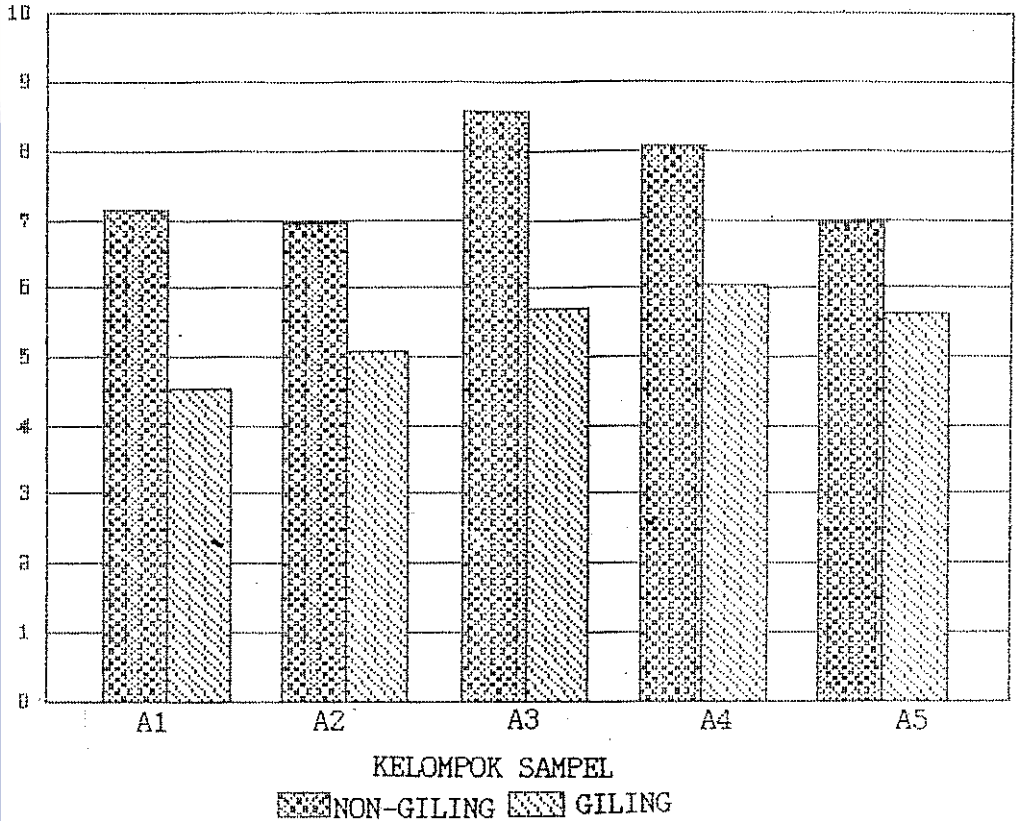
jenis dan umur kayu. Sampel yang dikenai perlakuan penggilingan (C2) memiliki nilai panjang putus yang lebih tinggi. Nilai panjang putus tertinggi adalah 8 047 meter pada faktor perlakuan A2B3C2, sedangkan yang terendah adalah 1 342 meter pada faktor perlakuan A4B1C1.

Secara keseluruhan, kelompok sampel yang memiliki nilai panjang putus paling tinggi pada pulp yang sudah digiling adalah A2, yaitu kayu albasia umur 10 tahun, sedangkan yang paling rendah adalah dari kelompok A5 yaitu kayu karet umur 20 tahun. Pada Gambar 10 dapat dilihat hubungan nilai panjang putus lembaran pulp dari pulpi yang belum digiling dan yang sudah mengalami penggilingan.

Kenaikan berat jenis pulp akan menurunkan nilai panjang putus, karena seperti dikemukakan oleh Brandon (1981) bahwa panjang putus merupakan gambaran kekuatan tarik kertas terhadap beratnya sendiri pada panjang tertentu.

6. INDEKS SOBEK

Hasil penelitian yang ditunjukkan dalam Lampiran 12a memperlihatkan bahwa ketahanan sobek lembaran pulp dipengaruhi oleh jenis dan umur kayu serta penggilingan serat. Tingkat sulfiditas yang digunakan tidak memberikan perbedaan hasil yang nyata.



Gambar 11. Grafik nilai indeks sobek lembaran pulp

Pengaruh penggilingan serat terhadap kekuatan sobek akan memberikan hasil yang negatif. Hal ini dapat terlihat dari tabel uji lanjutan dalam Lampiran 12b. Lembaran pulp yang berasal dari pulp yang tidak mengalami penggilingan memiliki nilai indeks sobek yang lebih besar dibandingkan dengan pulp yang sudah mengalami penggilingan. Mengacu pada Tamolang dan Wangard (1961), panjang serat memiliki pengaruh positif terhadap kekuatan sobek sehingga penggilingan yang menyebabkan kehalusan serat meningkat akan menurunkan kekuatan sobek.

Hasil penelitian memperlihatkan nilai indeks sobek tertinggi yang dicapai adalah $9.005 \text{ Nm}^2/\text{kg}$ pada faktor perlakuan A3B2C1, sedangkan yang terendah adalah $4.275 \text{ Nm}^2/\text{kg}$ pada faktor perlakuan A1B3C2. Nilai Standar Industri Indonesia untuk indeks sobek pulp sulfat putih dari kayu daun adalah $5.0 \text{ Nm}^2/\text{kg}$ (SII.0830 - 83). Pada Gambar 11 diperlihatkan grafik hubungan nilai indeks sobek pulp yang tidak digiling dan pulp yang sudah digiling pada setiap kelompok sampel.

Grafik tersebut menunjukkan bahwa indeks sobek pada penelitian ini masih memenuhi SII, kecuali untuk kelompok A1 yang mengalami penggilingan.

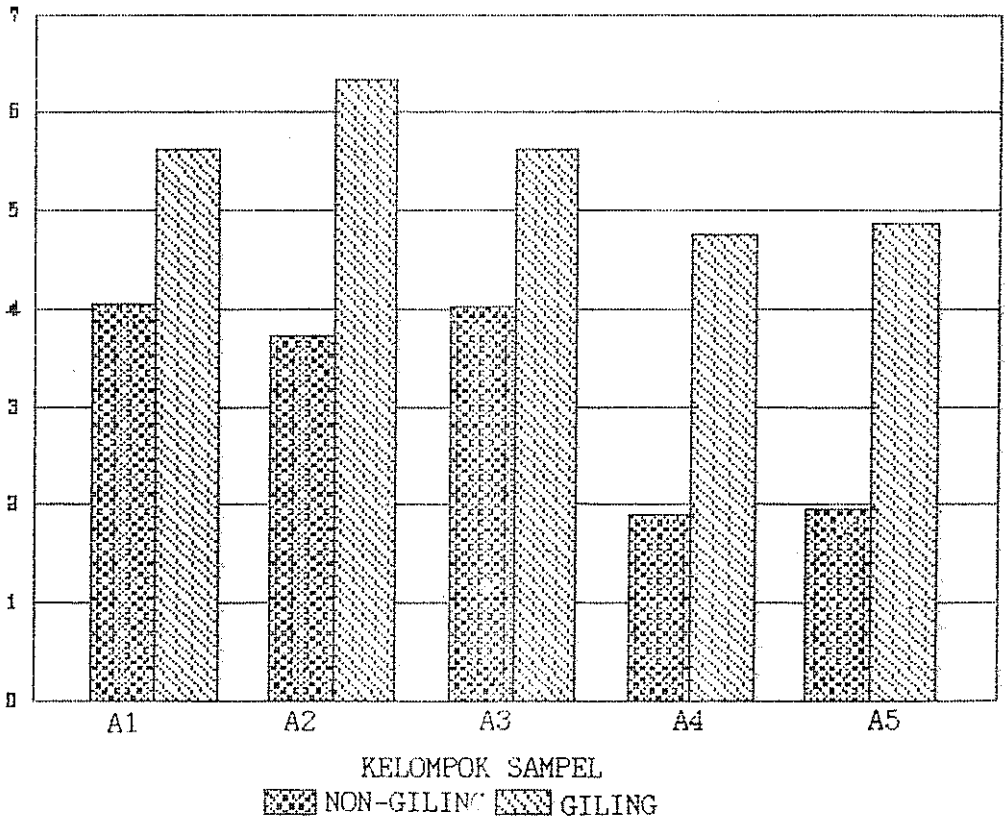
Nilai indeks sobek yang paling tinggi dari kelompok pulp yang belum digiling (perlakuan C1) adalah pada kelompok A3, yaitu albasia umur 15 tahun. Pada pulp yang sudah digiling, nilai indeks sobek tertinggi diperoleh pada kelompok sampel A4 yaitu kayu karet umur 10 tahun.

H. INDEKS RETAK

Analisis sidik ragam terhadap nilai indeks retak lembaran pulp pada Lampiran 13a memperlihatkan bahwa nilai indeks retak dipengaruhi oleh jenis dan umur kayu serta penggilingan serat. Pengaruh tingkat sulfiditas yang digunakan tidak memberikan hasil yang berbeda nyata. Pengaruh faktor penggilingan sangat dominan, sehingga sebaran nilai rata-rata indeks retak akan terbagi

dalam dua kelompok besar. Kelompok dengan nilai indeks retak yang tinggi diperoleh pada pulp yang mengalami penggilingan, dan kelompok dengan nilai lebih rendah pada pulp yang belum digiling.

Penggilingan serat akan menyebabkan lembaran yang dibentuk memiliki kekuatan tenun yang lebih besar, sehingga kekuatan retak lembaran pulp akan meningkat.



Gambar 12. Grafik nilai indeks retak lembaran pulp

Nilai indeks retak tertinggi yang diperoleh dalam penelitian adalah $6.665 \text{ kPa m}^2/\text{g}$ pada faktor perlakuan A2B3C2, sedangkan yang terendah adalah $1.795 \text{ kPa m}^2/\text{g}$ pada faktor perlakuan A4B1C1. Nilai indeks retak pulp sulfat putih menurut SII adalah $2.0 \text{ kPa m}^2/\text{g}$ (SII.0830 - 83). Gambar 12 memperlihatkan grafik hubungan nilai indeks retak pulp yang belum digiling dan yang sudah digiling untuk setiap kelompok sampel.

Secara keseluruhan, nilai indeks retak dari hasil penelitian masih memenuhi persyaratan SII. Nilai SII tersebut berlaku untuk pulp yang sudah digiling, sehingga nilai indeks retak pulp yang belum digiling dari kelompok A4 dan A5 yang berada di bawah $2.0 \text{ kPa m}^2/\text{g}$ tidak diperhitungkan. Setelah mengalami penggilingan, nilai indeks retak kelompok A4 dan A5 meningkat dan dapat memenuhi persyaratan SII.

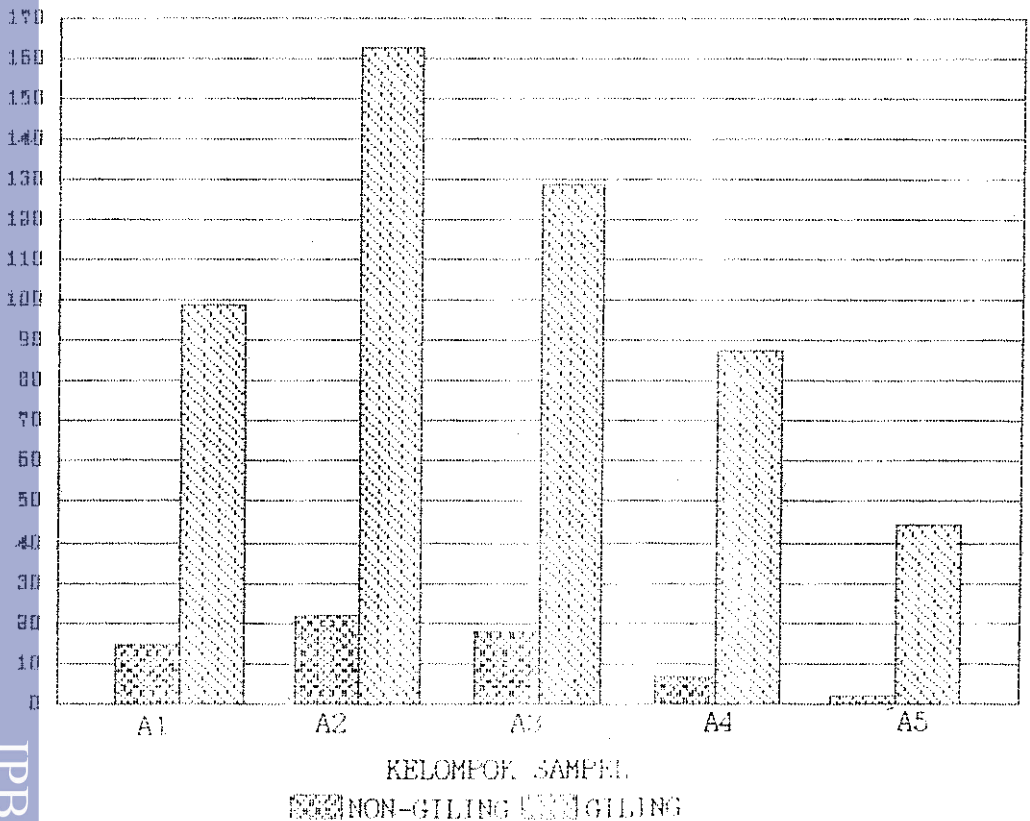
I. KETAHANAN LIPAT

Hasil penelitian terhadap ketahanan lipat lembaran pulp dapat dilihat pada lampiran 14. Analisis sidik ragam memperlihatkan bahwa faktor yang berpengaruh terhadap ketahanan lipat lembaran pulp adalah jenis dan umur kayu serta penggilingan serat.

Nilai ketahanan lipat lembaran pulp sangat dipengaruhi oleh penggilingan serat. Adanya penggilingan akan meningkatkan ketahanan lipat. Hal ini tampaknya diakibatkan oleh faktor kekuatan ikatan serat pada lembaran.

Lembaran pulp yang mempunyai daya tenun yang tinggi akan fleksibel.

Uji lanjutan pada Lampiran 14b memperlihatkan bahwa nilai tertinggi ketahanan lipat adalah 224.50 kali pada faktor perlakuan A3B1C2, dan yang terendah adalah 1.50 kali lipatan pada faktor perlakuan A5B1C1. Pada Gambar 13 dapat dilihat grafik hubungan ketahanan lipat lembaran pulp yang berasal dari pulp yang belum digiling dengan pulp yang sudah digiling.



Gambar 13. Grafik hubungan ketahanan lipat lembaran pulp

Secara keseluruhan, nilai ketahanan lipat yang paling tinggi diperoleh dari kelompok sampel A2, yaitu kayu albasia umur 10 tahun. Nilai ini diperoleh untuk pulp yang sudah digiling dan belum digiling. Nilai ketahanan lipat yang paling rendah diperoleh dari kelompok A5 yaitu karet umur 20 tahun.

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa kisaran nilai ketahanan lipat cukup besar. Kelompok yang mempunyai nilai ketahanan lipat tinggi, diperoleh pada kelompok pulp yang mengalami penggilingan sampai derajat kehalusan serat 250 sampai 300 ml CSF. Kelompok pulp yang tidak digiling, akan mempunyai nilai ketahanan lipat yang lebih kecil.

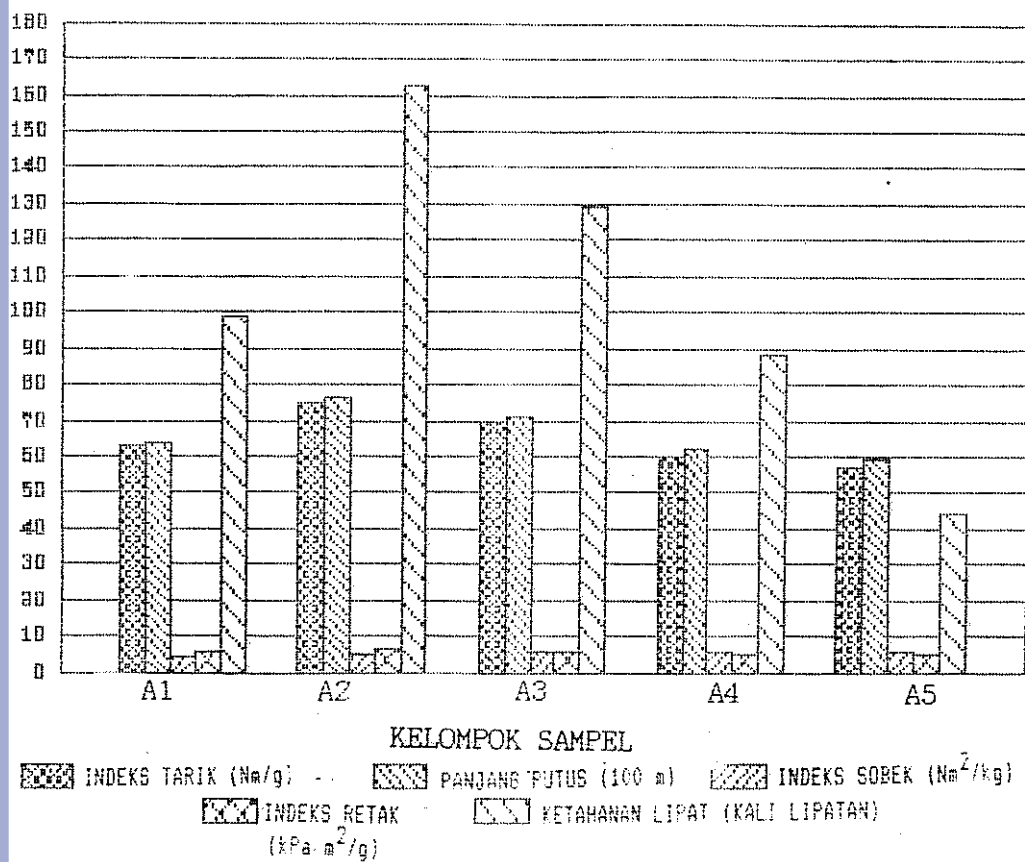
3. KEKUATAN FISIK SECARA UMUM

Secara umum, kekuatan fisik pulp yang diamati dari kekuatan tarik, kekuatan sobek, kekuatan retak dan ketahanan lipat pada sampel penelitian ini, memenuhi persyaratan dalam Standar Industri Indonesia. Jenis kayu yang memiliki kekuatan fisik yang terbaik adalah pada jenis kayu albasia. Kelompok umur yang terbaik dari kayu albasia ini adalah pada umur 10 tahun. Gambar 14 memperlihatkan grafik hubungan kekuatan fisik pada setiap kelompok sampel.

Faktor sulfiditas yang digunakan tidak mempengaruhi hasil, sehingga alternatif yang terbaik adalah memilih

tingkat sulfiditas yang paling rendah. Hal ini didasarkan pada pertimbangan mengenai dampak lingkungan.

Faktor penggilingan akan meningkatkan kekuatan fisik berupa kekuatan tarik, ketahanan retak dan ketahanan lipat. Kekuatan fisik yang menurun dengan penggilingan serat adalah ketahanan sobek.



Gambar 14. Grafik kekuatan fisik lembaran pulp

Kayu albasia secara teknis merupakan alternatif terbaik, tetapi kayu karet juga memiliki kekuatan dan sifat fisik yang memenuhi persyaratan untuk dijadikan bahan baku kertas bermutu tinggi.



V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kayu albasia (*Albizia falcataria* (L) Fosberg) dan kayu karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) dapat dijadikan bahan baku pulp kertas yang baik. Sifat fisik pulp yang dihasilkan memenuhi persyaratan Standar Industri Indonesia untuk pulp sulfat yang diputihkan.

Sulfiditas yang diterapkan tidak mempengaruhi sifat fisik pulp. Penggilingan merupakan faktor yang sangat mempengaruhi kekuatan fisik lembaran pulp.

Tingkat sulfiditas yang lebih baik digunakan dalam proses pembuatan pulp sulfat dari kayu albasia dan kayu karet adalah 20 persen. Hal ini lebih menguntungkan dilihat dari sudut pemeliharaan lingkungan, sedangkan kekuatan fisik pulp yang diperoleh tidak berbeda dengan hasil yang diperoleh pada penggunaan tingkat sulfiditas yang lebih tinggi. Demikian juga kebutuhan akan bahan pemutih yang didasarkan pada nilai bilangan permanganat tidak jauh berbeda.

Kayu albasia dengan kelompok umur 10 tahun merupakan jenis dan umur kayu yang menghasilkan pulp dengan sifat fisik yang paling baik.

Penggilingan serat akan memperbaiki kekuatan fisik pulp seperti kekuatan tarik yang dinyatakan dalam indeks

@Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

IPB University

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber ;
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menyebarkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

tarik dan panjang putus, kekuatan retak dan ketahanan lipat. Faktor kekuatan fisik yang menurun dengan adanya penggilingan adalah kekuatan sobek.

B. SARAN

Disarankan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan tingkat sulfiditas yang lebih beragam untuk melihat kemungkinan penggunaan tingkat sulfiditas yang lebih rendah.

@Hocipia milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaudin, S. Rasimin, Uzair dan A. Edi. 1973. Pemasakan campuran kayu karet dan bambu untuk pulp kertas. *Berita Selulosa*. September 1973, IX (3) : 115 - 121.
- Anonymous. 1973. Instruction Manual of Mullen Type Bursting Tester. Toyo Seiki Seisaku-sho, Ltd., Tokyo.
- Anonymous. 1975. Instruction Manual of MIT Folding Endurance Tester. Toyo Seiki Seisaku-sho, Ltd., Tokyo.
- Bendon, C. J. 1981. Properties of paper. *Di dalam* J. P. Cosey (ed.). Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology (Vol. 3). Third Edition. John Wiley and Sons, New York.
- Bowning, B. L. 1963. The Chemistry of Wood. Interscience Publishers, New York.
- _____. 1967. Methods of Wood Chemistry (Vol. 2). Interscience Publishers, New York.
- Cosey, J. P. 1952. Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology. Interscience Publisher Co., New York.
- _____. 1981. Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology (Vol. 1). Third Edition. John Wiley and Sons, New York.
- Clark, J. d'A. 1978. Pulp Technology and Treatment for Paper. Miller Freeman Publications, Inc., San Fransisco.
- Clayton, D. W. 1969. The chemistry of alkaline pulping. *Di dalam* R. G. Macdonald dan J. N. Franklin (eds.). The Pulping of Wood (Vol. 1). Second Edition. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Hartoyo. 1989. Pengetahuan Dasar Kayu Sebagai Sumber Serat. Disajikan dalam Alih Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Industri Pulp Kertas dan Papan Serat, Oktober 1989, Bogor.
- Hicks, C. R. 1982. Fundamental Concepts in the Design of Experiments. Holt, Reinhart and Winston, New York.
- Indriati, L., B. Bisowarno dan W. Kartiwa. 1985. Studi perbandingan nilai ekonomi *Albizzia falcataria* dalam berbagai penggunaan. *Berita Selulosa*. Maret 1985, XXI (1): 3 - 8.

Janes, R. L. 1969. The chemistry of wood and fibers. Di dalam R. G. Macdonald dan J. N. Franklin (eds.). The Pulping of Wood (Vol. 1). Second Edition. McGraw-Hill Book Company, New York.

Kraft, F. 1969. Bleaching of wood pulps. Di dalam R. G. Macdonald dan J. N. Franklin (eds.). The Pulping of Wood (Vol. 1). Second Edition. McGraw-Hill Book Company, New York.

Oras, V. 1981. Bleaching. Di dalam J. P. Casey (ed.). Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology (Vol. 1). Third Edition. John Wiley and Sons, New York.

Martawijaya, A. 1972. Keawetan dan Pengawetan Kayu Karet. Pengumuman no. 1. Lembaga Penelitian Hasil Hutan. Bogor.

Martawijaya, A., I. Kartasujana, Y. I. Mandang, S. A. Prawira dan K. Kadir. 1989. Atlas Kayu Indonesia (Jilid II). Departemen Kehutanan, Bogor.

Pasaribu, R. A. dan H. Roliadi. 1989. Pengolahan Pulp Secara Kimia. Disajikan dalam Alih Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Industri Pulp Kertas dan Papan Serat, Oktober 1989, Bogor.

Pratiwi, W. 1983. *Albizzia falcataria* dari berbagai umur untuk pulp rendemen tinggi putih. Berita Selulosa. Juni 1983, XIX (2) : 47 - 52.

Roliadi, H. 1989. Pengolahan Pulp Kertas Secara Mekanis. Disajikan dalam Alih Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Industri Pulp Kertas dan Papan Serat, Oktober 1989, Bogor.

Samingan, T. 1973. Catatan Jenis Pohon Penghasil Kayu Ekspor di Indonesia. Proyek Peningkatan Mutu Perguruan Tinggi, IPB, Bogor.

Siagian, R. M. 1989. Teknologi Pemutihan Pulp. Disajikan dalam Alih Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Industri Pulp Kertas dan Papan Serat, Oktober 1989, Bogor.

Siegel, S. 1985. Statistik Nonparametrik. Terjemahan. PT Gramedia, Jakarta.

Sudjana. 1985. Disain dan Analisa Eksperimen. Tarsito, Bandung.



Amolag, F. N. dan F. F. Wangard. 1961. Relationship Between Hardwood Fiber Characteristics and Pulp Properties. TAPPI IV (3) : 203 - 216.

Wenzl, H.F.J. 1970. The Chemical Technology of Wood. Academic Press, New York.

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



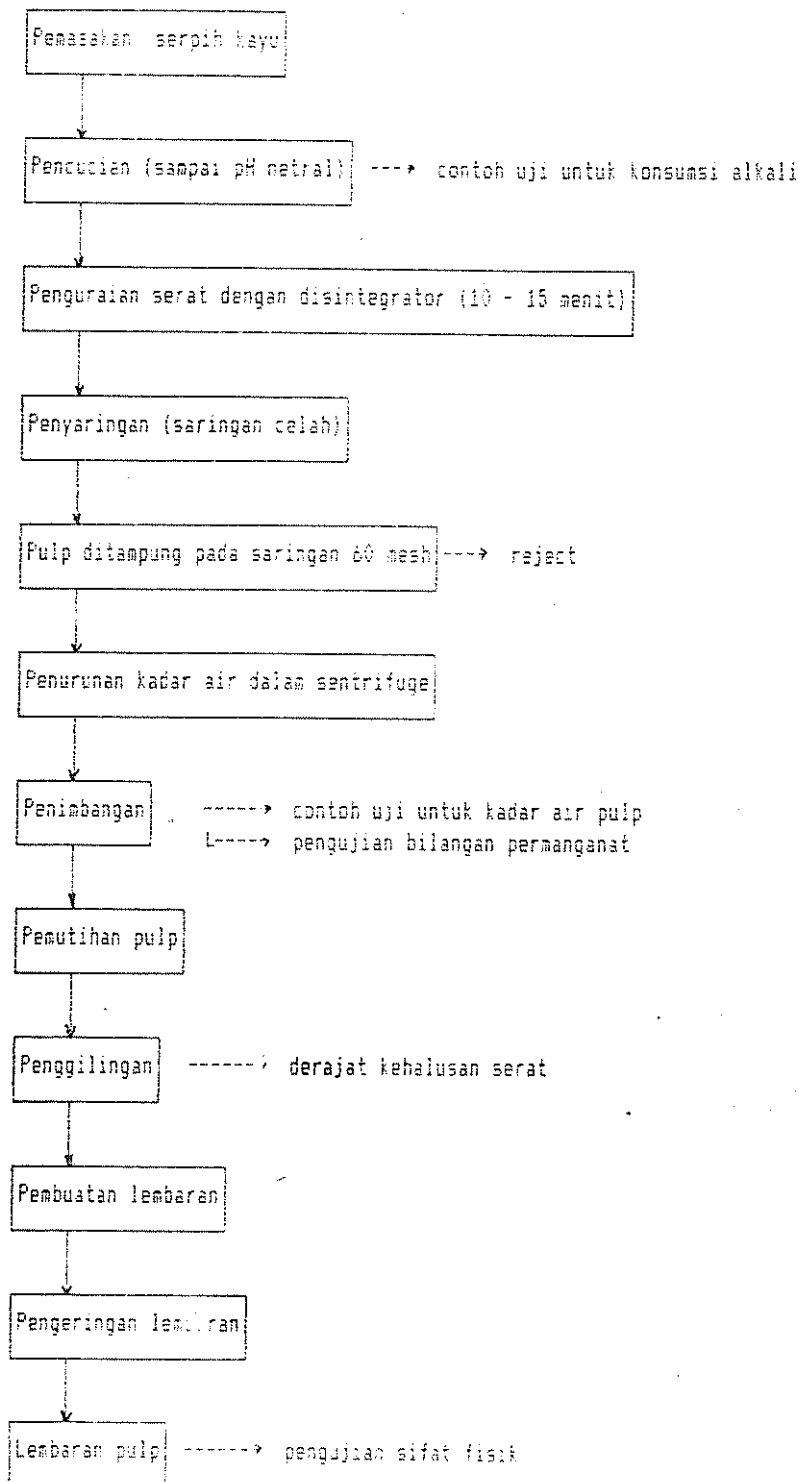
IPB University
— Bogor Indonesia —

L A M P I R A N

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 1. Alir proses pada penelitian



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



1. Dilengkapi Undang-undang
 2. Dilengkapi Undang-undang
 3. Dilengkapi Undang-undang
 4. Dilengkapi Undang-undang
 5. Dilengkapi Undang-undang
 6. Dilengkapi Undang-undang
 7. Dilengkapi Undang-undang
 8. Dilengkapi Undang-undang
 9. Dilengkapi Undang-undang
 10. Dilengkapi Undang-undang
 11. Dilengkapi Undang-undang
 12. Dilengkapi Undang-undang
 13. Dilengkapi Undang-undang
 14. Dilengkapi Undang-undang
 15. Dilengkapi Undang-undang
 16. Dilengkapi Undang-undang
 17. Dilengkapi Undang-undang
 18. Dilengkapi Undang-undang
 19. Dilengkapi Undang-undang
 20. Dilengkapi Undang-undang

Lampiran 2. Tabel Konversi bilangan permanganat ke bilangan klor untuk menghitung kebutuhan klor

Bilangan Permanganat	Faktor konversi	Konsumsi pemutih sebagai klor/ Cl_2 (%)	Bilangan Permanganat	Faktor konversi	Konsumsi pemutih sebagai klor/ Cl_2 (%)
1	0.818	0.43	21	0.664	11.21
2	0.810	0.88	22	0.654	11.90
3	0.802	1.33	23	0.648	12.60
4	0.794	1.79	24	0.641	13.27
5	0.786	2.26	25	0.634	14.00
6	0.778	2.74	26	0.634	14.73
7	0.770	3.23	27	0.618	15.50
8	0.762	3.72	28	0.611	16.25
9	0.755	4.24	29	0.604	17.05
10	0.747	4.75	30	0.596	17.35
11	0.739	5.29	31	0.589	18.17
12	0.732	5.82	32	0.582	19.50
13	0.724	6.39	33	0.574	20.40
14	0.716	6.94	34	0.567	21.25
15	0.709	7.52	35	0.560	22.15
16	0.702	8.10	36	0.552	23.10
17	0.694	8.70	37	0.545	24.10
18	0.686	9.31	38	0.538	25.05
19	0.679	9.94	39	0.531	26.05
20	0.672	10.56	40	0.525	27.02

Konsumsi bahan pemutih sebagai klor/ Cl_2 (persen) =

Bilangan Permanganat \times 0.355

faktor konversi

Lampiran 3. Rekapitulasi data penelitian

	Albasia			Karet	
	5 tahun	10 tahun	15 tahun	10 tahun	20 tahun
Remden putih (%)	46.60	47.23	46.05	43.37	40.01
Konsumsi alkali (%)	14.12	13.30	12.98	14.56	14.41
Bilangan permanganat	8.59	7.76	8.74	12.93	13.48
Sifat fisik :					
Derajat putih (%)	83.28	84.52	81.79	82.1	81.22
Opasitas cetsk (%)	77.6	77.37	78.73	75.52	75.92
Potensi noda (mm^2/m^2)	17.67	15.92	14.08	12.50	9.77
Indeks tarik (Nm/g)	62.638	75.154	69.745	60.212	57.007
Panjang putus (m)	6 386.7	7 662.8	7 111.3	6 221	5 897.7
Indeks sobek (Nm^2/kg)	4.515	5.085	5.695	6.045	5.613
Indeks retak ($\text{kPa m}^2/\text{g}$)	5.622	6.329	5.627	4.745	4.875
Ketahan lipat (kali lipatan)	98.917	162.667	129	87.917	44.5



Lampiran 4a. Tabel sidik ragam konsumsi alkali

Sumber keragaman	db	Jumlah kuadrat	Rata-rata jlh. kuadrat	F_{hitung}	F_{tabel}	
					F.05	F.01
A	4	11.631	2.908	3.124*	3.06	4.89
B	2	0.772	0.386	0.415	3.68	6.36
AB	8	6.741	0.843	0.905	2.64	4.00
GALAT	15	13.960	0.931			
TOTAL	29	33.104	1.142			

* signifikan pada taraf 0.05

Lampiran 4b. Tabel uji Duncan Multiple Range's Test terhadap konsumsi alkali

Ranking Faktor	Rata-rata (%)	F_{tabel} 0.05
A5B1	14.8	A
A4B1	14.8	A
A4B2	14.57	AB
A2B3	14.46	ABC
A4B3	14.3	ABC
A1B2	14.29	ABC
A5B2	14.28	ABC
A1B1	14.18	ABC
A5B3	14.16	ABC
A1B3	13.88	ABC
A3B3	13.67	ABC
A2B1	13.06	ABC
A3B2	13.06	ABC
A2B2	12.38	BC
A3B1	12.22	C

Keterangan :

Nilai rata-rata faktor perlakuan yang tidak berbeda nyata akan memiliki kelompok huruf yang sama

A = jenis dan umur kayu

A1 = albasia 5 tahun

A2 = albasia 10 tahun

A3 = albasia 15 tahun

A4 = karet 10 tahun

A5 = karet 20 tahun

B = sulfiditas

B1 = 20 persen

B2 = 22.5 persen

B3 = 25 persen



Lampiran 5a. Tabel sidik ragam bilangan permanganat

Sumber keragaman	db	Jumlah kuadrat	Rata-rata jlh. kuadrat	F _{hitung}	F _{tabel}	
					F _{.05}	F _{.01}
A	4	172.888	43.222	59.657**	3.06	4.89
B	2	0.475	0.238	0.328	3.68	6.36
AB	8	9.142	1.143	1.577	2.64	4.00
GALAT	15	10.868	0.725			
TOTAL	29	193.374	6.668			

* signifikan pada taraf 0.01

Lampiran 5b. Tabel uji Duncan Multiple Range's Test terhadap bilangan permanganat

Ranking Faktor	Rata-rata	F _{tabel}	
		0.05	0.01
A5B3	13.825	A	A
A5B1	13.455	A	A
A5B2	13.170	A	A
A4B2	13.155	A	A
A4B3	13.095	A	A
A4B1	12.535	A	A
A1B1	9.990	B	B
A3B3	9.515	BC	B
A3B1	8.425	BCD	B
A1B2	8.335	BCD	B
A3B2	8.285	BCD	B
A2B1	7.940	CD	B
A2B2	7.880	CD	B
A2B3	7.475	D	B
A1B3	7.450	D	B

Keterangan :

Nilai rata-rata faktor perlakuan yang tidak berbeda nyata akan memiliki kelompok huruf yang sama

A = jenis dan umur kayu

A1 = albasia 5 tahun

A2 = albasia 10 tahun

A3 = albasia 15 tahun

A4 = karet 10 tahun

A5 = karet 20 tahun

B = sulfiditas

B1 = 20 persen

B2 = 22.5 persen

B3 = 25 persen

Lampiran 6a. Tabel sidik ragam rendemen pulp putih dari kayu

Sumber keragaman	db	Jumlah kuadrat	Rata-rata jlh. kuadrat	F _{hitung}	F _{tabel}	
					F _{.05}	F _{.01}
A	4	214.223	53.556	4.662*	3.06	4.89
B	2	45.813	22.906	1.994	3.68	6.36
AB	8	35.543	4.443	0.387	2.64	4.00
GALAT	15	172.316	11.488			
TOTAL	29	467.895	16.134			

*Signifikan pada taraf 0.05

Lampiran 6b. Tabel uji Duncan Multiple Range's Test terhadap rendemen pulp putih dari kayu

Ranking Faktor	Rata-rata (%)	F _{tabel} 0.05
A2B3	48.705	A
A3B2	48.590	A
A1B2	48.440	A
A2B2	46.760	AB
A1B3	46.270	AB
A2B1	46.220	AB
A3B3	45.715	AB
A4B2	45.365	AB
A1B1	45.110	AB
A3B1	43.870	AB
A4B1	43.670	AB
A5B2	42.705	AB
A4B3	41.095	AB
A5B1	38.720	B
A5B3	38.575	B

Keterangan :

Nilai rata-rata faktor perlakuan yang tidak berbeda nyata akan memiliki kelompok huruf yang sama

- A = jenis dan umur kayu
 A1 = albasia 5 tahun
 A2 = albasia 10 tahun
 A3 = albasia 15 tahun
 A4 = karet 10 tahun
 A5 = karet 20 tahun

- B = sulfiditas
 B1 = 20 persen
 B2 = 22.5 persen
 B3 = 25 persen

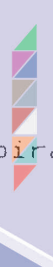
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. dilarang menyalin sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah;
 2. Dilarang menyalin dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 7. Tabel sidik ragam derajat putih pulp

Sumber keragaman	db	Jumlah kuadrat	Rata-rata jlh. kuadrat	F_{hitung}	F_{tabel}	
					$F_{.05}$	$F_{.01}$
A	4	41.703	10.426	1.560	3.06	4.89
B	2	0.844	0.422	0.063	3.68	6.36
AB	8	33.391	4.174	0.624	2.64	4.00
GALAT	15	100.266	6.684			
TOTAL	29	176.203	6.076			

A = jenis dan umur kayu
 A1 = albasia 5 tahun
 A2 = albasia 10 tahun
 A3 = albasia 15 tahun
 A4 = karet 10 tahun
 A5 = karet 20 tahun

B = sulfiditas
 B1 = 20 persen
 B2 = 22.5 persen
 B3 = 25 persen



Lampiran 8. Tabel sidik ragam nilai opasitas cetak pulp putih yang digiling

Sumber keragaman	db	Jumlah kuadrat	Rata-rata jlh. kuadrat	F _{hitung}	F _{tabel}	
					F _{.05}	F _{.01}
A	4	40.984	10.246	2.177	3.06	4.89
B	2	18.375	9.188	1.952	3.68	6.36
AB	8	31.563	3.945	0.838	2.64	4.00
GALAT	15	70.594	4.706			
TOTAL	29	161.516	5.570			

- A = jenis dan umur kayu
A1 = albasia 5 tahun
A2 = albasia 10 tahun
A3 = albasia 15 tahun
A4 = karet 10 tahun
A5 = karet 20 tahun

- B = sulfiditas
B1 = 20 persen
B2 = 22.5 persen
B3 = 25 persen



Lampiran 9. Tabel sidik ragam potensi noda pada lembaran pulp putih yang digiling

Sumber keragaman	db	Jumlah kuadrat	Rata-rata jlh. kuadrat	F _{hitung}	F _{tabel}	
					F _{.05}	F _{.01}
A	4	223.771	55.943	0.471	3.06	4.89
B	2	342.261	171.130	1.442	3.68	6.36
AB	8	572.843	71.605	0.603	2.64	4.00
GALAT	15	1 780.680	118.712			
TOTAL	29	2 919.555	100.674			

A = jenis dan umur kayu

A1 = albasia 5 tahun

A2 = albasia 10 tahun

A3 = albasia 15 tahun

A4 = karet 10 tahun

A5 = karet 20 tahun

B = sulfiditas

B1 = 20 persen

B2 = 22.5 persen

B3 = 25 persen

Lampiran 10a. Tabel sidik ragam nilai indeks tarik

Sumber keragaman	db	Jumlah kuadrat	Rata-rata jlh. kuadrat	F _{hitung}	F _{tabel}	
					F _{.05}	F _{.01}
A	4	3 949.258	987.314	9.625**	2.69	4.02
	2	73.078	36.539	0.356	3.32	5.39
	1	20 939.055	20 939.055	204.122**	4.17	7.56
	8	474.047	59.256	0.578	2.27	3.17
	4	887.656	221.914	2.163	2.69	4.02
B	2	216.813	108.406	1.057	3.32	5.39
	8	126.414	15.802	0.154	2.27	3.17
AB	30	3 077.438	102.581			
GALAT						
TOTAL	59	29 743.758	504.132			

**signifikan pada taraf 0.01

A = jenis dan umur kayu
 A1 = albasia 5 tahun
 A2 = albasia 10 tahun
 A3 = albasia 15 tahun
 A4 = karet 10 tahun
 A5 = karet 20 tahun

B = sulfiditas
 B1 = 20 persen
 B2 = 22.5 persen
 B3 = 25 persen

C = penggilingan
 C1 = tidak digiling
 C2 = digiling sampai 250-300 ml CSF



Lampiran 10b. Tabel uji Duncan Multiple Range's Test terhadap nilai indeks tarik

Ranking Faktor	Rata-rata (Nm/g)	F _{tabel}	
		0.05	0.01
A2B3C2	78.920	A	A
A2B2C2	76.834	AB	AB
A3B3C2	74.222	AB	ABC
A1B3C2	71.705	AB	ABC
A3B2C2	70.067	AB	ABC
A2B1C2	69.709	AB	ABC
A3B1C2	64.945	ABC	ABCD
A4B3C2	64.140	ABC	ABCD
A1B3C2	61.073	ABC	ABCDE
A5B3C2	60.861	ABC	ABCDE
A4B1C2	58.880	ABCD	ABCDE
A4B2C2	57.615	ABCDE	ABCDE
A5B1C2	57.094	ABCDE	ABCDE
A1B1C2	55.135	ABCDEF	ABCDE
A5B2C2	53.067	BCDEFG	ABCDE
A1B2C1	44.492	CDEFG	BCDEF
A3B1C1	43.766	CDEFG	CDEF
A3B3C1	36.685	DEFGH	DEF
A2B2C1	36.280	DEFGH	DEF
A2B1C1	35.225	DEFGH	DEF
A3B2C1	34.867	DEFGH	DEF
A1B1C1	33.777	EFGH	DEF
A1B3C1	32.894	FGH	DEF
A2B3C1	29.083	GH	EF
A5B1C1	15.683	H	F
A5B3C1	15.553	H	F
A4B3C1	14.340	H	F
A5B2C1	14.108	H	F
A4B2C1	13.918	H	F
A4B1C1	13.163	H	F

Keterangan :

Nilai rata-rata faktor perlakuan yang tidak berbeda nyata akan memiliki kelompok huruf yang sama



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang menyebarkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 11a. Tabel sidik ragam nilai panjang putus

Sumber keragaman	db	Jumlah kuadrat	Rata-rata jlh. kuadrat	F_{hitung}	F_{tabel}	
					$F_{.05}$	$F_{.01}$
A	4	3 157.641	789.410	7.350**	2.69	4.02
A1	2	80.563	40.281	0.375	3.32	5.39
A2	1	20 653.281	20 653.281	192.304**	4.17	7.56
A3	8	515.922	64.490	0.600	2.27	3.17
A4	4	911.656	227.914	2.122	2.69	4.02
A5	2	268.906	134.453	1.252	3.32	5.39
AB	8	102.781	12.848	0.120	2.27	3.17
GALAT	30	3 221.969	107.399			
TOTAL	59	28 912.719	490.046			

** signifikan pada taraf 0.01

A = jenis dan umur kayu
 A1 = albasia 5 tahun
 A2 = albasia 10 tahun
 A3 = albasia 15 tahun
 A4 = karet 10 tahun
 A5 = karet 20 tahun

B = sulfiditas
 B1 = 20 persen
 B2 = 22.5 persen
 B3 = 25 persen

C = penggilingan
 C1 = tidak digiling
 C2 = digiling sampai 250-300 ml CSF



Lampiran 11b. Tabel uji Duncan Multiple Range's Test terhadap nilai panjang putus

Ranking Faktor	Rata-rata (m)	F _{tabel}	
		0.05	0.01
A2B3C2	8 047.0	A	A
A2B2C2	7 834.0	AB	AB
A3B3C2	7 568.0	AB	AB
A1B2C2	7 311.5	AB	AB
A3B2C2	7 144.5	AB	AB
A2B1C2	7 107.5	AB	AB
A3B1C2	6 621.5	ABC	ABC
A4B3C2	6 540.0	ABC	ABC
A5B3C2	6 460.5	ABC	ABC
A1B3C2	6 227.0	ABC	ABCD
A4B2C2	6 119.5	ABC	ABCD
A4B1C2	6 003.5	ABCD	ABCD
A5B1C2	5 821.5	ABCDE	ABCD
A1B1C2	5 621.5	ABCDE	ABCDE
A5B2C2	5 411.0	BCDEF	BCDEF
A1B2C1	4 536.5	CDEFG	BCDEFG
A3B1C1	4 462.0	CDEFGH	BCDEFG
A3B3C1	3 740.0	DEFGHI	CDEFG
A2B2C1	3 699.0	DEFGHI	CDEFG
A2B1C1	3 591.0	DEFGHI	CDEFG
A3B2C1	3 554.5	DEFGHI	CDEFG
A1B1C1	3 443.5	EFGHI	CDEFG
A1B3C1	3 353.5	EFGHI	CDEFG
A2B3C1	2 965.0	FGHI	DEFG
A5B1C1	2 429.5	GHI	EFG
A5B3C1	2 232.5	GHI	FG
A5B2C1	2 021.5	HI	G
A4B3C1	1 461.5	I	G
A4B2C1	1 418.5	I	G
A4B1C1	1 342.0	I	G

Keterangan :

Nilai rata-rata faktor perlakuan yang tidak berbeda nyata akan memiliki kelompok huruf yang sama



Campiran 12a. Tabel sidik ragam nilai indeks sqbek

Sumber keragaman	db	Jumlah kuadrat	Rata-rata jlh. kuadrat	F_{hitung}	F_{tabel}	
					$F_{.05}$	$F_{.01}$
A	4	16.869	4.217	4.619**	2.69	4.02
B	2	0.774	0.387	0.424	3.32	5.39
C	1	69.057	69.057	75.640**	4.17	7.56
AB	8	8.683	1.085	1.189	2.27	3.17
AC	4	3.810	0.953	1.043	2.69	4.02
BC	2	0.528	0.264	0.289	3.32	5.39
ABC	8	2.818	0.352	0.386	2.27	3.17
GALAT	30	27.389	0.913			
TOTAL	59	129.928	2.202			

** signifikan pada taraf 0.01

A = jenis dan umur kayu

A1 = albasia 5 tahun

A2 = albasia 10 tahun

A3 = albasia 15 tahun

A4 = karet 10 tahun

A5 = karet 20 tahun

B = sulfiditas

B1 = 20 persen

B2 = 22.5 persen

B3 = 25 persen

C = penggilingan

C1 = tidak digiling

C2 = digiling sampai 250-300 ml CSF



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 12b. Tabel uji Duncan Multiple Range's Test terhadap nilai indeks sobek

Ranking Faktor	Rata-rata (Nm ² /kg)	F _{tabel}	
		0.05	0.01
A3B2C1	9.005	A	A
A3B1C1	8.910	A	A
A4B2C1	8.365	AB	AB
A4B1C1	7.950	ABC	ABC
A4B3C1	7.885	ABC	ABC
A1B1C1	7.845	ABC	ABC
A3B3C1	7.810	ABCD	ABC
A5B1C1	7.535	ABCDE	ABCDE
A2B3C1	7.435	ABCDE	ABCDE
A1B2C1	7.400	ABCDE	ABCDE
A2B2C1	7.340	ABCDE	ABCDE
A5B3C1	7.060	ABCDEF	ABCDE
A4B3C2	6.330	BCDEFG	ABCDE
A5B2C1	6.235	BCDEFG	ABCDE
A1B3C1	6.200	BCDEFG	ABCDE
A5B1C2	6.165	BCDEFG	ABCDE
A2B1C1	6.110	BCDEFG	ABCDE
A3B3C2	5.955	CDEFG	ABCDE
A4B2C2	5.930	CDEFG	ABCDE
A4B1C2	5.875	CDEFG	ABCDE
A5B3C2	5.690	CDEFG	BCDE
A3B2C2	5.635	CDEFG	BCDE
A3B1C2	5.495	DEFG	BCDE
A2B1C2	5.400	EFG	BCDE
A2B2C2	5.295	EFG	BCDE
A5B2C2	4.985	FG	CDE
A1B1C2	4.645	G	DE
A1B2C2	4.625	G	DE
A2B3C2	4.560	G	DE
A1B3C2	4.275	G	E

Keterangan :

Nilai rata-rata faktor perlakuan yang tidak berbeda nyata akan memiliki kelompok huruf yang sama



Lampiran 13a. Tabel sidik ragam nilai indeks retak

Sumber keragaman	db	Jumlah kuadrat	Rata-rata jlh. kuadrat	F _{hitung}	F _{tabel}	
					F.05	F.01
A	4	34.088	8.522	16.304**	2.69	4.02
	2	0.402	0.201	0.385	3.32	5.39
	1	80.111	80.111	163.269**	4.17	7.56
	8	1.572	0.197	0.376	2.27	3.17
	4	5.422	1.356	2.593	2.69	4.02
B	2	1.169	0.585	1.118	3.32	5.39
	8	2.045	0.256	0.489	2.27	3.17
C	30	15.680	0.523			
TOTAL	59	140.490	2.381			

**signifikan pada taraf 0.01

A = jenis dan umur kayu

A1 = albasia 5 tahun

A2 = albasia 10 tahun

A3 = albasia 15 tahun

A4 = karet 10 tahun

A5 = karet 20 tahun

B = sulfiditas

B1 = 20 persen

B2 = 22.5 persen

B3 = 25 persen

C = penggilingan

C1 = tidak digiling

C2 = digiling sampai 250-300 ml CSF



ampiran 13b. Tabel uji Duncan Multiple Range's Test terhadap nilai indeks retak

Ranking Faktor	Rata-rata (kPa m ² /g)	F _{tabel}	
		0.05	0.01
A2B3C2	6.665	A	A
A2B2C2	6.435	AB	AB
A3B3C2	6.255	AB	ABC
A2B1C2	5.890	ABC	ABCD
A1B2C2	5.740	ABCD	ABCD
A1B1C2	5.645	ABCD	ABCD
A1B3C2	5.480	ABCDE	ABCDE
A3B2C2	5.340	ABCDEF	ABCDE
A5B3C2	5.320	ABCDEF	ABCDE
A3B1C2	5.285	ABCDEF	ABCDE
A4B2C2	5.020	ABCDEF	ABCDE
A5B1C2	4.955	ABCDEF	ABCDE
A4B3C2	4.780	BCDEFG	ABCDE
A4B1C2	4.435	CDEFG	ABCDE
A5B2C2	4.350	CDEFG	ABCDE
A2B2C1	4.330	CDEFG	ABCDEF
A1B2C1	4.280	CDEFG	BCDEFG
A3B1C1	4.250	CDEFG	BCDEFG
A3B2C1	4.085	DEFG	BCDEFGH
A1B3C1	4.045	DEFG	CDEFGH
A1B1C1	3.845	EFG	DEFGH
A3B3C1	3.720	FG	DEFGH
A2B1C1	3.705	FG	DEFGH
A2B3C1	3.140	GH	EFGH
A4B3C1	2.045	H	FGH
A5B3C1	2.030	H	GH
A5B2C1	1.915	H	H
A5B1C1	1.880	H	H
A4B2C1	1.865	H	H
A4B1C1	1.795	H	H

Keterangan :

Nilai rata-rata faktor perlakuan yang tidak berbeda nyata akan memiliki kelompok huruf yang sama



lampiran 14a. Tabel sidik ragam nilai ketahanan lipat

Sumber keragaman	db	Jumlah kuadrat	Rata-rata jlh. kuadrat	F _{hitung}	F _{tabel}	
					F _{.05}	F _{.01}
A B C AB AC BC ABC GALAT TOTAL	4	32 773.297	8 193.324	5.357**	2.69	4.02
	2	2 717.172	1 358.586	0.888	3.32	5.39
	1	127 789.344	127 289.344	83.556**	4.17	7.56
	8	25 810.000	3 226.250	2.109	2.27	3.17
	4	16 153.625	4 038.406	2.641	2.69	4.02
	2	3 097.063	1 548.531	1.013	3.32	5.39
	8	23 923.594	2 990.449	1.955	2.27	3.17
	30	45 881.750	1 529.392			
	59	278 145.840	4 714.336			

** signifikan pada taraf 0.01

A = jenis dan umur kayu

A1 = albasia 5 tahun

A2 = albasia 10 tahun

A3 = albasia 15 tahun

A4 = karet 10 tahun

A5 = karet 20 tahun

B = sulfiditas

B1 = 20 persen

B2 = 22.5 persen

B3 = 25 persen

C = penggilingan

C1 = tidak digiling

C2 = digiling sampai 250-300 ml CSF

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menjiplak dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Lampiran 14b. Tabel uji Duncan Multiple Range's Test terhadap nilai ketahanan lipat

Ranking Faktor	Rata-rata (kali lipatan)	F _{tabel}	
		0.05	0.01
A3B1C2	224.50	A	A
A2B2C2	169.75	AB	AB
A2B3C2	169.75	AB	AB
A2B1C2	148.50	ABC	ABC
A3B3C2	141.50	ABCD	ABCD
A1B1C2	138.25	ABCDE	ABCDE
A4B2C2	120.50	BCDE	ABCDEF
A4B3C2	96.75	BCDEF	BCDEF
A1B3C2	94.00	BCDEF	BCDEF
A1B2C2	64.50	CDEF	BCDEF
A5B2C2	58.25	CDEF	BCDEF
A5B2C2	51.25	DEF	BCDEF
A4B1C2	46.50	EF	BCDEF
A2B1C1	28.00	F	CDEF
A3B1C1	25.50	F	CDEF
A5B1C2	24.00	F	CDEF
A2B2C1	22.00	F	CDEF
A1B2C1	21.00	F	DEF
A3B2C2	21.00	F	DEF
A3B2C1	15.25	F	DEF
A2B3C1	14.50	F	DEF
A3B3C1	12.25	F	EF
A1B3C1	11.50	F	EF
A1B1C1	10.50	F	EF
A4B1C1	8.00	F	F
A4B2C1	7.00	F	F
A4B3C1	3.50	F	F
A5B3C1	2.25	F	F
A5B2C1	1.75	F	F
A5B1C1	1.50	F	F

Keterangan :

Nilai rata-rata faktor perlakuan yang tidak berbeda nyata akan memiliki kelompok huruf yang sama