



Dan sesungguhnya Allah akan memberi balasan kepada orang-orang yang sabar dengan pahala yang lebih baik dari yang telah mereka kerjakan.

(QS An Nahl : 96)

Dialah yang menjadikan bintang-bintang agar kamu mendapat petunjuk dalam gelap gulita daratan dan dalam berlayar di lautan yang gelap.

(QS Al An'aam : 97)

*Untuk Mama terkasih, Papa,
Teh Caca, De Gegey, danAa*

F/71011992/075

**PENGARUH UMUR KAYU MANGIUM (Acacia mangium Willd) DAN
AMPUPU (Eucalyptus urophylla Blake) TERHADAP RENDEMEN
DAN SIFAT PULP SEMI KIMIA SULFIT NETRAL**



Oleh

FUSSY KENSHY LYSIANTI

F 24. 1373



1 9 9 2

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

INSTITUT PERTANIAN BOGOR

B O G O R

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





Fussy Kenshy Lysianti. F 24.1373. Pengaruh Umur Kayu Mangium (*Acacia mangium* Willd.) dan Ampupu (*Eucalyptus urophylla* Blake.) Terhadap Rendemen dan Sifat Pulp Semi Kimia Sulfit Netral. Di bawah bimbingan R. Muljono Judoamidjojo dan Rena Mutiara Siagian.

RINGKASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh umur kayu Mangium (*Acacia mangium* Willd.) dan Ampupu (*Eucalyptus urophylla* Blake.) terhadap rendemen dan sifat pulp semi kimia sulfit netral, sehingga dapat diketahui umur tebang optimum dan konsentrasi natrium sulfit yang sesuai untuk setiap umur kayu agar diperoleh kualitas pulp terbaik untuk kertas medium.

Perlakuan yang akan dilihat pengaruhnya adalah umur tanam kayu (Faktor A) yang terdiri dari tiga taraf untuk kayu Mangium (3, 4, dan 7 tahun) dan dua taraf untuk kayu Ampupu (5 dan 7 tahun), serta faktor konsentrasi natrium sulfit (Na_2SO_3) yang terdiri dari tiga taraf untuk masing-masing jenis kayu (12, 14, dan 16 persen).

Analisa yang dilakukan meliputi rendemen pulp, sulfur terikat, bilangan Kappa, serta analisa sifat fisik lembaran pulp yang meliputi indeks sobek, panjang putus, indeks retak, ketahanan lipat, ring crush, dan concora.

Hasil analisa sidik ragam menunjukkan bahwa semua taraf umur kayu menghasilkan sifat fisikokimia pulp terbaik pada konsentrasi natrium sulfit yang tinggi (16%). Peningkatan

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 mengizinkan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mempublikasikan dan memperdagangkan sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

konsentrasi natrium sulfat yang tinggi (16%). Peningkatan konsentrasi natrium sulfat akan menaikkan sifat-sifat pulp tersebut, kecuali untuk rendemen dan bilangan Kappa yang cenderung mengalami penurunan. Peningkatan umur kayu akan menurunkan nilai ketahanan lipat dan faktor concora, namun menaikkan sifat-sifat lainnya.

Berdasarkan hasil identifikasi mutu menurut SII.0445-81, maka konsentrasi natrium sulfat terbaik untuk kayu Mangium berumur 3 dan 7 tahun adalah 16 persen. Umur kayu 3 tahun dengan konsentrasi natrium sulfat sebesar 16 persen memberikan nilai Faktor *Ring Crush* sebesar 8.85 kgf.m²/g (kelas mutu B), nilai Faktor *Concora* sebesar 5.66 kgf.m²/g (kelas mutu A), dan nilai rendemen sebesar 69.83 persen. Umur kayu 7 tahun dengan konsentrasi natrium sulfat yang sama memberikan nilai Faktor *Ring Crush*, Faktor *Concora*, dan rendemen masing-masing sebesar 10.43 kgf.m²/g (kelas mutu A), 4.22 kgf.m²/g, dan 67.75 persen. Untuk kayu mangium yang berumur 4 tahun konsentrasi natrium sulfat paling efisien adalah 14 persen. Kombinasi ini memberikan nilai Faktor *Ring Crush* 7.93 kgf.m²/g (kelas mutu B), Faktor *Concora* 4.15 kgf.m²/g (kelas mutu B), dan nilai rendemen sebesar 75.13 persen. Dari ketiga taraf umur kayu Mangium yang diteliti, maka kayu yang berumur 3 tahun merupakan bahan baku terbaik untuk pulp kertas medium. Taraf umur ini secara umum akan menghasilkan pulp dengan kelas mutu di atas B. Adapun konsentrasi natrium sulfat yang secara umum akan



sesuai untuk kayu Mangium yang berumur antara 3 dan 7 tahun adalah sebesar 16 persen.

Untuk kayu Ampupu berumur 5 tahun, konsentrasi natrium sulfat paling sesuai dan efisien adalah 12 persen. Kombinasi ini akan memberikan nilai Faktor *Ring Crush* 7.18 kgf.m²/g (kelas mutu B), nilai Faktor *Concora* 5.45 kgf.m²/g (kelas mutu A), dan nilai rendemen sebesar 54.24 persen. Adapun untuk kayu Ampupu berumur 7 tahun, konsentrasi natrium sulfat terbaik adalah 14 persen, dengan nilai Faktor *Ring Crush* sebesar 10.10 kgf.m²/g (kelas mutu A), nilai Faktor *Concora* 5.98 kgf.m²/g, dan nilai rendemen sebesar 52.29 persen. Kayu Ampupu yang optimal sebagai bahan baku pulp kertas medium adalah kayu berumur 5 tahun yang secara umum akan menghasilkan pulp dengan mutu hampir mencapai kelas A, sedangkan konsentrasi natrium sulfat yang sesuai untuk kayu Ampupu yang berumur antara 5 sampai 7 tahun adalah sebesar 14 persen.

@Erik cipta mika IPB University

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

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

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



**PENGARUH UMUR KAYU MANGIUM (*Acacia mangium* Willd.) DAN
AMPUPU (*Eucalyptus urophylla* Blake.) TERHADAP RENDEMEN
DAN SIFAT PULP SEMI KIMIA SULFIT NETRAL**

Oleh

FUSSY KENSHY LYSIANTI

F 24.1373

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN
pada Jurusan TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN
Fakultas Teknologi Pertanian,
Institut Pertanian Bogor**

1992

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

INSTITUT PERTANIAN BOGOR

BOGOR

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



**PENGARUH UMUR KAYU MANGIUM (*Acacia mangium* Willd.) dan
AMPUPU (*Eucalyptus urophylla* Blake.) TERHADAP RENDEMEN
DAN SIFAT PULP SEMI KIMIA SULFIT NETRAL**

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN
pada Jurusan TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN
Fakultas Teknologi Pertanian,
Institut Pertanian Bogor**

Oleh

FUSSY KENSHY LYSIANTI

F 24.1373

Dilahirkan pada tanggal 13 Desember 1968

di Bogor

Tanggal lulus : 21 Desember 1991

Disetujui,

Bogor, 6 Januari 1992

Ir. Rena M. Siagian, MS

Dosen Pembimbing II



Dr. R. Muljono Judoamidjojo

Dosen Pembimbing I



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nyalah penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi ini disusun berdasarkan penelitian yang dilaksanakan pada bulan Juni sampai September 1991 di Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor. Pada kesempatan ini penulis menghaturkan terima kasih kepada :

1. Dr. R. Mulyono Judoamidjojo, selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan kepada penulis,
2. Ir. Rena M. Siagian, MS., selaku Dosen Pembimbing II yang banyak memberikan pengarahan pada penyusunan skripsi,
4. Dr. Ir. Bambang Djatmiko, selaku dosen penguji yang banyak memberikan saran dan perbaikan pada penyusunan skripsi,
3. Bapak Nana Supriana, selaku Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan (P3HH) dan Karyawan P3HH yang memberikan fasilitas dan bantuan selama penelitian,
4. Staf Pengajar pada Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fateta IPB yang telah memberikan bekal pengetahuan kepada penulis,
5. Bapak Mahmud Jusuf dan Ibu Mien Karmini, selaku orang tua penulis yang banyak memberikan dorongan moril dan materil serta doa kepada penulis,



6. Semua civitas akademika jurusan Teknologi Industri Pertanian serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna baik dalam cara penyusunan maupun cakupannya, namun penulis berharap semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Bogor, Desember 1991

Penulis

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
@ Hak cipta milik 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 mempublikasikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR ISI

© Hak cipta milik IPB University

	Halaman
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I. PENDAHULUAN	1
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
A. KOMPONEN KIMIA KAYU	4
1. Selulosa	6
2. Hemiselulosa	8
3. Lignin	10
4. Zat Ekstraktif	12
B. PENGARUH UMUR TERHADAP SIFAT KAYU DAN KUALITAS PULP YANG DIHASILKAN	14
C. SIFAT JENIS KAYU UNTUK BAHAN BAKU PULP KERTAS	15
1. Kayu Mangium (<i>Acacia mangium</i> Willd.)	16
2. Kayu Ampupu (<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.)	18
D. PROSES PEMBUATAN PULP SEMI KIMIA SULFIT NETRAL	20
1. Konsentrasi Larutan Pemasak	21
2. Perbandingan Larutan Pemasak Dengan Bahan Baku	22

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.



	Halaman
3. Suhu dan Waktu Pemasakan	23
4. Perlakuan Mekanis Dalam Pembentukan Pulp	25
E. KERTAS MEDIUM	26
III. BAHAN DAN METODA	29
A. BAHAN DAN ALAT	29
1. Bahan	29
2. Alat	30
B. METODA	31
1. Penelitian Pendahuluan	31
a. Penetapan bobot jenis kayu	32
b. Pengukuran dimensi serat	33
2. Proses Pembuatan Pulp	36
a. Pembuatan serpih kayu	36
b. Proses pembuatan pulp semi kimia sulfit netral	38
c. Pembuatan lembaran pulp	40
3. Analisa	40
a. Rendemen pulp	40
b. Penetapan sulfur terikat	41
c. Bilangan Kappa	43
d. Ketahanan sobek	45
e. Ketahanan tarik	46
f. Ketahanan lipat	47
g. Ketahanan retak	47

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 trijauan 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.

h. <i>Ring Crush</i>	48
i. <i>Concora</i>	49
C. RANCANGAN PERCOBAAN	50
1. Perlakuan	50
2. Model Rancangan	50
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	52
A. PENELITIAN PENDAHULUAN	52
1. Bobot Jenis	52
2. Dimensi Serat	56
B. PENELITIAN UTAMA	61
1. Rendemen	61
2. Sulfur Terikat	66
3. Bilangan Kappa	70
4. Kekuatan Sobek	73
5. Panjang Putus	78
6. Indeks Retak	81
7. Ketahanan Lipat	84
8. <i>Ring Crush</i>	87
9. <i>Concora</i>	91
C. IDENTIFIKASI PULP	94
V. KESIMPULAN DAN SARAN	97
A. KESIMPULAN	97
B. SARAN	100
DAFTAR PUSTAKA	101
LAMPIRAN	105

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1.	Komposisi kimia kayu Mangium pada berbagai tingkat umur	17
Tabel 2.	Kelarutan kayu Mangium pada berbagai tingkat umur dalam berbagai media pelarut ...	18
Tabel 3.	Komposisi kimia kayu Ampupu pada berbagai tingkat umur	19
Tabel 4.	Kelarutan kayu Ampupu pada berbagai tingkat umur dalam berbagai media pelarut ..	19
Tabel 5.	Spesifikasi Kertas Medium (SII.0445-81)	27
Tabel 6.	Data bobot jenis dan dimensi serat kayu Mangium	53
Tabel 7.	Data bobot jenis dan dimensi serat kayu Ampupu	54
Tabel 8.	Nilai rata-rata dimensi serat dan nilai mutu kayu Mangium dan Ampupu	60
Tabel 9.	Nilai rata-rata dan nilai mutu pengujian Faktor <i>Ring Crush</i> dan Faktor <i>Concora</i> untuk setiap kombinasi umur kayu dan konsentrasi natrium sulfit berdasarkan SII.0445-81 ..	95

Hak Cipta milik IPB University
 @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 menginkan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mempublikasikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Struktur molekul selulosa	7
Gambar 2. Monosakarida pembentuk struktur polimer hemiselulosa	9
Gambar 3. Unit dasar pembentuk struktur lignin ..	11
Gambar 4. Diagram alir proses pembuatan lembaran pulp semi kimia sulfit netral	37
Gambar 5. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan rendemen pulp kayu Mangium	64
Gambar 6. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan rendemen pulp kayu Ampupu	65
Gambar 7. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan sulfur terikat pada kayu Mangium	68
Gambar 8. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan sulfur terikat pada kayu Ampupu	69
Gambar 9. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan Bilangan Kappa pada kayu Mangium	73
Gambar 10. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan Bilangan Kappa pada kayu Ampupu	74
Gambar 11. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan indeks sobek pada kayu Mangium	75
Gambar 12. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan indeks sobek pada kayu Ampupu	76
Gambar 13. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan panjang putus pada kayu Mangium	79

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 @Hak cipta milik 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 trajiuan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mempublikasikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



	Halaman
Gambar 14. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan panjang putus pada kayu Ampupu	80
Gambar 15. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan indeks retak pada kayu Mangium	82
Gambar 16. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan indeks retak pada kayu Ampupu	83
Gambar 17. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan ketahanan lipat pada kayu Mangium	85
Gambar 18. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan ketahanan lipat pada kayu Ampupu	86
Gambar 19. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan Faktor <i>Ring Crush</i> pada kayu Mangium	88
Gambar 20. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan Faktor <i>Ring Crush</i> pada kayu Ampupu	89
Gambar 21. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan Faktor <i>Concora</i> pada kayu Mangium	92
Gambar 22. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan Faktor <i>Concora</i> pada kayu Ampupu	93



DAFTAR LAMPIRAN

		Halaman
Lampiran 1.	Kriteria penilaian serat kayu Indonesia untuk bahan baku pulp dan kertas	105
Lampiran 2.	Nilai rata-rata hasil pengujian pulp semi kimia sulfit netral kayu mangium dan Ampupu	106
Lampiran 3.	Data hasil pengujian dan Analisa Statistik Rendemen Pulp	107
Lampiran 4.	Data Hasil Pengujian dan Analisa statistik Bilangan Kappa	110
Lampiran 5.	Data hasil Pengujian dan Analisa statistik sulfur terikat	113
Lampiran 6.	Data Hasil Pengujian dan Analisa statistik indeks sobek	116
Lampiran 7.	Data Hasil Pengujian dan Analisa statistik panjang putus	119
Lampiran 8.	Data Hasil Pengujian dan Analisa statistik indeks retak	122
Lampiran 9.	Data Hasil Pengujian dan Analisa statistik ketahanan lipat	125
Lampiran 10.	Data Hasil Pengujian dan Analisa statistik Faktor <i>Ring Crush</i>	128
Lampiran 11.	Data Hasil Pengujian dan Analisa statistik Faktor <i>Concora</i>	131

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, karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

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

I. PENDAHULUAN

Dewasa ini peranan kertas tidak dapat dipisahkan dari kehidupan sehari-hari, baik untuk keperluan industri, budaya, rumah tangga atau untuk keperluan lainnya. Menurut Anonimus (1979), konsumsi kertas di suatu negara merupakan fungsi dari tingkat penghasilan dan tingkat pendidikan, karenanya jumlah konsumsi kertas suatu negara dapat menjadi tolok ukur tingkat kemajuan negara tersebut.

Konsumsi kertas di Indonesia masih tergolong rendah dibandingkan dengan beberapa negara berkembang lainnya. Pada tahun 1983 konsumsi kertas dari segala jenis baru mencapai 4.7 kg per kapita. Jumlah tersebut relatif rendah bila dibandingkan dengan Singapura sebesar 50 kg, Malaysia sebesar 27.7 kg, Thailand 11.5 kg, dan Philipina sebesar 7 kg per kapita (Waluyo, 1985).

Pertumbuhan industri pulp dan kertas di Indonesia relatif cepat dari tahun ke tahun. Pada periode tahun 1984 sampai 1989 tingkat pertumbuhan rata-rata telah mencapai 24 persen dengan tingkat produksi kertas nasional sebesar 1 154 800 ton pada tahun 1989 (APKI, 1989)

Salah satu jenis kertas industri yang digunakan sebagai lapisan bergelombang dalam karton gelombang adalah kertas medium (Anonimus, 1981). Kertas jenis ini umumnya dibuat melalui proses semi kimia sulfit netral atau *neutral sulfit semichemical (NSSC) process*.

Menurut Rudatin et al. (1983), berdasarkan pengembangan Sub-sektor Industri Selulosa dan Karet, proyeksi produksi kertas medium periode 1985/1986 berjumlah 43 000 ton. Jumlah ini akan meningkat untuk tahun 1986/1987 menjadi 47 000 ton, sedangkan pada periode 1987/1988 adalah 58 000 ton. Adapun target yang ingin dicapai adalah sebesar 67 000 ton per tahun. Hasil penelitian lapangan yang dilakukan oleh Waluyo (1985) menunjukkan, bahwa produksi kertas medium pada tahun 1984 telah mencapai 84 500 ton. Nilai ini jauh melampaui jumlah proyeksi produksi yang telah ditargetkan, sehingga dapat disimpulkan bahwa pertumbuhan industri ini akan semakin meningkat dari tahun ke tahun.

Pertumbuhan industri pulp yang relatif cepat tersebut harus diiringi dengan penyediaan bahan baku pulp dalam jumlah besar. Prospek pemanfaatan kayu sebagai bahan baku dalam sektor ini dinilai cukup baik, didukung oleh kebijaksanaan pemerintah dalam membangun Hutan Tanaman Industri (HTI) untuk mengantisipasi kebutuhan pulp dalam negeri serta kemungkinan memasuki pasaran luar negeri.

Penentuan jenis kayu yang akan dikembangkan dalam HTI merupakan faktor utama yang akan menentukan keberhasilan pengembangan industri pulp dan kertas di Indonesia. Jenis kayu yang diprioritaskan untuk dikembangkan pada HTI diantaranya adalah kayu Mangium (*Acacia mangium* Willd.) dan kayu Ampupu (*Eucalyptus urophylla* Blake.). Kedua jenis kayu ini memiliki sifat cepat tumbuh dengan daur relatif rendah yaitu

8 - 20 tahun dengan riap sekitar 25 m³ per hektar per tahun. Selain itu persyaratan kondisi tanah serta iklim yang tidak terbatas akan menjamin kesinambungan penggunaan jenis kayu ini sebagai bahan baku pulp dan kertas (Setdal Pembangunan HTI, 1987).

Realisasi pemanfaatan kayu Mangium dan Ampupu sebagai bahan baku pulp dan kertas perlu didukung oleh data-data lengkap yang menyangkut aspek kondisi bahan, proses pembuatan pulp, dan kualitas pulp yang dihasilkan. Salah satu objek penelitian tersebut adalah sifat lembaran pulp pada berbagai tingkat umur. Struktur dan komposisi kimia kayu yang merupakan fungsi dari umur kayu menjadi dasar pertimbangan adanya keragaman sifat lembaran pulp tersebut.

Penelitian ini dimaksudkan untuk menganalisis pengaruh umur kayu terhadap sifat lembaran pulp yang diperoleh dari proses semi kimia sulfit netral untuk kertas medium pada berbagai tingkat konsentrasi natrium sulfit dalam larutan pemasak. Ruang lingkup penelitian ini meliputi penelitian pendahuluan untuk mengetahui variasi bobot jenis dan dimensi serat akibat perubahan umur kayu Mangium (*Acacia mangium* Willd.) dan Ampupu (*Eucalyptus urophylla* Blake.), dilanjutkan dengan penelitian utama yaitu pembuatan pulp semi kimia sulfit netral serta pengujian sifat fisik-kimianya. Tujuannya adalah untuk mengevaluasi kondisi pemasakan pulp semi kimia sulfit netral terbaik untuk kayu Mangium dan Ampupu pada beberapa tingkat umur kayu.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. KOMPONEN KIMIA KAYU

Kayu adalah bahan organik yang tersusun dari 50 persen unsur karbon (C), 44 persen oksigen (O), 6 persen hidrogen (H), serta sejumlah kecil nitrogen dan senyawa anorganik dalam bentuk garam atau oksida. Rumus kimia empiris dari kayu adalah $C_{15}H_{21}O_{10}$. Kayu juga merupakan suatu polimer alami mengingat 97-99 persen bobotnya berupa polimer. Dari jumlah tersebut, sebesar 65-75 persen adalah golongan polisakarida (Hartoyo, 1986).

Menurut Grace dan Malcolm (1983), senyawa kimia penyusun kayu dapat diklasifikasikan menjadi dua golongan besar, yaitu senyawa kimia penyusun dinding sel (*intercellular components*) dan senyawa kimia di luar dinding sel (*extraneous components*). Komponen penyusun dinding sel terdiri dari polisakarida dan lignin, sedangkan komponen di luar dinding sel adalah senyawa organik dalam jumlah kecil yang disebut zat ekstraktif. Senyawa ini mudah larut dalam pelarut-pelarut organik (alkohol, benzene, ether, dan air) tanpa merusak struktur fisik dinding sel. Hartoyo (1989), menyatakan bahwa selain zat ekstraktif, terdapat pula sejumlah kecil komponen lain di luar dinding sel yang merupakan senyawa anorganik. Senyawa ini diperoleh dari hasil pembakaran kayu yang terdiri dari mineral-mineral dalam bentuk

garam magnesium, kalium, kalsium, silika, serta unsur lainnya.

Penyusun utama polisakarida pada kayu adalah selulosa, dan selebihnya adalah gabungan dari polisakarida rantai pendek yang disebut hemiselulosa. Kedua komponen ini bersatu membentuk fraksi yang dinamakan holoselulosa (MacDonald dan Franklin, 1969).

Menurut Hartoyo (1989), penggolongan komponen kimia kayu utama, seperti selulosa, hemiselulosa, lignin, dan zat ekstraktif, dimaksudkan untuk menggambarkan komposisi kayu dan memperkirakan sifat-sifat kayu tersebut dikaitkan dengan penggunaannya.

Selulosa merupakan komponen kimia kayu terbesar sejumlah 40 - 50 persen dari berat kayu, lignin sebanyak 15 - 35 persen, hemiselulosa 20 - 35 persen, dan zat ekstraktif sebesar 3 - 10 persen. Variasi nilai masing-masing komponen tersebut dipengaruhi oleh spesies kayu tersebut, lingkungan tempat tumbuh, faktor hereditas, lokasi pengambilan sample, dan teknik analisa yang digunakan. Pada serat individu, variasi nilainya bergantung pada umur tanaman serta metoda pemurnian yang digunakan. Variasi komponen kimia kayu ini akan mempengaruhi kondisi jumlah dan sifat bahan kimia yang digunakan dalam proses pembuatan pulp kertas (MacDonald dan Franklin, 1969).

@Hak Cipta milik IPB University

IPB University



Pemisahan komponen kimia kayu secara kuantitatif tidak mungkin dilakukan tanpa merubah atau mendegradasi strukturnya. Hal ini disebabkan masing-masing komponen memiliki berat molekul yang tinggi, persamaan sifat, afinitas ikatan fisik dan kimia antar komponen yang sangat tinggi, sehingga struktur kristal kayu yang terbentuk sulit dipisahkan.

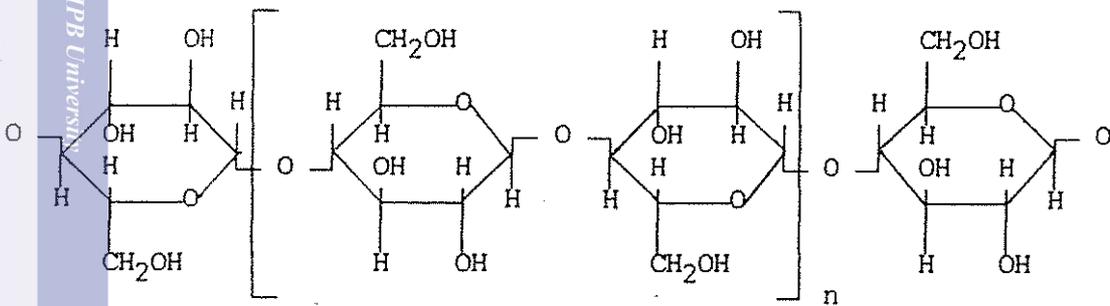
1. Selulosa

Selulosa merupakan bagian terbesar dari kayu. Pada setiap jenis kayu maupun dalam satu pohon jumlahnya bervariasi. Pada umumnya kandungan selulosa dalam kayu daun jarum lebih besar daripada kayu daun lebar (Hartoyo, 1989). Menurut MacDonald dan Franklin (1969), jumlah selulosa kira-kira 50 persen pada struktur batang dan 10 persen pada daun.

Selanjutnya MacDonald dan Franklin (1969) mengatakan bahwa selulosa tersusun dari 44.4 persen karbon, 6.2 persen hidrogen, dan 49.3 persen oksigen. Strukturnya berupa polimer dari pengulangan unit gula sederhana D-glukosa yang memiliki konfigurasi segi enam, yaitu β D-Glukopiranos, dan masing-masing unit bergabung melalui ikatan 1,4 β - Glikosidik.

Rumus empiris untuk molekul selulosa adalah $(C_6H_{10}O_6)_n$, dimana n adalah banyaknya satuan unit anhidroglukosa yang disebut Derajat Polimerisasi (DP). Nilai DP berkisar antara 1 000 - 15 000, ter-

gantung dari sumber asal selulosa, tingkat degradasi sample, dan metoda penentuan DP yang digunakan (MacDonald dan Franklin, 1969). Rumus bangun selulosa dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Struktur molekul selulosa (Kocurek, 1983).

Menurut MacDonald dan Franklin (1969), selulosa dalam lembaran pulp mempunyai daya gabung yang besar, sehingga memudahkan terbentuknya jalinan antar serat. Lebih jauh diuraikan oleh Casey (1980), bahwa tujuan perlakuan kimia dalam proses pembuatan pulp adalah untuk memperoleh serat-serat selulosa sebanyak mungkin dengan cara melarutkan sebanyak mungkin komponen lignin yang mengikat serat.

Sifat-sifat selulosa pada kayu yang menguntungkan dalam pembuatan pulp kertas, antara lain ketersediaannya dalam jumlah melimpah, terdapat dalam bentuk serat yang kuat, memiliki daya serap air yang tinggi, secara alami berwarna putih, tidak larut dalam air

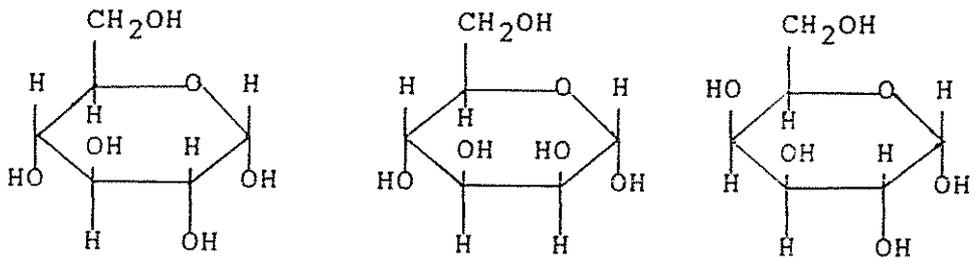
dan pelarut organik netral, serta relatif tahan terhadap beberapa jenis bahan kimia yang umum digunakan dalam pemisahan dan pemurniannya (MacDonald dan Franklin, 1969).

2 Hemiselulosa

Menurut Kocurek (1983), hemiselulosa adalah polisakarida lain penyusun kayu yang memiliki berat molekul rendah serta tersusun dari gabungan unit gula sederhana dengan lima dan enam atom karbon (pentosan dan heksosa).

Senyawa polimer hemiselulosa pada kayu dibentuk dari kondensasi lima unit monosakarida, yaitu 3 unit heksosa (D-mannosa, D-glukosa, dan D-galaktosa), serta 2 unit pentosan (D-xylosa dan L-arabinosa). Semua unit monosakarida ini berbentuk segi enam cincin piranosa, kecuali L-arabinosa yang umum terdapat dalam bentuk segi lima cincin furanosa (Britt, 1970).

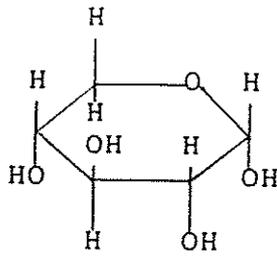
Gugus gula dalam hemiselulosa terdapat dalam jumlah kecil, dimana pada setiap satu molekul hemiselulosa memiliki gugus gula antara 150 sampai 200. Hal ini menyebabkan hemiselulosa lebih mudah terhidrolisa menjadi monosakarida bila dibandingkan dengan selulosa (Casey, 1980).



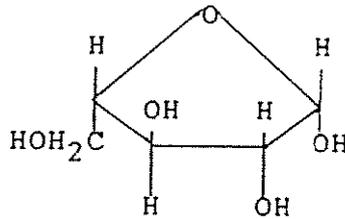
D-glukosa

D-mannosa

D-galaktosa



D-xylosa



L-arabinosa

Gambar 2. Monosakarida pembentuk struktur polimer hemiselulosa (MacDonald dan Franklin, 1969).

Menurut Wenzl (1970), kandungan hemiselulosa berkisar antara 20 - 30 persen dan terdapat pada dinding sel kayu. Komponen ini bersifat larut dalam alkali dan relatif lebih mudah terdegradasi pada hidrolisa asam. Hal ini disebabkan Derajat Polimerisasinya yang lebih rendah bila dibandingkan dengan selulosa.

Hemiselulosa sangat berpengaruh terhadap penyerapan air pada waktu proses pemasakan. Penyerapan air ini mengakibatkan pengembangan serat dan

meningkatkan sifat plastisnya sehingga serat tersebut mudah dipisahkan dari fraksi kayu lainnya. Serat yang plastis akan memiliki luas permukaan ikatan yang tinggi pada saat pembentukan lembaran pulp, sehingga kekuatan kertas yang dihasilkan menjadi tinggi. Selain itu, kandungan hemiselulosa yang tinggi akan mengurangi waktu dan daya yang dibutuhkan dalam penggilingan serta pemisahan serat selama perlakuan mekanis pada proses pembuatan pulp (MacDonald dan Franklin, 1969).

Hemiselulosa lebih memipih pada proses pembentukan lembaran, sehingga jalinan ikatan antar serat dalam lembaran akan lebih baik, dengan demikian hemiselulosa sangat diinginkan dalam pembuatan pulp. Serat dengan kandungan hemiselulosa tinggi diharapkan dapat menghasilkan pulp dengan sifat kekuatan yang tinggi (Stephenson, 1950).

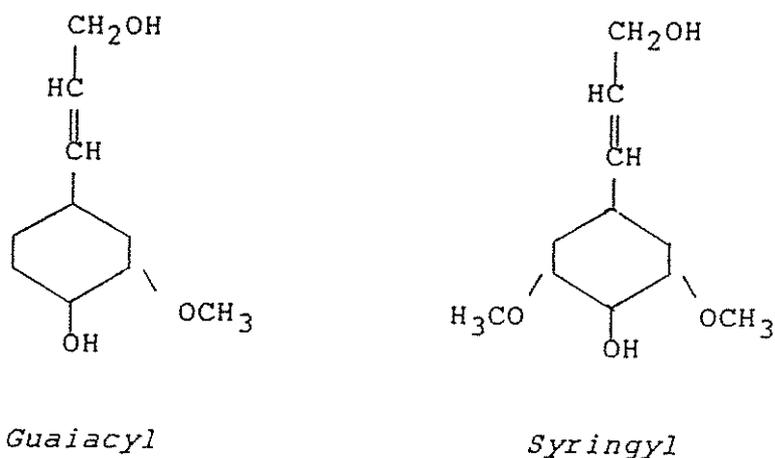
3. Lignin

Lignin adalah suatu polimer yang kompleks dengan berat molekul tinggi dan tersusun atas satuan-satuan fenil propana. Senyawa kimia ini sangat stabil, sulit dipisahkan, dan mempunyai bentuk yang bermacam-macam, sehingga struktur lignin dalam kayu pun bermacam-macam (Haygreen dan Bowyer, 1989).



Menurut Kocurek (1983), struktur dasar pembentuk molekul lignin pada kayu daun jarum berbeda dengan kayu daun lebar. Lignin pada kayu daun jarum tersusun dari pengulangan unit *guaiacyl*. Pada kayu daun lebar, lignin tersusun dari kopolimer unit *guaiacyl* dan *syringyl*. Perbandingan antara jumlah unit *guaiacyl* dan *syringyl* pada kayu daun lebar bervariasi antara 4 : 1 sampai 2 : 1.

Perbedaan antara unit *guaiacyl* dan *syringyl* terletak pada jumlah gugus *methoxyl* yang terikat pada cincin fenil propana. Unit *guaiacyl* hanya memiliki satu gugus *methoxyl*, sedangkan unit *syringyl* memiliki dua gugus *methoxyl* (Kocurek, 1983). Rumus bangun unit *guaiacyl* dan *syringyl* dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Unit dasar pembentuk struktur lignin (Kocurek, 1983)

Kadar lignin pada kayu daun jarum berkisar antara 26 - 34 persen dan pada kayu daun lebar antara 23 - 30 persen. Kadar lignin pada kayu daun jarum di daerah tropis umumnya lebih tinggi, yaitu sekitar 40 persen (MacDonald dan Franklin, 1969).

Panshin dan Zeeuw (1980) menyatakan, bahwa dari tiga senyawa utama penyusun kayu, lignin merupakan senyawa yang tidak diharapkan pada pulp kertas. Sebagian besar lignin dilarutkan dan dipisahkan selama proses pembuatan pulp. Menurut Casey (1980), adanya sisa lignin dalam pulp akan memberikan pengaruh yang kurang baik terhadap warna maupun sifat fisik pulp akibat terhambatnya aktifitas selulosa dan hemiselulosa dalam pembentukan ikatan antar serat.

Dalam proses pembuatan pulp kertas, lignin dapat diisolasi dengan 3 cara. Pertama adalah dengan proses sulfonasi yang dilanjutkan dengan hidrolisa asam. Cara kedua adalah menggunakan alkali panas melalui proses sulfat dan proses soda. Adapun cara ketiga adalah pemucatan (*bleaching*) pulp yang meliputi proses chlorinasi, oksidasi dan hidrolisis (MacDonald dan Franklin, 1969).

4. Zat Ekstraktif

Soedradjat (1970) menyatakan bahwa zat ekstraktif merupakan senyawa kimia dengan berat molekul

bervariasi dari yang rendah sampai tinggi dan terdapat di bagian dalam sel. Menurut Wenzl (1970), semua jenis kayu mengandung sejumlah zat ekstraktif yang dapat diekstraksi dengan pelarut organik atau air.

Zat ekstraktif yang terdapat dalam kayu, antara lain senyawa hidrokarbon, alkohol, asam-asam organik, resin, sterol, tanin, fenol, senyawa terpen dan turunannya. Kandungan zat ekstraktif dalam kayu berkisar antara 3 - 10 persen. Kayu daun jarum umumnya mengandung zat ekstraktif sejumlah 5 - 8 persen, sedangkan pada kayu daun lebar sekitar 2 - 4 persen (MacDonald dan Franklin, 1969).

MacDonald dan Franklin (1969) menyatakan bahwa zat ekstraktif akan menghambat proses pembuatan pulp karena terjadinya reaksi antara senyawa ini dengan larutan pemasak. Salah satu jenis zat ekstraktif yang bereaksi dengan larutan pemasak adalah polifenol (tanin). Senyawa ini akan mengkonsumsi alkali dalam jumlah besar, sehingga proses pemasakan menjadi kurang sempurna.

Zat ekstraktif resin banyak terdapat dalam pembuluh kayu teras. Di dalam proses pembuatan pulp, adanya resin akan mengganggu penetrasi bahan kimia dalam serpih, sehingga menyebabkan bintik-bintik hitam pada kertas yang akan menyebabkan penyumbatan pada kassa kawat mesin kertas (Tsoumis, 1968).



B. PENGARUH UMUR TERHADAP SIFAT KAYU DAN KUALITAS PULP YANG DIHASILKAN

Menurut Panshin dan Zeeuw (1980), umur tanaman sangat berpengaruh terhadap bobot jenis kayu, dimensi serat kayu dan nilai turunannya, serta komposisi kimia kayu. Sifat-sifat dasar kayu tersebut berhubungan erat dengan sifat pulp yang dihasilkan.

Pada umur pohon yang lebih tua akan terbentuk kayu yang memiliki bobot jenis yang lebih tinggi daripada umur yang lebih muda. Hasil penelitian Pasaribu dan Silitonga (1977) pada kayu dengan bobot jenis rendah (0.27-0.47), bobot jenis sedang (0.50-0.70), dan bobot jenis tinggi (0.73-0.93), menunjukkan bahwa kayu dengan bobot jenis rendah sampai sedang, menghasilkan rendemen pulp yang lebih besar dari pada campuran kayu dengan bobot jenis tinggi. Hal ini terjadi karena proses difusi dan penetrasi bahan kimia pemasak ke dalam struktur jaringan kayu dengan bobot jenis tinggi berlangsung lebih sukar dan mengakibatkan reaksi terhadap lignin sebagai pengikat antar serat belum sempurna, sehingga rendemen yang dihasilkan lebih rendah.

Hal yang sama juga dinyatakan oleh Stephenson (1950), bahwa bobot jenis juga berpengaruh terhadap kondisi pemasakan dimana kayu dengan bobot jenis tinggi menyebabkan kesulitan dalam penetrasi bahan kimia pemasak ke dalam sel-sel kayu, sehingga membutuhkan pemakaian



bahan kimia pemasak yang lebih banyak dan waktu pemasakan yang lebih lama. Selain itu bobot jenis kayu yang tinggi umumnya akan menaikkan sifat kekuatan pulp.

Umur kayu juga berpengaruh terhadap dimensi serat dan nilai turunannya. Rasimin dan Eddi (1983) menyatakan, bahwa semakin tua umur kayu, seratnya semakin panjang. Menurut Pasaribu dan Silitonga (1974), panjang serat berpengaruh terhadap ketahanan retak lembaran pulp kertas yang dihasilkan.

Usman (1985) menyatakan bahwa semakin besar rasio antara panjang serat dan diameternya, maka semakin besar fleksibilitas serat. Selain itu nilai perbandingan dua kali tebal dinding sel dengan diameter lumen (perbandingan Runkel) dapat dipakai sebagai kriteria sifat serat. Nilai ini merupakan parameter luasan yang memungkinkan terjadinya ikatan serat. Nilai perbandingan Runkel yang tinggi menunjukkan rendahnya luasan ikatan antar serat, sehingga lembaran pulp menjadi lebih kaku dan kurang tegar.

Umur kayu juga berpengaruh terhadap komposisi kimia penyusun kayu. Kandungan selulosa akan semakin meningkat dengan bertambahnya umur pohon sampai pada batas tertentu, namun akan mengalami penurunan apabila umur kayu sudah terlampau tua (Haygreen dan Bowyer, 1989).

Hal yang sama juga dikatakan oleh Wise dan Jahn (1952), bahwa semakin tinggi umur maka kadar lignin dan

selulosa semakin tinggi sedangkan kadar pentosan relatif menurun. Menurut Casey (1980), variasi komposisi kimia kayu tersebut akan mempengaruhi jumlah larutan pemasak, kondisi pengolahan, tingkat proses pemutihan jumlah bahan pemutih, serta rendemen dan kualitas pulp yang dihasilkan dari proses pemasakan.

C. SIFAT JENIS KAYU UNTUK BAHAN BAKU PULP KERTAS

1. Kayu mangium (*Acacia mangium* Willd.)

Kayu Mangium (*Acacia mangium* Willd.) termasuk famili Leguminosae (kacang-kacangan), sub famili Mimosoideae. Nama lain dari *A. mangium* Willd. adalah *A. glauscens* dan *Mangium montatum* Rump., di Kalimantan terkenal dengan nama Akasia Bentuas (Anonimus, 1979).

Tanaman ini tumbuh baik pada tanah yang kompak, tanah yang mengalami erosi, pada bekas perladangan dan pada tanah yang memiliki kandungan mineral tipis. Selain itu jenis tumbuhan ini baik sekali untuk memberantas alang-alang karena cepat menutupi tanah (Adisubroto dan Priasukmana, 1985).

Kayu Mangium merupakan salah satu jenis legume yang dianggap potensial untuk reboisasi lahan kritis dan Hutan Tanaman Industri (HTI). Kayunya dapat digunakan sebagai bahan baku industri pertukangan dan juga sebagai kayu energi (Anonimus, 1988).

Kayu Mangium termasuk jenis pionir, intoleran, dan cepat tumbuh dengan riap diameter 3 cm per tahun dan riap volume 20-46 m³/ha/tahun (Anonimus, 1983).

Panjang serat kayu Mangium termasuk ke dalam serat pendek sehingga kayunya bersifat kompak. Panjang serat kayu ini berkisar antara 0.880 sampai 0.974 mm dengan tebal dinding berkisar antar 4.367 sampai 4.617 μ (Priasukmana dan Silitonga, 1972).

Mading (1991) melakukan pengukuran komposisi kimia kayu Mangium berdasarkan berat kering bahan, pada berbagai taraf umur kayu. Selain itu Mading juga telah mengukur kelarutannya dalam beberapa macam media pelarut. Data pengukuran tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2 di bawah ini.

Tabel 1. Komposisi kimia kayu Mangium pada berbagai tingkat umur^a

Komponen kimia	Umur kayu (tahun)		
	3	4	7
Air (%)	9.02	6.88	10.75
Selulosa (%)	52.86	54.63	63.02
α -selulosa (%)	44.57	46.76	52.84
Lignin (%)	23.27	24.25	26.72
Pentosan (%)	15.27	15.37	14.88
Abu (%)	0.61	0.67	0.82
Silika (%)	0.20	0.27	0.38

^a Mading (1991)

Tabel 2. Kelarutan kayu Mangium pada berbagai tingkat umur dalam berbagai media pelarut ^a

Media pelarut	Umur kayu (tahun)		
	3	4	7
Alkohol (%)	3.33	5.09	3.98
Air dingin (%)	4.95	3.80	4.36
Air panas (%)	6.38	4.98	6.00
NaOH 1% (%)	10.85	21.22	10.52
H ₂ SO ₄ 1% (%)	5.68	5.19	4.82

^a Mading (1991)

2. Kayu Ampupu (*Eucalyptus urophylla* Blake.)

E. urophylla Blake. termasuk famili Myrtaceae, merupakan jenis asli Indonesia dengan daerah penyebarannya alami di Nusa Tenggara Timur dan Timor Timur. Di Indonesia *E. urophylla* disebut dengan *E. alba* Reinw. dan *E. alba* Reimo disebut dengan *E. plathiphylla*. Nama *E. urophylla* diberikan oleh Blake dan dipopulerkan oleh Pryor pada tahun 1972. Tanaman ini terkenal di Indonesia dengan nama Ampupu (Suhaendi dan Djapilus, 1978).

Lahan terbaik bagi pertumbuhan kayu Ampupu adalah daerah dengan curah hujan di atas 1 000 mm setiap tahun, dan pada ketinggian 300 - 3000 meter di atas permukaan laut (Yasin *et al.*, 1989)

Panjang serat rata-rata kayu Ampupu termasuk klasifikasi sedang, dan mempunyai daya tenun yang cukup tinggi sehingga diperoleh lembaran kertas yang baik (Pratiwi, 1984).



Hasil penelitian Mading (1991) tentang komposisi kimia kayu Ampupu berdasarkan berat kering bahan dapat dilihat pada Tabel 3. Adapun kelarutannya pada berbagai media pelarut disajikan pada Tabel 4.

Tabel 3. Komposisi kimia kayu Ampupu pada berbagai tingkat umur ^a

Komponen kimia	Umur kayu (tahun)	
	5	7
Air (%)	17.90	19.86
Selulosa (%)	65.43	67.89
α -selulosa (%)	54.26	56.18
Lignin (%)	24.81	25.69
Pentosan (%)	14.68	17.39
Abu (%)	0.31	0.49
Silika (%)	0.14	0.28

^a Mading (1991)

Tabel 4. Kelarutan kayu Ampupu pada berbagai tingkat umur dalam berbagai media pelarut ^a

Media pelarut	Umur kayu (tahun)	
	5	7
Alkohol (%)	3.68	4.92
Air dingin (%)	5.11	3.33
Air panas (%)	7.08	5.38
NaOH 1% (%)	16.23	14.71
H ₂ SO ₄ 1% (%)	8.42	6.53

^a Mading (1991)

D. PROSES PEMBUATAN PULP SEMI KIMIA SULFIT NETRAL

Pembuatan pulp semi kimia adalah proses dua tahap yang meliputi perlakuan kimia untuk menghilangkan materi lignoselulosa terikat, diikuti dengan proses mekanis untuk pemisahan serat secara sempurna (Casey, 1980).

Menurut MacDonald dan Franklin (1969), reaksi kimia dalam proses semi kimia sulfit netral atau *neutral sulfit semichemical (NSSC) process* pada prinsipnya sama dengan proses sulfit dimana pelarutan lignin dilakukan dua tahap, yaitu proses sulfonasi yang diikuti dengan proses hidrolisa. Molekul lignin yang kecil segera dilarutkan dalam proses sulfonasi sedangkan molekul lignin yang besar dilunakkan melalui proses hidrolisa, sedangkan lignin yang tertinggal dipisahkan dengan perlakuan mekanis.

Tahapan proses yang terjadi dalam pembuatan pulp semi kimia sulfit netral terdiri dari penjenuhan serpih dengan larutan pemasak, pemasakan serpih oleh bahan kimia netral yang sanggup memelihara kenetralannya selama proses pembebasan serat dari sejumlah bahan organik lainnya yang terdapat dalam kayu, serta reduksi mekanis untuk menghaluskan serpih menjadi pulp (Rydholm, 1965).

Salah satu bahan kimia yang digunakan dalam proses pemasakan adalah natrium sulfit (Na_2SO_3) karena bahan kimia sangat selektif melunakkan lignin dan tidak menim-

pada larutan pemasak cenderung untuk mendegradasi selulosa. Menurut Casey (1980), penggunaan konsentrasi larutan pemasak yang semakin tinggi akan meningkatkan proses sulfonasi terhadap lignin dan selulosa, selain itu laju degradasi pada selulosa menjadi semakin meningkat pula, sehingga rendemen yang dihasilkan menjadi rendah.

Dilain pihak peningkatan konsentrasi natrium sulfit akan berpengaruh positif terhadap lembaran pulp yang dihasilkan, karena akan dapat meningkatkan kekuatan fisik lembaran pulp (Silitonga dan Roliadi, 1976). Karenanya dengan menetapkan konsentrasi larutan pemasak secara tepat akan diperoleh hasil yang optimal.

Pada umumnya untuk kayu dengan bobot jenis rata-rata rendah (± 0.39), pulp terbaik dapat dihasilkan dari proses semi kimia sulfit netral dengan menggunakan konsentrasi natrium sulfit berkisar antara 10 - 16 persen (Cahyono, 1986).

2. Perbandingan Larutan Pemasak Dengan Bahan Baku

MacDonald dan Franklin (1969) menyatakan, bahwa perbandingan larutan pemasak dengan kayu yang tinggi menyebabkan pemasakan berjalan sempurna karena sejumlah serpih kayu terendam dalam larutan pemasak sehingga penetrasi bahan pemasak ke dalam sel-sel kayu

berjalan sempurna karena digester pemasak berisi larutan pemasak dalam volume yang cukup besar. Menurut Rydholm (1965), perbandingan larutan pemasak dengan bahan baku yang umum digunakan untuk tujuan komersial pada proses ini berkisar antara 1.5 : 1 sampai 4 : 1.

3 Suhu dan Waktu Pemasakan

Menurut MacDonald dan Franklin (1969), suhu dan waktu pemasakan merupakan dua peubah yang bersifat interdependensi. Semakin tinggi suhu maksimum, maka semakin kecil waktu pemasakan yang diperlukan. Hal yang sama juga dikatakan oleh Libby (1962), bahwa umumnya peningkatan suhu menyebabkan delignifikasi berlangsung lebih cepat, sehingga semakin mempersingkat waktu pemasakan.

Kenaikan suhu secara bertahap selama proses pemasakan akan menghasilkan pulp yang lebih kuat dibandingkan dengan kenaikan suhu secara drastis. Hal ini antara lain disebabkan dengan kenaikan suhu secara bertahap, maka penurunan konsentrasi alkali pun terjadi secara perlahan dan proses pelarutan lignin dapat terus berlangsung tanpa menyebabkan degradasi selulosa dan hemiselulosa yang terlalu besar (Casey, 1980).

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Kisaran suhu yang paling sering digunakan dalam industri adalah antara 170 sampai 180°C. Suhu di bawah 170°C tidak memberikan keuntungan terhadap nilai rendemen dan kualitas yang dihasilkan, sedangkan suhu di atas 170°C menyebabkan degradasi selulosa semakin meningkat (MacDonald dan Franklin, 1969).

Menurut Wenzl (1970), laju delignifikasi merupakan fungsi dari waktu pemasakan. Peningkatan waktu pemasakan menyebabkan laju delignifikasi serta laju degradasi selulosa dan hemiselulosa yang semakin tinggi, sehingga rendemen pulp yang dihasilkan semakin rendah.

Waktu untuk pemasakan serpih kayu pada proses semi kimia sulfit netral terdiri dari dua tahap, yaitu waktu untuk penetrasi larutan ke dalam serpih yang dilanjutkan dengan waktu untuk meningkatkan suhu sehingga mencapai suhu maksimum. Waktu pemasakan yang umum digunakan adalah 3 sampai 4 jam dengan suhu maksimum sebesar 170°C (Casey, 1980).

Tujuan pengaturan waktu selama proses pemasakan adalah untuk mengefektifkan penggunaan larutan pemasak, dimana diharapkan dengan menggunakan waktu yang tepat, maka efisiensi pemakaian larutan pemasak dapat mencapai 90 sampai 95 persen, sehingga delignifikasi dapat mencapai taraf optimum.



4. Perlakuan Mekanis Dalam Pembentukan Pulp

Menurut MacDonalld dan Franklin (1969), dalam pembuatan pulp semi kimia pengerjaan mekanis memegang peranan penting. Tujuan utama perlakuan mekanis adalah memisahkan gumpalan serat dari serpih yang lunak menjadi serat individu. Selain itu menurut Casey (1980), perlakuan mekanis dapat menambah areal tenun serat satu dengan lainnya melalui ikatan hidrogen, sehingga dengan proses penggilingan yang baik akan dapat mempertinggi kekuatan pulp yang dihasilkan.

Proses yang terjadi selama perlakuan mekanis terdiri dari pergeseran antar serat, pergeseran antar gumpalan serat dan pergeseran serat dengan dinding alat. Pada akhir proses pembentukan serat (*defiber-ing*) diperkirakan dapat menghasilkan serat individu sebesar 80 persen dari bahan asal (Libby, 1962).

Pada proses semi kimia sulfit netral, terdapat dua tahap perlakuan mekanis dalam pembentukan pulp. Tahap pertama adalah penggilingan serpih lunak hasil pemasakan yang bertujuan untuk menguraikan gumpalan serat. Tahap kedua adalah penggilingan pulp yang bertujuan untuk menghasilkan pulp dengan derajat giling tertentu sesuai dengan jenis kertas diinginkan (MacDonalld dan Franklin, 1969).



Selama proses pengerjaan mekanis, serat akan memipih, sehingga permukaan serat bertambah luas dan ikatan hidrogen antar serat semakin bertambah dan kekuatan pulp menjadi semakin tinggi. Namun pada proses ini dapat pula terjadi pemotongan serat menjadi serat-serat pendek, sehingga menurunkan kekuatan pulp yang dihasilkan (Casey, 1980).

F. KERTAS MEDIUM

Menurut Judodibroto dan Sutamat (1977), kertas adalah lembaran yang terdiri dari serat selulosa alam yang saling melekat dan jalin menjalin. Seiring dengan perkembangan teknologi dan produk baru dari jenis-jenis kertas, maka dewasa ini kertas dapat pula dihasilkan dari serat hewan, mineral atau sintetis yang diolah secara bersama atau terpisah.

Salah satu jenis kertas yang umum digunakan sebagai komponen penyusun karton gelombang (*corrugated board*) adalah kertas medium. Menurut Anonimus (1981), kertas medium adalah kertas yang dipergunakan sebagai lapisan bergelombang pada karton gelombang dengan kertas *lainer* (*lainer board*) sebagai penyekat dan pelapisnya.

Casey (1980) menyatakan bahwa karton gelombang merupakan bahan baku dalam pembuatan peti-peti kemas, kardus, dan kotak pembungkus, karena keawetannya yang tinggi, ringan, dan memiliki ketahanan banting yang cukup tinggi.

Bahan baku kertas medium pada umumnya adalah pulp semi kimia sulfit netral dari kayu daun lebar yang memiliki kekakuan sifat fisik sesuai dengan yang diharapkan. Selain itu jenis kertas ini dapat dibuat pula dari pulp kertas bekas karton gelombang dan campuran dengan pulp limbah pertanian.

Sifat utama yang harus dimiliki kertas medium sebagai bahan penyusun karton gelombang, adalah sifat ketegaran dan elastisitas yang baik sehingga karton gelombang yang dihasilkan tahan terhadap tekanan (Sujo-
no, Wawan K., dan Uzair, 1989).

Klasifikasi kertas medium menurut SII no. 0445-81 didasarkan pada nilai Uji *Ring Crush* dan *Concora*, seperti tertera pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Spesifikasi Kertas Medium (SII. 0445-81)

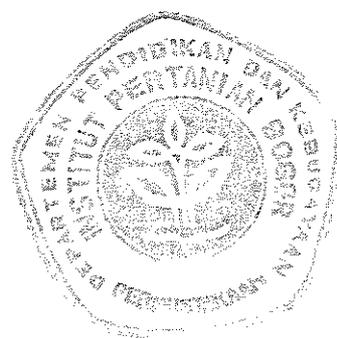
Kelas	Gramatur g/m ²	Tebal mm	Ring Crush kgf (N)	Faktor Ring Crush kgf.m ² /g	Concora kgf (N)	Faktor Concora kgf.m ² /g
A	112	0.18	11.2 (110)	10	5.6 (55)	5
	125	0.20	12.5 (123)		6.3 (62)	
	140	0.22	14.0 (137)		7.1 (70)	
	160	0.25	16.0 (157)		8.0 (78)	
B	112	0.18	7.8 (77)	7	3.9 (38)	3.5
	125	0.20	8.8 (86)		4.4 (43)	
	140	0.22	9.8 (96)		4.9 (48)	
	160	0.25	11.2 (110)		5.6 (55)	

Uji *Ring Crush* dan *Concora* menyatakan tekanan maksimum yang diperlukan sampai contoh tersebut mulai

mengalami kerusakan. Pada pengujian *Ring Crush*, contoh uji ditekan dalam posisi tegak melingkar, sedangkan contoh uji untuk penentuan Nilai *Concora* disiapkan dalam bentuk gelombang dan ditekan pada posisi mendatar.

@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.



III. BAHAN DAN METODA

A. BAHAN DAN ALAT

1. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bahan baku berupa kayu serta bahan kimia yang digunakan untuk penelitian pendahuluan, proses pemasakan dan analisa sifat pulp yang dihasilkan.

Bahan baku yang digunakan adalah kayu Mangium (*Acacia mangium* Willd.) dengan kelompok umur tanam 3 tahun, 4 tahun dan 7 tahun, serta kayu Ampupu (*Eucalyptus urophylla* Blake.) yang berumur tanam 5 tahun dan 7 tahun. Kedua jenis kayu ini diambil dari daerah Riau.

Pada penelitian pendahuluan digunakan bahan kimia yang terdiri dari parafin untuk pengukuran bobot jenis kayu, air, $KClO_3$, pewarna safranin dan xylol untuk pengukuran dimensi serat. Adapun penelitian utama antara lain menggunakan air, Na_2SO_3 dan Na_2CO_3 untuk proses pemasakan.

Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam analisa sifat pulp yang dihasilkan, antara lain HCl pekat, gliserin, NaOH 0.1 N, indikator sindur metil (SM), $BaCl_2$ 10%, Iodium 0.1 N, indikator kanji untuk penetapan sulfur terikat serta $KMnO_4$ 0.1 N, $Na_2S_2O_3$



0.2 N, H_2SO_4 4 N dan KI 10% untuk penetapan Bilangan Kappa.

2. Alat

Peralatan yang digunakan dalam pengukuran bobot jenis kayu adalah oven, timbangan, bejana air dan statif. Pengukuran dimensi serat menggunakan alat-alat berupa gelas objek, *cover glass*, tabung reaksi, cawan petri, kaca pembesar, pembakar Bunsen, mikrometer, dan *fibroscope*.

Sebelum proses pemasakan dilaksanakan, terlebih dahulu dilakukan pembuatan serpih kayu dengan menggunakan mesin *chipper*. Dalam proses pemasakan serpih kayu sampai pembentukan lembaran pulp, digunakan peralatan berupa gelas ukur, *rotary digester*, *hollander beater*, ember, saringan kawat, saringan berukuran celah 0.2 mm, *centrifuge*, *PFI mill beater*, desintegrator, alat pembentuk lembaran pulp, lempeng alumunium dan pengering drum.

Alat-alat yang digunakan dalam penetapan jumlah sulfur terikat, rendemen dan bilangan Kappa adalah gelas piala, cawan petri, buret, pipet, oven, neraca, pengaduk, dan gelas ukur. Selain itu digunakan pula beberapa peralatan penguji sifat fisik lembaran pulp seperti mikrometer, *Elemendor Tearing Tester*, *Mullen Bursting Tester*, *Tensile Strength Tester*, *Folding Tester*, alat penguji ketahanan tekan datar (*Concora*),

serta alat penguji ketahanan tekan lingkar (*Ring Crush*).

@Hicipa milk IIPB University

B. METODA

Penelitian ini dilaksanakan dalam dua tahap yang meliputi penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Penelitian pendahuluan terdiri dari penetapan bobot jenis dan dimensi serat kayu Mangium serta kayu Ampupu. Adapun penelitian utama meliputi proses pembuatan dan pengujian lembaran pulp yang dihasilkan.

1. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan meliputi pengukuran bobot jenis dan dimensi serat kayu Mangium serta kayu Ampupu. yang bertujuan untuk melakukan pendugaan terhadap sifat fisik-kimia lembaran pulp sehingga dapat dicocokkan dengan hasil analisa pada penelitian utama.

Menurut Brown et al. (1952), nilai bobot jenis kayu bervariasi untuk setiap jenis kayu yang sama maupun yang berbeda. Adanya variasi dalam satu jenis kayu dapat disebabkan oleh perbedaan tempat tumbuh dan letak geografis, atau adanya perbedaan umur dan lokasi dalam batang.

Dimensi serat adalah suatu besaran yang dapat menggambarkan bentuk dan ukuran serat. Besaran ini

meliputi panjang, diameter, dan tebal serat. Selain itu terdapat pula nilai perbandingan dimensi satu dengan lainnya yang dinyatakan dalam berbagai faktor. Parameter-parameter ini akan mempengaruhi susunan ikatan antar serat dalam lembaran pulp, sehingga berpengaruh terhadap kekuatan pulp dan kertas.

a. Bobot jenis kayu (SII. 0833-83)

Menurut Brown *et al.* (1952), bobot jenis adalah besaran yang menyatakan perbandingan antara kerapatan suatu benda dengan kerapatan benda standar pada suatu temperatur tertentu. Benda yang digunakan sebagai benda standar adalah air pada temperatur 4°C atau 39.2°F , dimana pada kondisi ini air memiliki kerapatan 1 gram per cm^3 . Pengukurannya dilakukan menggunakan metode penetapan bobot jenis kayu kering.

Contoh uji yang akan ditetapkan bobot jenisnya terlebih dahulu dikeringkan dalam oven bersuhu 105°C selama 24 jam dan ditetapkan bobot kering ovennya dengan timbangan (A gram). Selanjutnya contoh tersebut dicelupkan ke dalam parafin panas, sehingga seluruh permukaannya terlapisi parafin secara tipis dan merata. Setelah dingin dan parafin mengering, kayu ditimbang kembali (B gram) kemudian dilakukan pencelupan ke dalam air



sedemikian sehingga permukaan kayu sejajar dengan permukaan air sambil dilakukan penimbangan (C gram).

Bobot jenis kayu dihitung menurut rumus :

$$\text{Bobot jenis} = \frac{A}{[C - (B - A)/df]}$$

Keterangan : df = bobot jenis parafin (0.82)

b. Dimensi serat

Pengukuran dimensi serat yang dilakukan meliputi panjang, diameter dan tebal dinding serat menggunakan alat *fibroscope*.

Sebelum dilakukan pengukuran serat, terlebih dahulu disiapkan preparat dengan cara maserasi menurut metoda *Schultze* (Priasukmana dan Silitonga, 1972). Sample-sample yang terdiri dari potongan kayu sebesar korek api ($15 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$) dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan ditambah HNO_3 secukupnya ($\pm 10 \text{ ml}$). Untuk mempercepat reaksi ditambahkan KClO_3 (kristal). Tabung beserta isinya dipanaskan di atas nyala api kecil sampai terjadi gelembung-gelembung berwarna putih kekuning-kuningan dan serat-serat mulai mengambang. Hal ini menandakan proses pulping telah terjadi dan maserasi selesai.



Kemudian tabung reaksi segera didinginkan dan sample di dalamnya dicuci sampai netral (bebas HNO_3) yang ditandai dengan hilangnya busa yang terdapat pada sample. Untuk mempermudah pengamatan, sample diwarnai dengan *safranin*. Serat yang telah diwarnai diambil satu per satu dan diletakkan di atas *object glass* dan ditutup dengan *cover glass* setelah terlebih dahulu ditetesi dengan xylol.

Pengukuran dimensi serat dilakukan dengan menggunakan *fibroscope*, yaitu alat untuk mengukur panjang, diameter, dan tebal dinding serat. Pengukuran dilakukan sebanyak 50 kali. Diameter lumen dan nilai turunan serat dapat dihitung berdasarkan ukuran panjang, diameter, dan tebal dinding serat.

Panjang serat (L) diukur dari preparat yang telah disiapkan menggunakan mistar pada pembesaran 50 kali. Konversi satuan panjang mistar dihitung berdasarkan faktor pembesaran, maka 1 cm pada mistar sama dengan :

$$\frac{10\ 000}{50} \times 1 \text{ mikron} = 200 \text{ mikron}$$

Tebal dinding dan diameter serat diukur dari preparat yang telah diukur panjang seratnya. Pengukurannya juga menggunakan *fibroscope* dengan



pembesaran 400 kali. Alat pengukur skala adalah mikrometer. Pengukuran diameter serat (d) dilakukan dengan menggerakkan gelas objek sampai garis nol mikrometer berhimpit dengan batas terluar salah satu sisi serat. Selanjutnya mikrometer diputar sampai batas terluar sisi serat lainnya. Besarnya putaran mikrometer tersebut menunjukkan ukuran diameter serat yang dapat dibaca langsung pada mikrometer. Dengan cara yang sama, dapat dihitung pula diameter lumen (l) pengukuran dilakukan pada batas bagian dalam dinding serat sebelah kiri dan kanan. Tebal dinding serat (w) dihitung dari setengah kali selisih diameter serat dengan diameter lumen [$1/2 (d - l)$].

Nilai panjang, diameter serat, tebal dinding, dan diameter lumen disajikan dalam nilai antara yaitu nilai maksimum, minimum dan rata-ratanya.

Nilai turunan dimensi serat dihitung berdasarkan nilai rata-rata panjang, diameter, tebal dinding dan diameter lumen. Rumus besaran turunan dimensi serat adalah sebagai berikut,

$$(1) \text{ Perbandingan } \textit{Runkel} \quad = \frac{2w}{l}$$

(*Runkel Ratio*)

$$(2) \text{ Daya tenun } (\textit{Felting Power}) \quad = \frac{L}{d}$$



$$\begin{aligned}
 (3) \quad \text{Perbandingan } \textit{Muhlsteph} &= \frac{(d^2 - l^2)}{d^2} \\
 (\textit{Muhlsteph Ratio}) & \\
 (4) \quad \text{Perbandingan kelenturan} &= \frac{l}{d} \\
 (\textit{Flexibility Ratio}) & \\
 (5) \quad \text{Koefisien kekakuan} &= \frac{w}{d} \\
 (\textit{Coef. of Rigidity}) &
 \end{aligned}$$

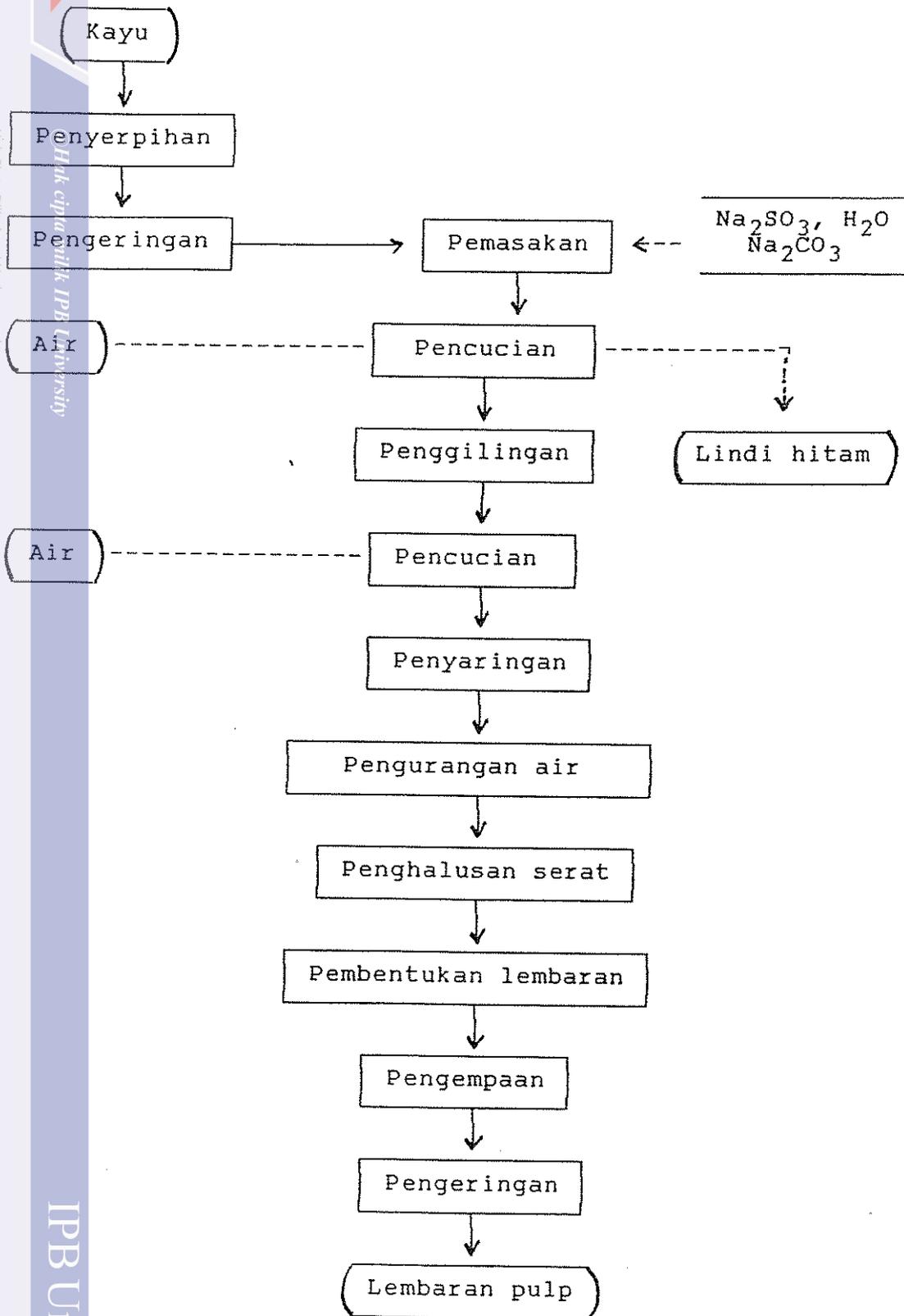
2. Proses Pembuatan Pulp

Penelitian yang dilakukan meliputi pembuatan pulp kertas dan analisa lembaran pulp yang dihasilkan. Tahapan pembuatan pulp semi kimia sulfit netral ini terdiri dari pembuatan serpih kayu, proses pembuatan pulp semi kimia sulfit netral dan pembentukan lembaran pulp. Diagram alir prosesnya dapat dilihat pada Gambar 3.

a. Pembuatan serpih kayu

Ukuran serpih kayu yang digunakan pada penelitian ini adalah panjang 3 cm, lebar 2 cm tebal 3 mm. Pembuatan serpih dikerjakan menggunakan mesin *chipper*. Serpih tersebut dikeringkan pada udara terbuka selama 3 hari dan disimpan pada suhu ruang selama 24 jam untuk mempertahankan dan meyeragamkan kadar air sehingga penetrasi larutan kimia pemasak dapat berlangsung seragam dan sempurna.





Gambar 4. Diagram alir proses pembuatan lembaran pulp semi kimia sulfit netral

Pengukuran kadar air serpih dilakukan dengan menggunakan oven pada suhu 105°C sampai diperoleh berat konstan. Nilai kadar air ini diperlukan untuk menentukan persentase bahan kimia yang digunakan dalam proses pemasakan. Perhitungan kadar air dilakukan dengan rumus :

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{A - B}{B} \times 100 \%$$

dimana, A = Berat awal serpih

B = Berat akhir serpih

b. Proses pembuatan pulp semi kimia sulfit netral

Pereaksi yang digunakan dalam proses ini adalah natrium sulfit (Na_2SO_3) dalam tiga taraf perlakuan yaitu 12, 14 dan 16 persen. Banyaknya bahan kimia tersebut dihitung dari berat serpih kering tanur.

Kondisi tetap dalam pemasakan adalah kadar soda abu (Na_2CO_3) sebesar 4 persen, perbandingan kayu dengan larutan pemasak yaitu 1 : 4.5 serta suhu maksimum pemasakan 170°C yang dipertahankan selama 2 jam.

Setiap jenis bahan kimia yang digunakan dalam pembuatan larutan pemasak pulp harus ditetapkan terlebih dahulu komposisinya secara tepat, karena sangat berhubungan dengan kondisi bahan, kualitas

pulp yang dihasilkan serta jumlah biaya yang akan dikeluarkan.

Komposisi larutan pemasak yang terdiri dari Na_2SO_3 , Na_2CO_3 , dan air ditetapkan dengan perhitungan sebagai berikut.

$$(1) \quad A \text{ (liter)} = ka \times b$$

$$(1) \quad L \text{ (liter)} = 4.5 \times b$$

$$(2) \quad \text{Na}_2\text{SO}_3 \text{ (liter)} = \frac{P \times b}{[\text{Na}_2\text{SO}_3]}$$

$$(3) \quad \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ (liter)} = \frac{4\% \times b}{[\text{Na}_2\text{CO}_3]}$$

$$(4) \quad \text{Air (liter)} = L - (\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 + A)$$

Keterangan :

A = Kandungan air dalam serpih

ka = Kadar air serpih

b = Berat serpih kering tanur

L = Jumlah larutan pemasak

P = Persentase penggunaan Na_2SO_3 berdasarkan bobot serpih kering tanur

Pemasakan serpih kayu dilakukan dalam digester dan terdiri dari dua tahap. Tahap pertama dimulai dari suhu kamar sampai tercapai suhu maksimum yang telah ditetapkan dan tahap kedua, yaitu mempertahankan suhu maksimum selama selang waktu 2 jam.

Setelah proses pemasakan dilakukan pencucian serpih kayu lunak beberapa kali sampai tercapai pH 6-7. Selanjutnya dilakukan penguraian serat menggunakan *hollander beater*. Kemudian pulp disaring menggunakan saringan berukuran celah 0.2 mm. Air yang masih tersisa dipisahkan dengan cara pemusingan menggunakan *centrifuge*.

c. Pembuatan lembaran pulp

Pulp yang dihasilkan dari setiap pemasakan diambil sebanyak 45 gram berat kering tanur dan dicampur dengan air sampai volumenya 450 ml dalam gelas piala 500 ml. Campuran tersebut digiling dalam *PFI Mill Beater*, hingga mencapai derajat kehalusan 22-30⁰SR yang ditetapkan dengan alat uji *Canadian Standard Freeness (CSF)*. Selanjutnya dibuat lembaran berdiameter 21.5 cm dengan berat dasar (gramatur) 125 gram/m² dan dikempa dalam mesin kempa dingin dengan tekanan 3 kg/m². Kemudian lembaran pulp dikeringkan dalam pengering drum bersuhu 70-80⁰C selama 20 menit dan dibiarkan dalam ruang kondisi sebelum dilakukan analisa.

3. Analisa

a. Rendemen Pulp

Pulp hasil pemasakan yang telah diturunkan kadar airnya ditimbang (A gram), kemudian diambil



sebanyak B gram dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C sehingga diperoleh berat yang konstan (C gram). Apabila D gram merupakan berat serpih kering oven, maka rendemen hasil pemasakan dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Rendemen pulp (\%)} = \frac{(A/B) \times C}{D} \times 100\%$$

b. Penetapan sulfur terikat (TAPPI 265m-28)

Metoda penetapan sulfur terikat terdiri dari dua tahap, yaitu penetapan sulfur trioksida (SO_3) dan penetapan sulfur dioksida (SO_2) dalam larutan lindi hitam (*black liquor*).

Sulfur trioksida (SO_3) dalam lindi hitam dapat ditetapkan dengan cara memipet 25 ml larutan lindi hitam ke dalam erlenmeyer, ditambahkan 25 ml HCl pekat dan 25 ml air suling (*aquadest*). Selanjutnya dididihkan di atas penangas dengan menggunakan gliserin selama 1 jam. Endapan yang terbentuk diekstraksi dengan air panas kemudian disaring dengan kertas saring ke dalam erlenmeyer. Pengenceran dilakukan terhadap cairan bekas saringan dan dititrasi dengan NaOH menggunakan indikator sindur metil (SM), kemudian ditambah HCl pekat sebanyak 5 ml. BaCl_2 10 persen ditambahkan setetes demi setetes secara berlebihan dan dibiarkan



selama satu malam. Lalu endapan yang terbentuk disaring dan dicuci berulang-ulang dengan air panas dan dibungkus dengan kertas saring untuk kemudian dimasukkan ke dalam tanur hingga bobotnya tetap.

$$\text{Berat endapan} = A \text{ gram BaCl}_2$$

$$\text{Total SO}_3 = \frac{A \times 0.3430 \times B}{25} = \text{gram SO}_3$$

$$\text{Total S} = \frac{A \times 0.1371 \times B}{25} = C \text{ gram S}$$

dimana, B = banyaknya lindi hitam

Penetapan sulfur dioksida (SO₂) dalam lindi hitam dilakukan dengan menggunakan 50 gram pecahan es yang dimasukkan ke dalam erlenmeyer bersama dengan 25 ml air suling. Selanjutnya ditambahkan 5 ml lindi hitam dan dititrasi menggunakan Iodium 0.1 N dengan indikator kanji. Apabila D adalah ml iodium 0.1 N yang diperlukan dalam titrasi, maka

$$\text{Total SO}_2 = D \times \frac{32.03}{10\,000} \times \frac{B}{5} = \text{gram SO}_2$$

$$\text{Total S} = D \times \frac{16.02}{10\,000} \times \frac{B}{5} = E \text{ gram S}$$



Persentase sulfur yang berikatan dengan komponen lignoselulosa (*combine sulfur*) selama pemasakan adalah :

$$\frac{F - C - E}{\text{berat serpih kering tanur}} \times 100 \%$$

dimana,

F = banyaknya sulfur mula-mula dalam pemasakan (gram)

c. Bilangan Kappa (SII 0530-81)

Penetapan Bilangan Kappa dapat digunakan untuk menentukan tingkat kematangan atau daya terputihkan atau derajat delignifikasi pulp kimia dan semi kimia, di bawah rendemen 70 %.

Contoh pulp ditimbang sebanyak 3-4 gram dan dimasukkan ke dalam gelas piala. Sebanyak 500 ml air suling ditambahkan, kemudian diuraikan dengan blender sampai serat-serat terurai. Contoh yang telah terurai dipindahkan ke dalam gelas piala 2 000 ml dan dibilas dengan air suling sampai mencapai jumlah 795 ml. Gelas piala diletakkan dalam penangas air bersuhu $25.0 \pm 2^{\circ}\text{C}$ selama berlangsungnya reaksi, sambil terus diaduk.

Larutan Kalium permanganat (KMnO_4) dipipet sebanyak 100 ml dan asam sulfat (H_2SO_4) ditakar

sebanyak 100 ml dalam gelas piala 250 ml. Gelas piala diletakkan dalam penangas air 25°C. Selanjutnya larutan Kalium permanganat dan asam sulfat tersebut dituangkan ke dalam gelas piala yang berisi contoh. Bilas gelas piala dengan air suling sampai mencapai volume 1 000 ml dan reaksi dibiarkan berjalan selama 10 menit (dihitung dengan *stop watch*). Kemudian reaksi dihentikan dengan menambah larutan Kalium Iodida (KI) 20 ml.

Setelah bercampur, iodium bebas dititrasi dengan Natrium thiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) dan diukur sebanyak a ml. Hal yang sama juga dilakukan pada blanko dan pemakaian larutan Natrium thiosulfat dalam titrasi blanko adalah b ml.

Rumus yang digunakan adalah :

$$\text{Bilangan Kappa (K)} = \frac{p \times f}{w}$$

$$p = \frac{(b - a) \times N}{0.1}$$

Keterangan :

a = ml $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.1 N untuk titrasi contoh

b = ml $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.1 N untuk titrasi blanko

N = normalitas larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

p = ml pemakaian larutan KMnO_4 0.1 N

f = faktor koreksi dari pemakaian 50 %

KMnO_4 0.1 N

w = berat pulp kering tanur (gram)

d. Ketahanan sobek (SII 0435-81)

Ketahanan sobek merupakan gaya yang diperlukan untuk merobek selembur pulp yang dinyatakan dalam gram gaya (gf) atau mili newton dan diukur pada kondisi standar.

Contoh uji yang panjangnya 76 ± 2 mm dengan lebar 63 ± 0.15 mm dipasang di antara penjepit *Elemendorf Tearing Tester* pada posisi vertikal searah dengan lebar contoh uji. Penyobekan awal dilakukan dengan menggunakan pisau yang terdapat pada alat tersebut selebar 20 mm sehingga lebar contoh uji yang belum tersobek adalah 43 mm.

Penahan bandul ditekan sehingga bandul mengayun bebas dan merobek contoh uji. Bandul berhenti setelah contoh uji putus dan nilai ketahanan sobeknya dapat dibaca pada skala alat penguji.

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

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



Keterangan :

A = pembacaan skala rata-rata (gf)

B = jumlah lembaran contoh uji yang digunakan pada saat pengujian

Faktor konversi : 1 gf = 9.81 mN

e. Ketahanan tarik (SII 0436-81)

Ketahanan tarik adalah daya tahan lembaran pulp terhadap gaya tarik yang bekerja pada kedua ujungnya dan diukur pada kondisi standar.

Contoh uji lembaran pulp yang berukuran 200 mm dan lebar 15 mm dijepit pada kedua ujungnya dengan jarak 100 mm pada *Tensile Tester* yang dimulai dari ujung atas. Pemasangan harus merata dan tidak melintir. Pengunci batang penjepit dilepaskan sehingga lembaran pulp meregang bebas. Motor dijalankan bersamaan dengan putusya lembaran pulp. Nilai ketahanan tarik dan daya regang dapat dibaca langsung pada alat. Ketahanan tarik dinyatakan dalam kilogram gaya atau kilo newton per meter (1 kg gaya/15 = 0.6538 kN/m), sedangkan daya regang dinyatakan dalam persen. Besarnya panjang putus dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Panjang putus (m)} = \frac{\text{ketahanan tarik (N/m)} \times 1000}{\text{gramatur (g/m}^2\text{)} \times 9.81}$$



f. Ketahanan lipat (SII 0527-81)

Ketahanan lipat merupakan angka yang menunjukkan berapa kali lembaran pulp dapat dilipat sampai putus pada kondisi standar.

Kepala pelipat pada alat uji jenis MIT diatur hingga celah untuk tempat contoh uji terbuka dan beban tarikan diatur hingga menunjukkan 1.5 kg. Kedua ujung contoh uji dijepitkan pada penjepit dan bagian contoh yang akan dilipat dijaga agar jangan sampai terpegang.

Selanjutnya penahan tarikan dilonggarkan sehingga contoh uji tertarik dengan gaya 1.5 kg dan penghitung jumlah lipatan diatur hingga menunjukkan angka nol. Motor dijalankan sampai contoh yang terlipat putus. Nilai ketahanan lipat dibaca langsung pada alat.

g. Ketahanan retak (SII 0529-81)

Ketahanan retak merupakan gaya yang diperlukan untuk meretakkan dan diukur pada kondisi standar dengan menggunakan alat *Bursting Tester*. Tekanan diberikan pada saat skala menunjukkan angka nol dan dihentikan pada saat contoh uji retak. Nilai ketahanan retak dapat dibaca langsung pada alat dan dinyatakan dalam kg/cm^2 atau kilopascal ($1 \text{ kgf/cm}^2 = 98.07 \text{ kPa}$). Indeks retaknya adalah :

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

h. Ketahanan tekan lingkar/*Ring crush* (SII 0660-82)

Ring Crush adalah daya tahan lembaran kertas terhadap gaya yang menekan salah satu tepinya yang dibentuk melingkar, dinyatakan dalam kilogram gaya (kgf) dan diukur pada kondisi standar.

Alat yang digunakan dalam uji ini adalah *compression tester*, *specimen holder*, *precision cutter* dan *plate bar*. Contoh kertas dimasukkan ke dalam *specimen holder* yang sesuai dengan tebal kertas yang diperiksa, kemudian motor dijalankan sampai jarum penunjuk berhenti. Nilai *Ring Crush* dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\text{Ring crush} = \text{Angka pembacaan} \times \text{faktor koreksi}$$

Nilai faktor *Ring Crush* adalah nilai turunan dari nilai *Ring Crush* dan gramatur dan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Faktor Ring Crush (kgfm}^2/\text{g)} = \frac{\text{Ring Crush (kgf)}}{\text{gramatur (g/m}^2\text{)}} \times 100$$



i. Ketahanan tekan datar/*Concora* (SII 0659-82)

Concora adalah daya tahan permukaan kertas gelombang untuk menahan suatu tekanan sampai permukaannya rusak, dinyatakan dalam kilogram gaya (kgf) yang diukur pada kondisi standar.

Alat yang digunakan dalam uji *Concora* terdiri dari : *flute tester*, *compression tester*, *kam* dan *mal flute double coated* atau *single coated tape* dan *precision cutter*.

Contoh uji dibuat *flute* dengan alat *flute tester* dan diletakkan di atas *mal* dan dihindip dengan *kam* lalu direkat dengan *single coated tape*. Kemudian contoh tersebut diletakkan di bawah plate penekan *compression tester*. Motor penggerak plate penekan dijalankan sampai plate penekan menyentuh dan merusak *flute* dan jarum penunjuk terhenti.

Nilai *Concora* dapat dihitung sebagai hasil kali antara angka pembacaan pada skala alat dengan faktor koreksi. Sedangkan nilai faktor *Concora* dinyatakan sebagai berikut :

$$\text{Faktor } \textit{Concora} \text{ (kgfm}^2\text{/g)} = \frac{\textit{concora} \text{ (kgf)}}{\textit{gramatur} \text{ (g/m}^2\text{)}} \times 100$$

C. RANCANGAN PERCOBAAN

1. Perlakuan

Perlakuan yang akan dilihat pengaruhnya terhadap rendemen pulp dan sifat lembaran pulp yang dihasilkan adalah umur tanam kayu (Faktor A) yang terdiri dari tiga taraf untuk kayu Mangium, yaitu 3, 4, dan 7 tahun, sedangkan untuk kayu Ampupu terdiri dari 2 taraf, yaitu 5 dan 7 tahun.

Faktor lain yang juga diamati pengaruhnya adalah konsentrasi natrium sulfite (Na_2SO_3) sebagai Faktor B yang terdiri dari tiga taraf untuk masing-masing jenis kayu, yaitu 12, 14, dan 16 persen.

2. Model Rancangan

Penelitian ini menggunakan analisa model rancangan percobaan acak lengkap dengan dua faktor perlakuan dan dua kali ulangan untuk masing-masing jenis kayu. Model persamaan matematisnya adalah sebagai berikut :

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \epsilon_{ij(k)}$$

Keterangan :

$$Y_{ijk} = \text{Peubah yang diukur}$$

$$\mu = \text{Pengaruh rata-rata}$$

$$A_i = \text{Pengaruh faktor A taraf ke-i}$$



B_j = Pengaruh faktor B taraf ke- j

AB_{ij} = Pengaruh interaksi faktor A taraf ke- i dengan faktor B taraf ke- j

$\epsilon_{ij}(k)$ = Galat pada perlakuan faktor A dan B karena k ulangan

dimana, i = 1, 2, dan 3 untuk kayu Mangium

i = 1, 2 untuk kayu Ampupu

j = 1, 2, dan 3

k = 1, 2

Hipotesa yang akan diuji dalam penelitian ini adalah :

$$H_1 : A_i = 0$$

$$H_2 : B_j = 0$$

$$H_3 : AB_{ij} = 0$$

Hipotesa H_1 menyatakan bahwa tidak terdapat pengaruh Faktor A. Hipotesa H_2 menyatakan tidak terdapat pengaruh faktor B. Sedangkan hipotesa H_3 menyatakan tidak adanya pengaruh interaksi antara faktor A dan faktor B.

Analisa keragaman data menggunakan selang kepercayaan 0.99 untuk menyatakan pengaruh atau perbedaan yang sangat nyata. Sedangkan selang kepercayaan 0.95 digunakan untuk pengaruh atau perbedaan nyata. Perbedaan respon antara nilai rata-rata setiap setiap taraf atau kombinasinya dilihat dengan uji jarak berganda Student-Newman-Keuls (*S-N-K range test*).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. PENELITIAN PENDAHULUAN

Penelitian pendahuluan yang dilakukan meliputi pengukuran bobot jenis dan dimensi serat kedua jenis kayu yang akan dibuat pulp, yaitu kayu Mangium (*Acacia mangium* Willd.) dan Ampupu (*Eucalyptus urophylla* Blake).

Pengukuran ini bertujuan untuk melakukan pendugaan terhadap kondisi pemasakan, rendemen serta sifat pulp kertas yang akan dihasilkan dari penelitian utama. Data bobot jenis dan dimensi serat kayu dapat dilihat pada Tabel 6 dan 7 di bawah ini.

1. Bobot Jenis

Hasil pengukuran bobot jenis kayu Mangium menunjukkan bahwa kayu yang berumur antara 3 sampai 7 tahun memiliki nilai bobot jenis antara 0.422 sampai 0.548. Nilai ini meningkat seiring dengan bertambahnya umur kayu.

Pola kecenderungan yang sama juga dimiliki oleh kayu Ampupu, dimana nilai bobot jenis kayu yang berumur 5 sampai 7 tahun berkisar antara 0.599 sampai 0.646.

Brown *et al.* (1952) menyatakan bahwa peningkatan nilai bobot jenis dengan bertambahnya umur kayu disebabkan adanya peningkatan dalam jumlah zat peny-



sun dinding sel dan kandungan zat ekstraktif per satuan volume kayu.

Tabel 6. Data bobot jenis dan dimensi serat kayu Mangium

Keterangan	Umur (tahun)		
	3	4	7
Bobot jenis	0.422	0.453	0.548
Panjang (mm)			
Minimum	0.500	0.600	0.640
Rata-rata	0.802	0.927	0.968
Maksimum	1.300	1.400	1.300
Diameter (μ)			
Minimum	9.747	13.167	10.602
Rata-rata	16.269	18.365	18.938
Maksimum	23.598	23.256	29.412
Diameter lumen (μ)			
Minimum	8.037	5.643	3.420
Rata-rata	13.954	13.253	11.750
Maksimum	17.955	22.230	17.784
Tebal dinding (μ)			
Minimum	1.283	1.710	2.993
Rata-rata	2.255	2.492	2.556
Maksimum	2.993	3.677	3.848
Nisbah Runkel (<i>Runkel ratio</i>)	0.323	0.376	0.435
Daya tenun (<i>Felting power</i>)	49.321	50.508	51.134
Nisbah Muhlsteph (<i>Muhlsteph ratio</i>)	0.264	0.479	0.615
Nisbah kelenturan (<i>Flexibility ratio</i>)	0.857	0.722	0.620
Koefisien kekakuan (<i>Coefficient of rigidity</i>)	0.139	0.136	0.135

Tabel 7. Data bobot jenis dan dimensi serat kayu Ampupu

Keterangan	Umur (tahun)	
	5	7
Bobot jenis	0.599	0.646
Panjang (mm)		
Minimum	0.440	0.500
Rata-rata	0.650	0.810
Maksimum	1.000	1.200
Diameter (μ)		
Minimum	9.450	10.089
Rata-rata	16.117	16.292
Maksimum	26.334	22.572
Diameter lumen (μ)		
Minimum	5.985	6.327
Rata-rata	11.131	10.799
Maksimum	16.758	21.033
Tebal dinding (μ)		
Minimum	1.625	1.710
Rata-rata	2.581	2.659
Maksimum	3.762	3.848
Nisbah Runkel (<i>Runkel ratio</i>)	0.464	0.492
Daya tenun (<i>Felting power</i>)	46.330	49.718
Nisbah Muhlsteph (<i>Muhlsteph ratio</i>)	0.523	0.561
Nisbah kelenturan (<i>Flexibility ratio</i>)	0.691	0.663
Koefisien kekakuan (<i>Coefficient of rigidity</i>)	0.160	0.163

Bobot jenis yang tinggi juga menunjukkan kerapatan sel yang tinggi. Menurut Haygreen dan Bowyer (1982), kerapatan kayu daun lebar cenderung naik

dengan meningkatnya laju pertumbuhan kayu. Pada kayu muda yang strukturnya sebagian besar dibentuk oleh kayu gubal (*sap wood*), banyak terdapat ruang kosong pada kayu karena jumlah pori-porinya lebih banyak. Sedangkan pada kayu tua yang berstruktur kayu teras (*heart wood*) susunan seratnya semakin rapat, sehingga jumlah ruang kosong pada kayu berkurang.

Berdasarkan data hubungan antara umur kayu dan bobot jenis dapat dilakukan pendugaan kondisi pemasakan dan rendemen pulp yang akan dihasilkan. Menurut MacDonald dan Franklin (1969), kayu gubal bersifat mudah menyerap larutan kimia sehingga penetrasi larutan pemasak terjadi lebih cepat, sehingga dapat diketahui bahwa kayu muda hanya memerlukan kondisi pemasakan lunak untuk menghasilkan pulp yang diharapkan. Pada kayu tua dibutuhkan lebih banyak bahan kimia selama proses pemasakan, karena sulitnya penetrasi bahan kimia ke dalam sel-sel kayu akibat tingginya kerapatan susunan serat kayu.

Berdasarkan data hubungan antara umur kayu dengan bobot jenis dapat dilakukan pendugaan bahwa nilai rendemen pulp akan semakin meningkat dengan bertambahnya umur kayu akibat peningkatan jumlah komponen penyusun dinding serat terutama selulosa. Namun secara *visual* pulp kayu tua berwarna lebih gelap daripada pulp kayu muda karena kayu tua yang

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



disusun oleh lebih banyak fraksi kayu teras memiliki kandungan lignin yang lebih tinggi.

2. Dimensi serat

Pola data hasil pengukuran dimensi serat kayu Mangium dan Ampupu menunjukkan kecenderungan yang berlainan untuk panjang serat, diameter serat, diameter lumen, dan tebal dinding serat. Secara umum panjang, diameter, dan tebal dinding serat cenderung bertambah seiring dengan peningkatan umur kedua jenis kayu, sedangkan diameter lumen akan menurun.

Kayu Mangium yang berumur antara 3 sampai 7 tahun memiliki nilai panjang serat yang meningkat berkisar antara 0.802 sampai 0.968 mm, diameter serat antara 16.269 sampai 18.938 mikron, serta nilai tebal dinding serat antara 2.255 sampai 2.556. Adapun nilai diameter lumen mengalami penurunan yaitu dari 13.954 sampai 11.750.

Nilai dimensi serat untuk kayu Ampupu yang berumur antara 5 sampai 7 tahun antara lain nilai panjang serat yang mengalami peningkatan antara 0.650 sampai 0.810 mm, diameter serat antara 16.117 sampai 16.292 mikron, tebal dinding serat antara 2.581 sampai 2.659 mikron. Nilai diameter lumen mengalami penurunan dari 11.131 sampai 10.799 mikron.

Variasi nilai dimensi serat pada berbagai tingkat umur kayu umumnya disebabkan perubahan sifat yang terjadi selama proses pertumbuhan kayu, hal ini menyangkut komposisi penyusun dinding sel, terutama selulosa dan hemiselulosa yang kandungannya berbeda untuk setiap umur kayu.

Struktur dan dimensi serat mempunyai peranan yang sangat penting dalam pembentukan lembaran pulp. Sifat jalinan antar serat yang akan mempengaruhi kekuatan fisik lembaran pulp dapat diduga berdasarkan dimensi serat terutama nilai-nilai turunannya.

Nilai turunan serat kayu Mangium dan Ampupu yang mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan umur adalah nilai nisbah Runkel, daya tenun, dan nisbah Muhlsteph, sedangkan nilai nisbah kelenturan menurun. Adapun nilai koefisien kekakuan mengalami kenaikan untuk kayu Ampupu, namun terjadi penurunan pada kayu Mangium.

Peningkatan umur kayu Mangium pada kisaran 3 sampai 7 tahun menaikkan nisbah Runkel dari 0.323 sampai 0.435. Kenaikan ini cukup tinggi bila dibandingkan dengan kenaikan yang terjadi pada kayu Ampupu berumur 5 sampai 7 tahun, yaitu 0.464 sampai 0.492.

Nilai perbandingan Runkel yang tinggi tidak diharapkan dalam pembuatan pulp karena lembaran yang dihasilkan menjadi lebih kaku, tidak lentur serta



rendahnya jumlah luasan yang memungkinkan terjadinya ikatan antar serat sehingga akan menurunkan kekuatan kertas. Hal ini terjadi akibat penebalan dinding serat dan penyempitan lumen, sehingga serat lebih cenderung mempertahankan bentuk dan luasan permukaan kontak antar serat yang lebih kecil pada proses pembentukan lembaran.

Daya tenun serat kayu Mangium dan Ampupu mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan umur kayu. Untuk kayu Mangium nilai tersebut berkisar antara 49.321 hingga 51.134, sedangkan pada kayu Ampupu nilainya adalah 46.330 sampai 49.718. Kayu tua memiliki nilai daya tenun yang tinggi disebabkan seratnya yang panjang, sehingga nilai perbandingan antara panjang serat dan diameternya (daya tenun) menjadi lebih tinggi pula.

Nilai daya tenun serat berpengaruh positif terhadap kekuatan kertas. Serat dengan daya tenun tinggi menjadi pipih (*collapse*) pada proses pembentukan lembaran sehingga memiliki ikatan antar serat yang kuat dan kekuatan sobek serta tarik lembaran kertas yang dihasilkan menjadi lebih tinggi pula.

Nisbah Muhlsteph memiliki kecenderungan nilai yang meningkat dengan kenaikan umur kayu. Pada kayu Mangium nilai ini berkisar antara 0.264 pada umur 3 tahun hingga 0.615 pada umur kayu 7 tahun. Adapun



kayu Ampupu yang berumur 5 sampai 7 tahun memiliki nilai antara 0.523 hingga 0.561. Nilai nisbah Muhlsteph berkorelasi negatif dengan kekuatan lipat lembaran kertas, dimana nilai ini menunjukkan kemampuan serat menjadi pipih dan mempertahankan kelenturannya pada proses pembentukan lembaran.

Nisbah kelenturan dan koefisien kekakuan berhubungan dengan sifat kelenturan lembaran pulp. Kayu yang memiliki nisbah kelenturan tinggi serta koefisien kekakuan yang rendah akan membentuk lembaran pulp yang lentur. Kedua nilai turunan dimensi serat ini sangat berpengaruh terhadap kekuatan lembaran pulp, dimana nilai nisbah kelenturan memiliki hubungan parabolik dengan panjang putus dan ketahanan lipat, sedangkan koefisien kekakuan diduga mempunyai korelasi negatif terhadap ketahanan lipat.

Hasil pengukuran kayu Mangium menunjukkan bahwa baik nisbah kelenturan maupun koefisien kekakuan mengalami penurunan dengan bertambahnya umur kayu dari 3 hingga 7 tahun. Hal ini terjadi karena laju penebalan diameter serat lebih tinggi bila dibandingkan dengan laju penebalan dinding serat, sehingga dengan meningkatnya umur kayu maka nilai perbandingan antara dinding serat dengan diameter serat (koefisien kekakuan) semakin menurun.

Hal yang berlawanan terjadi pada kayu Ampupu, dimana peningkatan umur kayu akan diiringi dengan penurunan nilai nisbah kelenturan namun terjadi peningkatan koefisien kekakuan. Dari kecenderungan semacam ini dapat diketahui bahwa pulp kayu Ampupu yang berusia 5 tahun akan memiliki ketahanan lipat yang lebih baik bila dibandingkan dengan kayu yang berumur 7 tahun.

Pada Tabel 8 di bawah ini disajikan nilai rata-rata dimensi serat dari tiga taraf umur kayu Mangium dan dua taraf umur kayu Ampupu, serta nilai mutunya berdasarkan kriteria Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan pada Lampiran 1.

Tabel 8. Nilai rata-rata dimensi serat dan nilai mutu kayu Mangium dan Ampupu ^a

Kriteria mutu	Kayu Mangium		Kayu Ampupu	
	nilai rata-rata	nilai mutu	nilai rata-rata	nilai mutu
Panjang serat (μ)	899.47	25	730.00	25
Nisbah Runkel	0.378	50	0.478	50
Daya tenun	50.32	50	45.02	25
Nisbah Mulhlsteph	0.453	50	0.542	50
Nisbah kelenturan	0.733	50	0.677	50
Koefisien kekakuan	0.137	50	0.162	25
Total Nilai		275		225

^aBerdasarkan Kriteria Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan (1976).



Berdasarkan penilaian tersebut, maka kayu Mangium dan Ampupu dapat digolongkan dalam kayu kelas mutu II untuk bahan baku pulp dan kertas dengan nilai total berada dalam selang 225 - 449.

Menurut Purba (1989), kayu yang termasuk kelas mutu II merupakan jenis kayu agak ringan sampai berat sedang, mempunyai dinding sel tipis sampai sedang dan lumen agak lebar. Dalam pembentukan lembaran pulp, serat mudah memipih dengan ikatan antar serat dan tenunan baik. Jenis ini menghasilkan lembaran dengan keteguhan sobek, letup dan tarik yang sedang.

B. PENELITIAN UTAMA

Nilai rata-rata hasil pengukuran dan pengujian sifat pulp semi kimia sulfit netral serta rendemen yang dihasilkan dari kayu Mangium dan Ampupu dapat dilihat pada Lampiran 2.

Pola kecenderungan data yang dihasilkan dapat dilihat dengan memplot data sebagai fungsi dari umur kayu dan konsentrasi natrium sulfit (Na_2SO_3).

1. Rendemen

Hasil analisa keragaman yang terdapat pada Lampiran 3 menunjukkan bahwa perlakuan umur kayu dan konsentrasi natrium sulfit berpengaruh sangat nyata terhadap rendemen pulp kedua jenis kayu tersebut.

Rendemen pulp Mangium pada kisaran umur 3 sampai 7 tahun cenderung naik dengan meningkatnya umur kayu, namun turun seiring dengan kenaikan konsentrasi natrium sulfit yang digunakan dalam proses pemasakan. Nilai rata-rata hasil pengukuran rendemen yang terdapat pada Lampiran 2 berkisar antara 65.78 sampai 81.91 persen. Pola kecenderungan yang sama juga dapat dilihat pada nilai rendemen pulp kayu Ampupu dengan nilai rata-rata antara 58.91 sampai 45.76 persen.

Rydholm (1967), menyatakan bahwa rendemen pulp yang dihasilkan melalui proses pemasakan semi kimia sulfit netral berkisar antara 65 - 85 persen. Kayu Mangium menghasilkan rendemen pulp yang sesuai dengan nilai tersebut, namun rendemen pulp dari kayu Ampupu jauh di bawah nilai tersebut. Hal ini dapat dijelaskan dari hasil penelitian Mading (1991) bahwa kayu Ampupu memiliki nilai rata-rata kelarutan dalam NaOH 1% adalah 15.47 persen dan nilai rata-rata kelarutan dalam H₂SO₄ 1% adalah 7.48 persen. Nilai tersebut lebih tinggi dari nilai kelarutan yang dimiliki oleh kayu Mangium yang masing-masing senilai 14.20 dan 5.23 persen. Hal ini menunjukkan bahwa komponen kimia kayu Ampupu lebih mudah terdegradasi pada kondisi alkali dan asam selama proses pemasakan sehingga rendemen pulp yang dihasilkan menjadi rendah.

Pengujian statistik antar taraf perlakuan menghasilkan dua kelompok umur kayu Mangium dan tiga



kelompok konsentrasi natrium sulfit yang berpengaruh sangat nyata terhadap rendemen pulp yang dihasilkan. Umur kayu 3 tahun berbeda sangat nyata dengan umur 7 tahun dan penggunaan konsentrasi natrium sulfit masing-masing berbeda sangat nyata untuk taraf 12, 14, serta 16 persen.

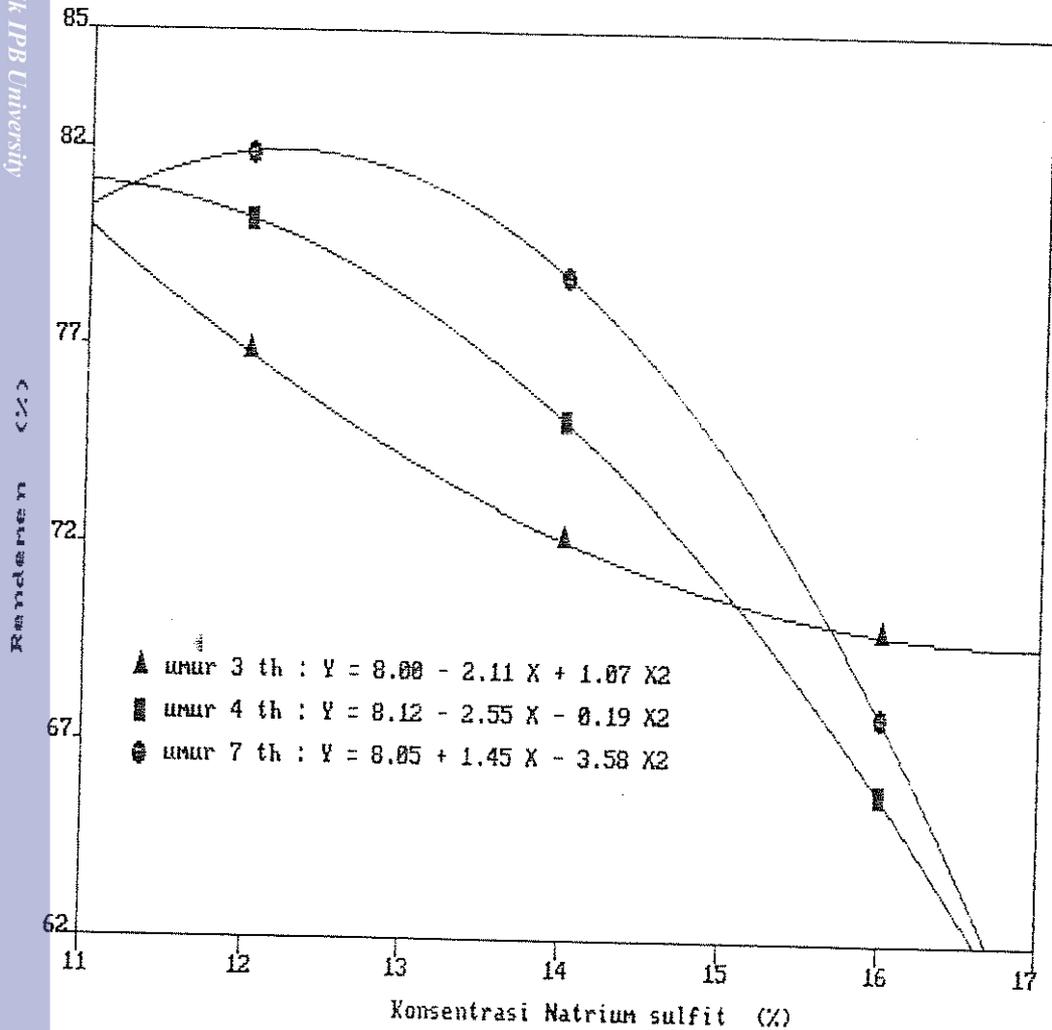
Pada kayu Ampupu, taraf perlakuan umur 5 tahun sangat berbeda nyata dengan umur 7 tahun, adapun pengaruh penggunaan konsentrasi natrium sulfit hanya berbeda nyata terhadap rendemen antar taraf perlakuan 12 dan 14 persen.

Peningkatan konsentrasi natrium sulfit akan menurunkan rendemen pulp, karena dengan konsentrasi yang semakin tinggi, maka jumlah lignin yang dilarutkan akan semakin banyak. Selain itu terjadi pula peningkatan jumlah selulosa dan hemiselulosa yang terdegradasi selama proses pemasakan. Pada Gambar 5 dan 6 dapat dilihat pola kecenderungan penurunan rendemen kayu akibat peningkatan konsentrasi natrium sulfit untuk masing-masing umur kayu Mangium dan Ampupu.

Menurut Ingruber *et al.* (1983), natrium sulfit yang merupakan bahan kimia pemasak dalam proses semi kimia sulfit netral adalah larutan yang bersifat alkali dengan pH sekitar 9. Peningkatan suhu selama proses pemasakan menyebabkan larutan bersifat asam

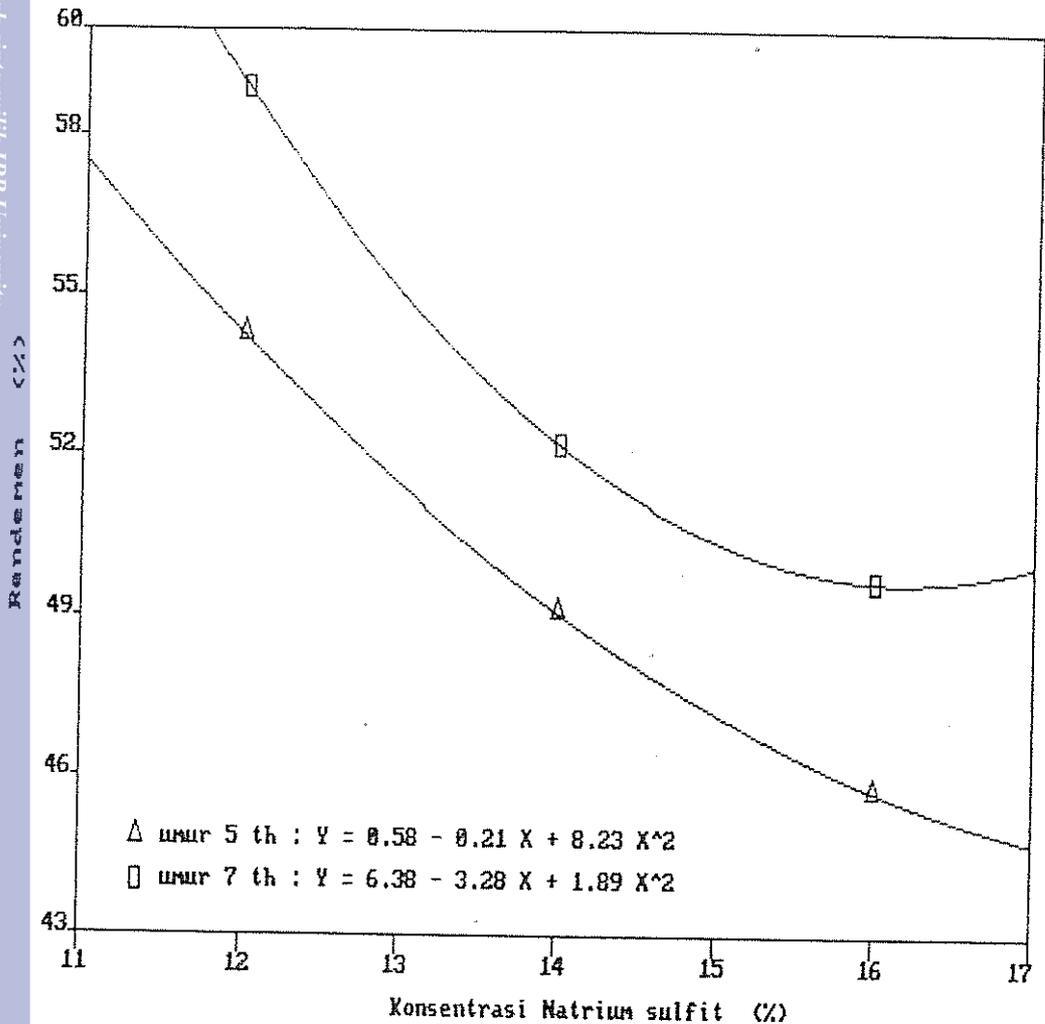


akibat adanya hidrolisa gugus asetil dan formil pada rantai hemiselulosa. Proses hidrolisa ini akan semakin meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi natrium sulfit, sehingga efektifitas natrium karbonat sebagai larutan penyangga menjadi berkurang.



Gambar 5. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan rendemen pulp kayu Mangium

Apabila keasaman larutan terus meningkat, maka akan terjadi degradasi selulosa dan penurunan rendemen pulp yang dihasilkan.



Gambar 6. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan rendemen pulp kayu Ampupu

Pulp kayu Mangium yang berumur 4 dan 7 tahun dengan taraf perlakuan konsentrasi natrium sulfit yang rendah memiliki rendemen tertinggi, karena masih banyak mengandung sisa lignin. Peningkatan konsen-

trasi pada taraf 14 persen akan melarutkan sisa lignin sehingga jumlah rendemen menurun. Penurunan rendemen yang drastis terjadi pada taraf konsentrasi 16 persen menunjukkan bahwa telah terjadi degradasi selulosa akibat keasaman larutan yang semakin meningkat. Hal ini dapat dilihat dari kemiringan kurva yang sangat tajam.

Pola kecenderungan nilai rendemen yang semakin meningkat dengan bertambahnya umur kayu terjadi karena peningkatan total kandungan senyawa kimia terutama komponen selulosa dan hemiselulosa. Pendugaan nilai kenaikan komposisi kimia dalam kayu dapat dilihat dari nilai berat jenis dan tebal dinding serat pada masing-masing umur kayu. Kayu tua yang mempunyai tebal dinding dan berat jenis yang tinggi akan mengandung selulosa dan hemiselulosa yang lebih tinggi pula. Hal ini didukung oleh hasil penelitian yang dilakukan oleh Mading (1991) tentang komposisi kimia kayu Mangium dan Ampupu pada beberapa tingkat umur kayu yang dapat dilihat pada Tabel 1 dan 3.

2. Sulfur Terikat

Hasil analisa penetapan sulfur terikat menunjukkan nilai yang cenderung naik dengan bertambahnya umur kayu dan konsentrasi natrium sulfit, baik pada kayu Mangium maupun pada kayu Ampupu. Nilai rata-rata



sulfur terikat kayu Mangium berkisar antara 4.30 - 5.78 persen, sedangkan untuk kayu Ampupu adalah 4.32 hingga 5.61 persen.

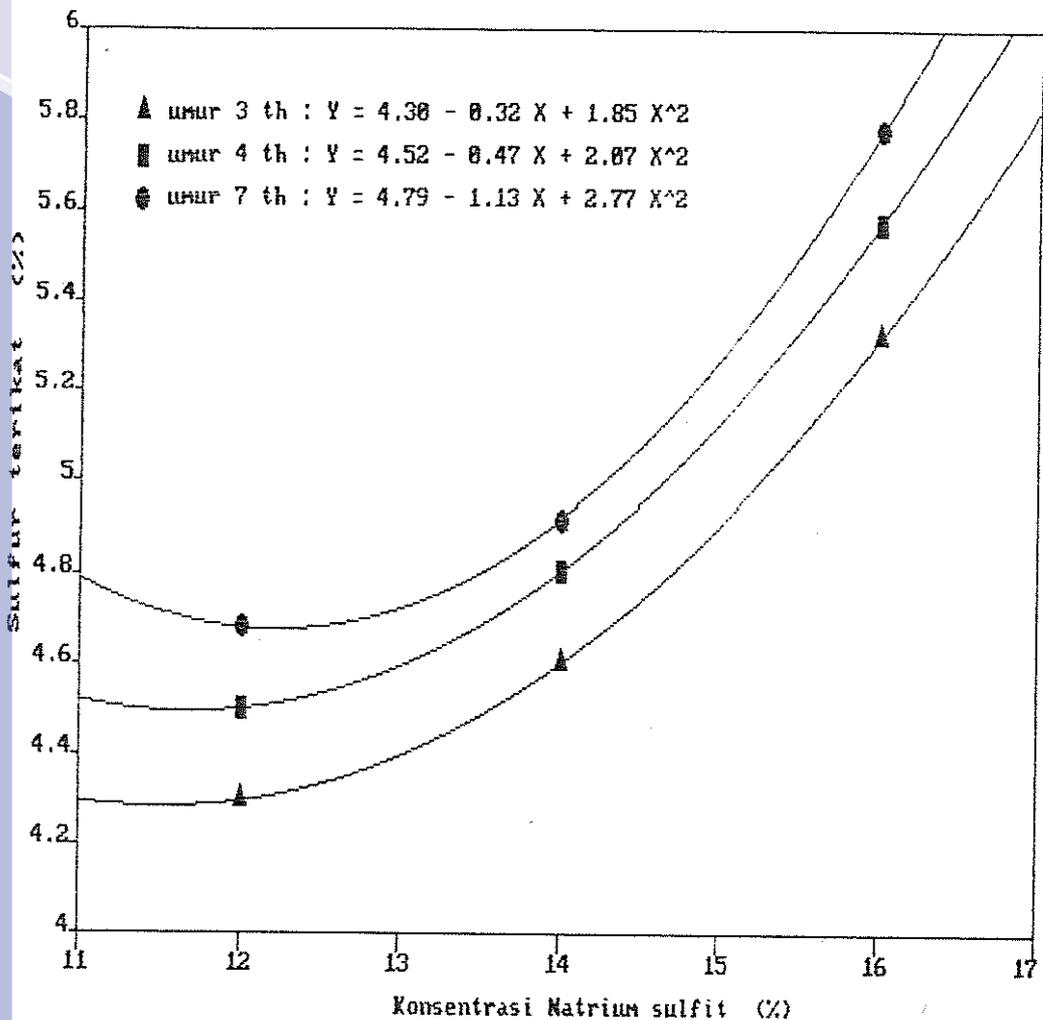
Analisis keragaman data pada Lampiran 5 menunjukkan pengaruh yang sangat nyata untuk kedua peubah umur dan konsentrasi natrium sulfit, namun interaksi keduanya tidak memperlihatkan pengaruh nyata.

Uji jarak berganda S-N-K yang dilakukan untuk melihat perbedaan antar taraf perlakuan menunjukkan perbedaan nyata untuk taraf konsentrasi natrium sulfit sebesar 12, 14, maupun 16 persen. Taraf perlakuan umur kayu Mangium memperlihatkan bahwa umur 3, 4, dan 7 tahun menghasilkan nilai sulfur terikat yang berbeda nyata. Begitu pula pada kayu Ampupu yang berumur 5 dan 7 tahun.

Pola hubungan nilai sulfur terikat sebagai fungsi dari umur kayu Mangium pada taraf konsentrasi yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 7, adapun pola hubungan yang terjadi pada kayu Ampupu terlihat pada Gambar 8.

Penetapan sulfur terikat bertujuan untuk mengetahui jumlah pemakaian bahan kimia selama proses pemasakan serpih. Nilai ini diperoleh berdasarkan banyaknya sulfur trioksida (SO_3) dan sulfur dioksida (SO_2) dalam larutan lindi hitam sisa hasil pemasakan. Selisih antara nilai yang diperoleh dengan nilai

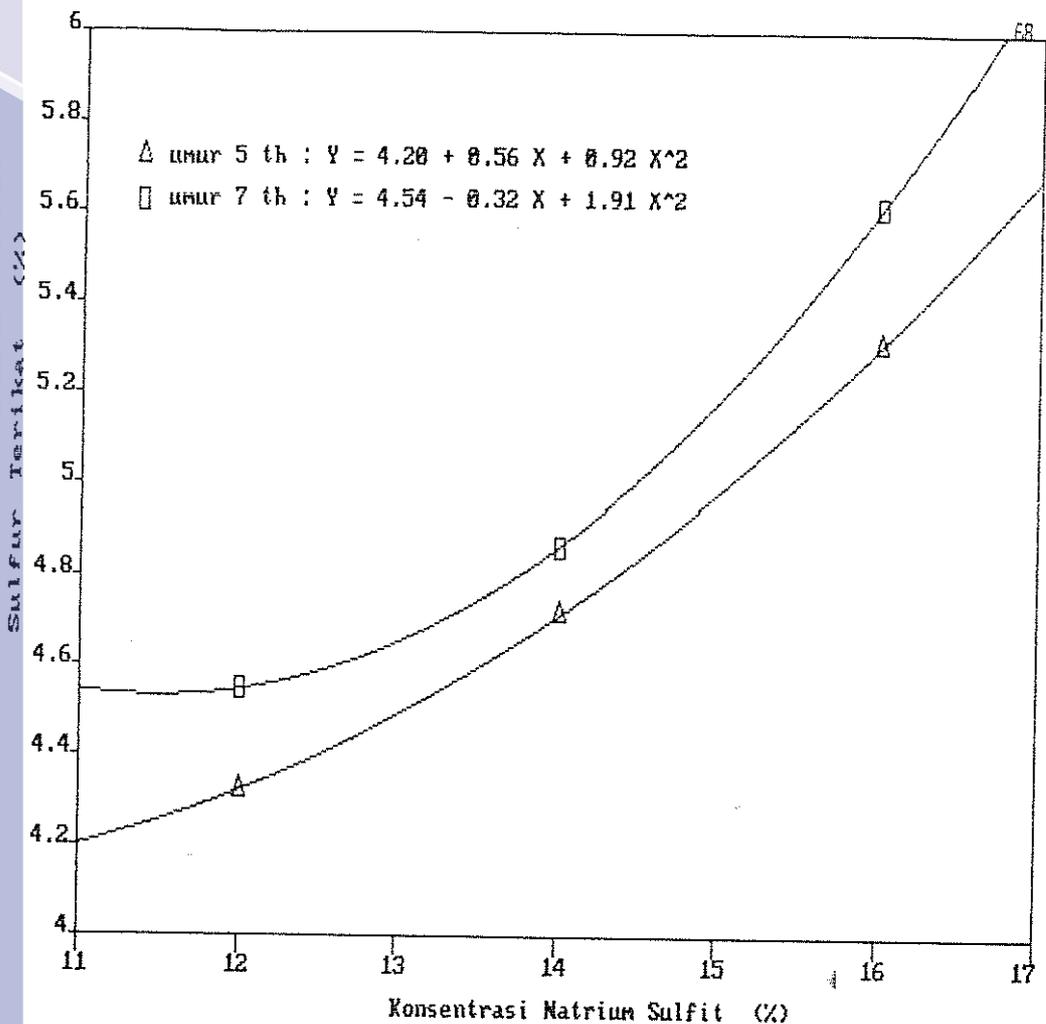




Gambar 7. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan sulfur terikat pada kayu Mangium

total sulfur mula-mula merupakan nilai sulfur yang terikat pada komponen lignoselulosa.

Pada kayu muda dengan bobot jenis rendah penetrasi bahan kimia ke dalam serpih kayu lebih mudah dilakukan sehingga proses sulfonasi dan hidrolisa yang mengawali pelarutan lignin lebih cepat berlangsung pada kondisi suhu dan waktu pemasakan yang telah



Gambar 8. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan sulfur terikat pada kayu Ampupu

ditetapkan. Hal yang berlawanan terjadi pada kayu tua dimana penetrasi bahan kimia sulit terjadi sehingga laju sulfonasi menjadi rendah dan pelarutan lignin menjadi kurang sempurna.

Menurut MacDonald dan Franklin (1969), ketika proses sulfonasi terjadi maka natrium sulfit berikatan dengan lignin dengan menggantikan posisi gugus

hidroksil alifatik. Selama proses pemasakan berlangsung, kira-kira satu dari dua atau tiga unit lignin tersulfonasi. Sedikitnya satu dari setiap empat unit lignin tersulfonasi ini harus dilarutkan selama proses pemasakan. Unit yang tidak terlarutkan dapat diidentifikasi sebagai nilai sulfur terikat.

Nilai sulfur terikat dapat pula digunakan untuk mengetahui ketepatan suhu dan waktu pemasakan yang digunakan. Menurut Libby (1962), kombinasi suhu dan waktu pemasakan ditujukan untuk mencapai pemakaian sebanyak 90-95 persen dari jumlah bahan kimia pemasak. Nilai rata-rata sulfur terikat kayu Mangium sebesar 4.30 - 5.78 persen menunjukkan bahwa jumlah natrium sulfat yang efektif digunakan dalam pelarutan lignin adalah sebesar 94.22 - 95.70 persen, sedangkan nilai rata-rata sulfur terikat sebesar 4.32 - 5.61 persen pada kayu Ampupu menunjukkan pemakaian bahan kimia sejumlah 94.39 - 95.60 persen. Dari nilai tersebut dapat diketahui bahwa kondisi pemasakan yang telah ditetapkan sebelumnya cukup tepat untuk kedua jenis kayu tersebut.

3. Bilangan Kappa

Bilangan Kappa menunjukkan jumlah lignin yang tersisa di dalam pulp yang diperoleh. Nilai Bilangan Kappa dapat digunakan untuk menentukan tingkat kema-



tangan atau daya terputihkan atau derajat delignifikasi pulp kimia atau semi kimia, sehingga dapat digunakan dalam perhitungan jumlah pemakaian bahan kimia apabila akan dilakukan pemucatan (*bleaching*) pulp.

Sisa lignin yang masih tinggi diperlihatkan dengan nilai Bilangan Kappa yang tinggi pula. Hal ini akan mengurangi kekuatan lembaran pulp yang dihasilkan, karena lignin dalam pulp akan menurunkan ikatan antar serat pada saat pembentukan lembaran. Tingginya sisa lignin terlihat dari warna pulp yang gelap sehingga pulp seperti ini relatif sulit untuk diputihkan.

Nilai rata-rata hasil penelitian yang disajikan pada Lampiran 2 menunjukkan bahwa peningkatan umur akan menaikkan nilai Bilangan Kappa. Pada kayu Mangium peubah umur kayu dan konsentrasi natrium sulfit berpengaruh sangat nyata terhadap Bilangan Kappa, adapun interaksi kedua peubah tersebut memberikan pengaruh nyata terhadap nilai Bilangan Kappa. Pada kayu Ampupu, hanya faktor konsentrasi natrium sulfit yang memberikan pengaruh sangat nyata, sedangkan faktor umur kayu memberikan pengaruh nyata terhadap nilai Bilangan Kappa yang diperoleh.

Nilai rata-rata Bilangan Kappa kayu Mangium berada dalam selang 51.78 hingga 63.23, sedangkan untuk kayu Ampupu nilai tersebut berkisar antara 50.95 sampai



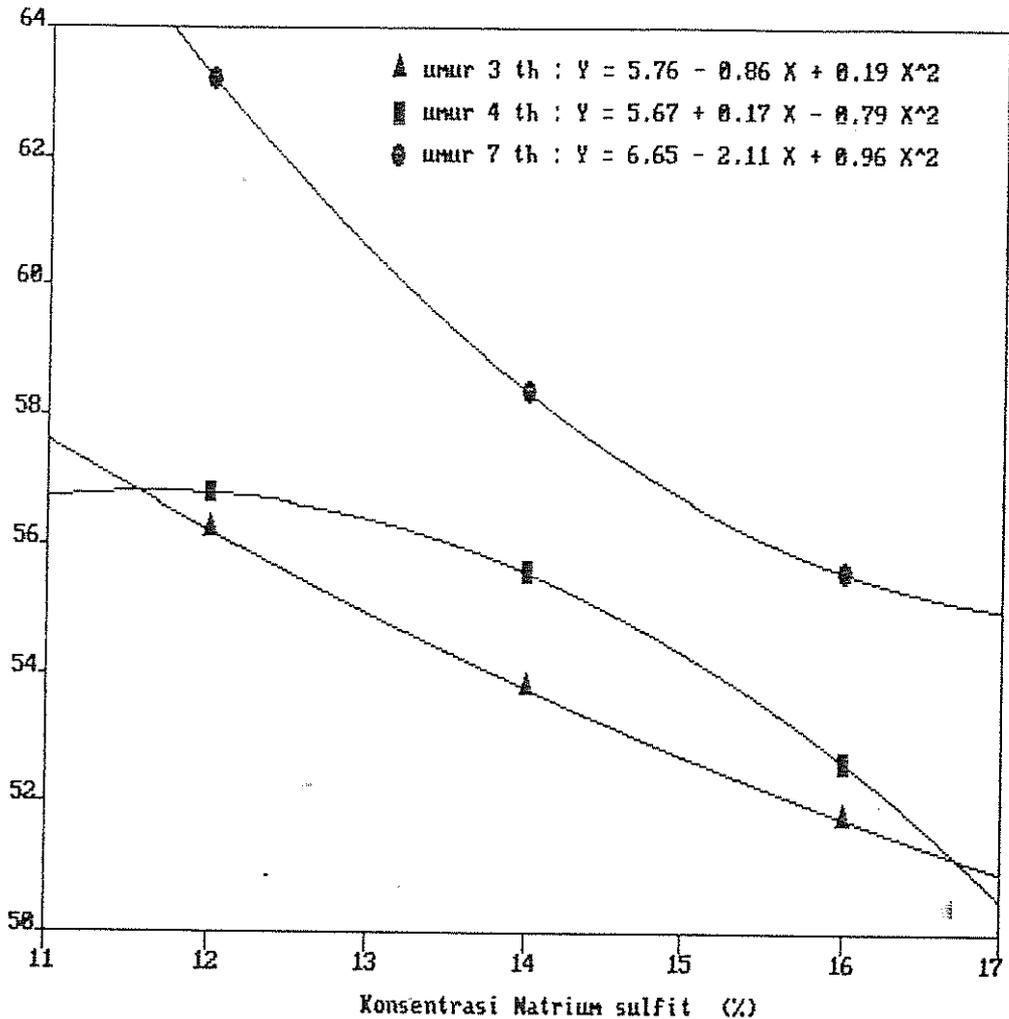
60.18. Dari nilai rata-rata tersebut terlihat bahwa kayu Ampupu memiliki nilai Bilangan Kappa yang lebih rendah daripada kayu Mangium. Hal ini menunjukkan bahwa lignin yang terdelignifikasi oleh bahan kimia pemasak jumlahnya lebih tinggi pada kayu Ampupu sehingga sisa lignin dalam pulp menjadi rendah. Adapun penurunan rendemen yang cukup drastis pada kayu Ampupu memperlihatkan tingginya jumlah degradasi selulosa dan hemiselulosa yang terjadi.

Grafik hubungan antara konsentrasi natrium sulfit dengan Bilangan Kappa pada beberapa taraf umur kayu Mangium dan Ampupu disajikan pada Gambar 9 dan 10.

Peningkatan nilai Bilangan Kappa pada kayu tua menunjukkan bahwa kandungan sisa lignin pada pulp relatif lebih tinggi bila dibandingkan dengan kayu muda. Adapun penurunan nilai Bilangan Kappa seiring dengan peningkatan konsentrasi natrium sulfit menunjukkan adanya peningkatan aktifitas delignifikasi sehingga sisa lignin pada pulp menjadi lebih rendah.

Pada pulp kayu Mangium berumur 7 tahun penurunan nilai Bilangan Kappa akibat kenaikan konsentrasi natrium sulfit tidak terlalu drastis bila dibandingkan dengan penurunan nilai rendemennya. Hal ini menunjukkan bahwa selama proses pembuatan pulp telah terjadi degradasi selulosa dan hemiselulosa yang mengiringi proses delignifikasi.

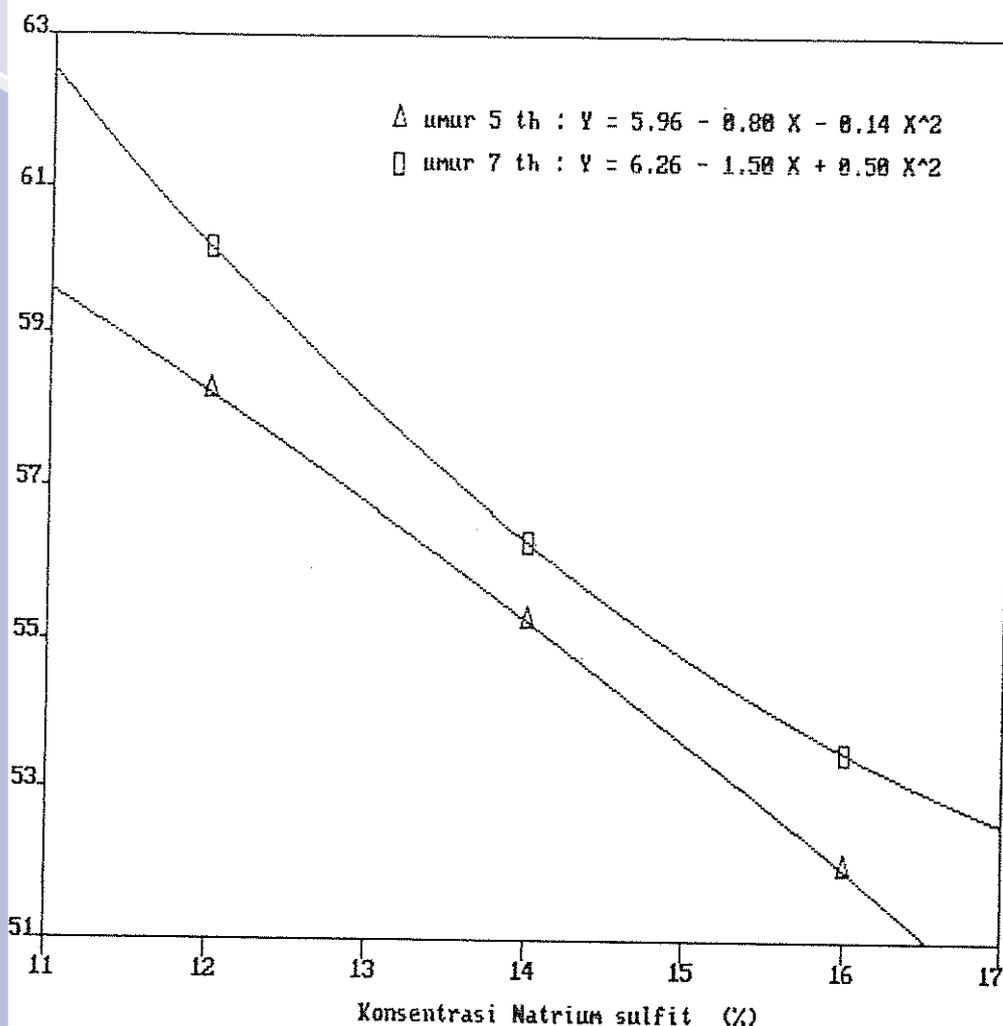




Gambar 9. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan Bilangan Kappa pada kayu Mangium

4. Kekuatan Sobek

Nilai kekuatan sobek dinyatakan dalam indeks sobek yaitu kekuatan sobek (mili newton) per satuan gramatur (g/m^2). Hasil analisa sidik ragam nilai indeks sobek lembaran pulp kayu Mangium pada Lampiran 6 menunjukkan pengaruh nyata dari faktor peubah umur

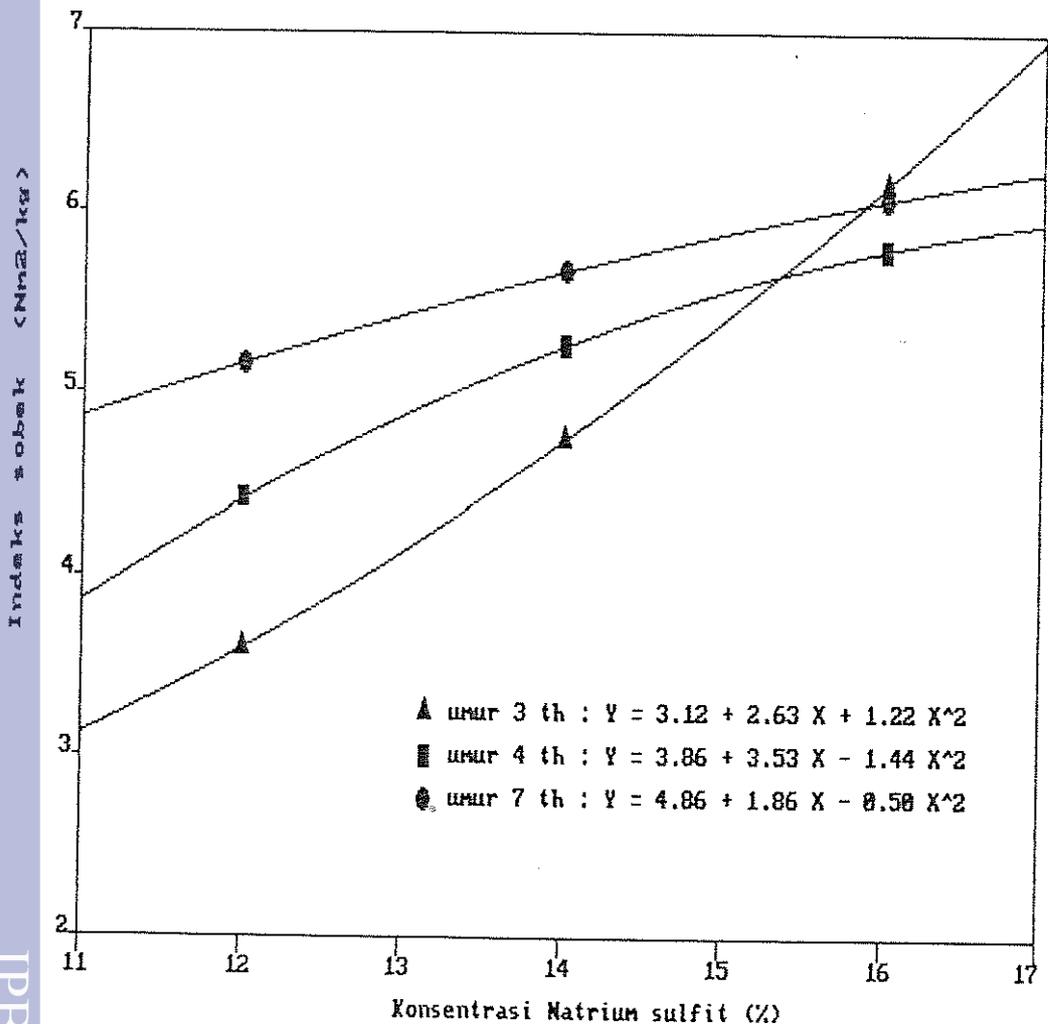


Gambar 10. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan Bilangan Kappa pada kayu Ampupu

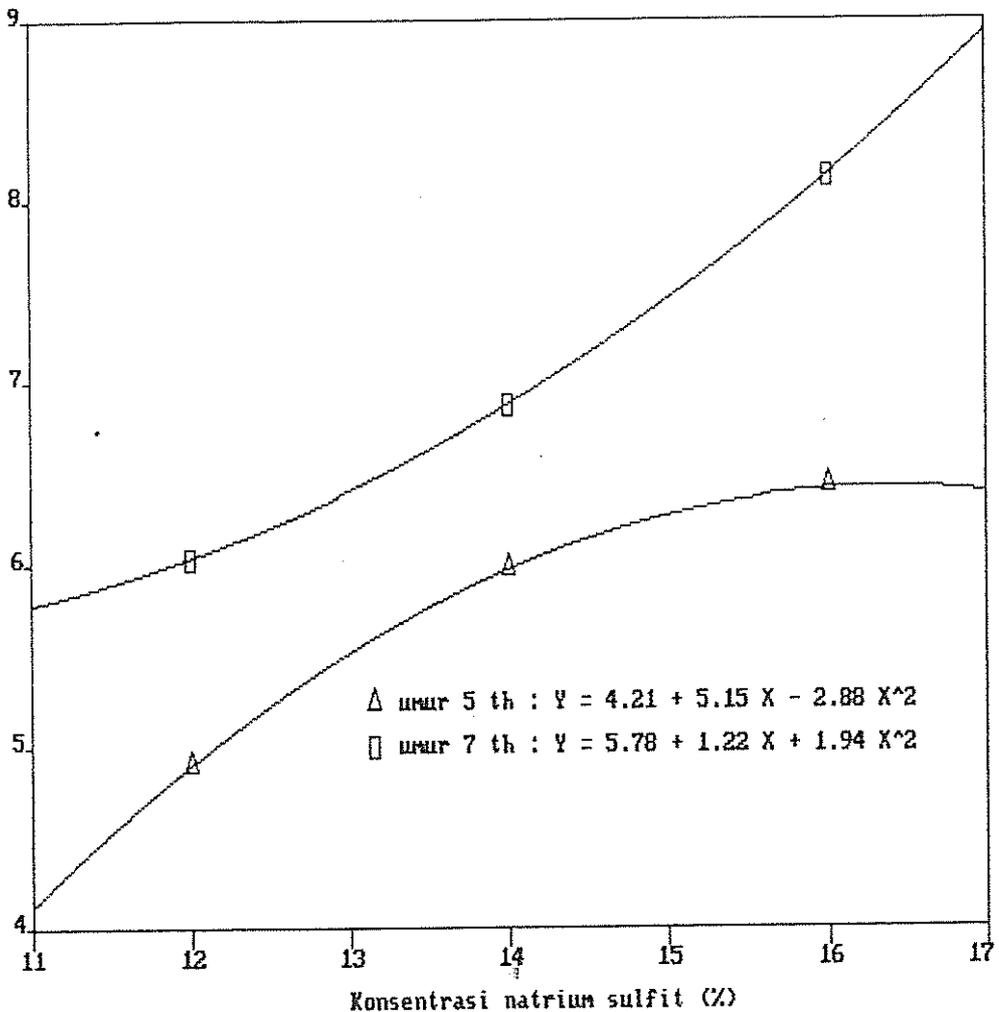
kayu dan pengaruh yang sangat nyata dari faktor konsentrasi natrium sulfit. Interaksi kedua faktor tersebut tidak memberikan pengaruh nyata terhadap nilai indeks sobek.

Hubungan antara nilai indeks sobek dengan konsentrasi natrium sulfit memberikan pola kecenderungan yang meningkat untuk setiap taraf umur kayu Mangium, seperti terlihat pada Gambar 11.

Pengujian keragaman data indeks sobek pulp kayu Ampupu menunjukkan pengaruh sangat nyata dari umur kayu dan konsentrasi natrium sulfit, namun interaksi keduanya tidak memberikan pengaruh nyata. Grafik hubungan nilai indeks sobek dengan konsentrasi natrium sulfit diperlihatkan pada Gambar 12.



Gambar 11. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan indeks sobek pada kayu Mangium



Gambar 12. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfid dengan indeks sobek pada kayu Ampupu

Secara umum peningkatan umur kayu akan menaikkan nilai indeks sobek. Hal ini dapat dijelaskan berdasarkan perbedaan dimensi serat antar taraf umur kayu. Dimensi serat yang menunjukkan hubungan yang paling dominan adalah panjang serat, daya tenun, dan nisbah muhlsteph. Pada penelitian pendahuluan telah dikemukakan bahwa ketiga nilai dimensi serat tersebut

meningkat seiring kenaikan umur kayu, baik pada kayu Mangium maupun kayu Ampupu, sehingga nilai indeks sobek yang diperoleh mengalami kenaikan pula.

Nilai rata-rata indeks sobek lembaran pulp kayu Mangium berkisar antara 3.59 sampai 6.07 Nm^2/kg , adapun untuk kayu Ampupu nilainya adalah 4.90 hingga 8.14 Nm^2/kg . Kayu Ampupu memiliki nilai rata-rata yang lebih tinggi meskipun dimensi panjang serat, daya tenun dan nisbah muhlstephnya relatif lebih rendah daripada kayu Mangium. Dalam hal ini kayu Ampupu memiliki kualitas ikatan antar serat yang lebih baik daripada kayu Mangium karena rendahnya sisa lignin yang terkandung dalam lembaran pulp. Sisa lignin dalam pulp akan menghambat proses fibrilisasi serat sehingga ikatan antar serat sulit dibentuk.

Ikatan antar serat pada kayu muda jumlahnya sedikit karena jumlah fibril per satuan luas penampang seratnya lebih rendah. Kualitas ikatan kimianya pun lebih rendah karena rendahnya kandungan selulosa dan hemiselulosa. Selain itu kayu muda memiliki panjang serat yang lebih pendek sehingga kekuatan serat individunya pun mengalami penurunan. Perbedaan struktur ini yang menyebabkan nilai indeks sobek kayu muda relatif lebih rendah.



5. Panjang Putus

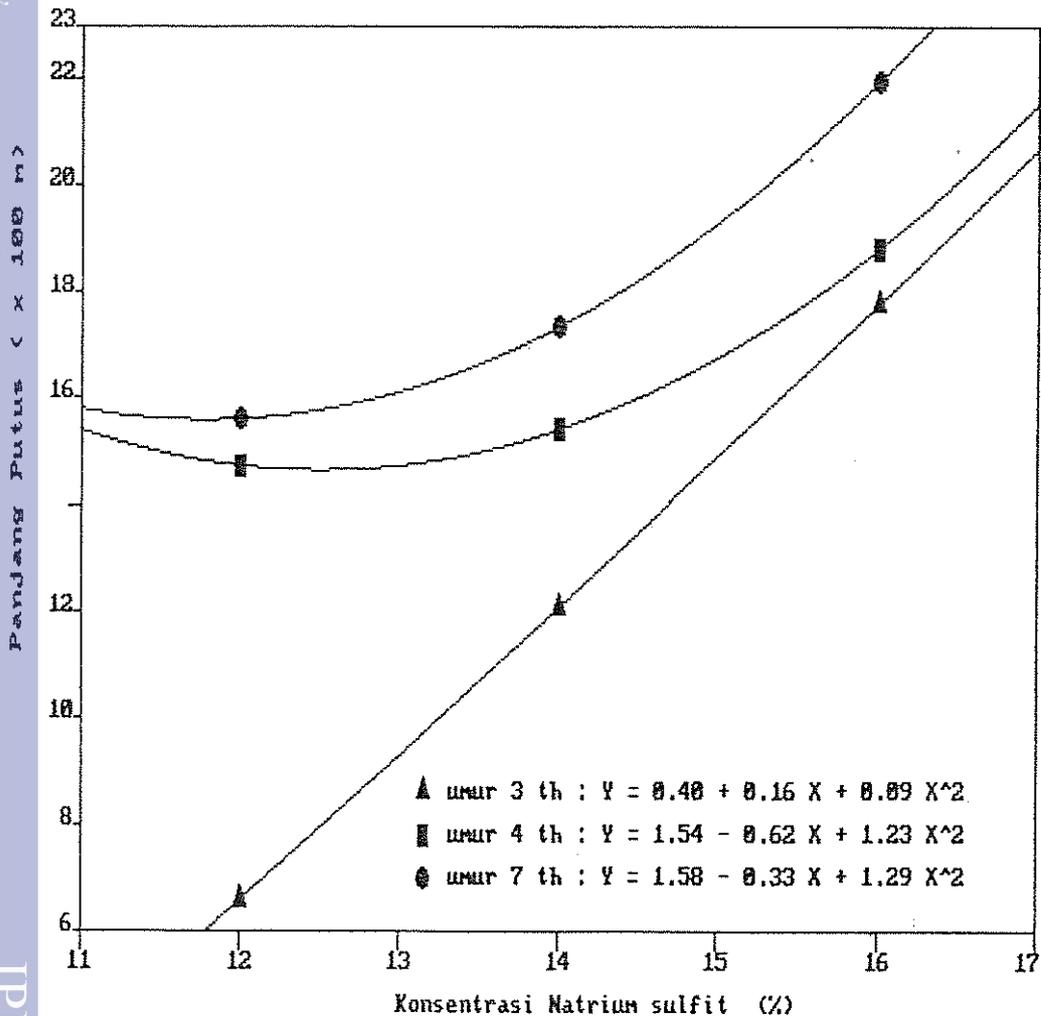
Panjang putus kayu Mangium sangat nyata dipengaruhi oleh umur kayu dan faktor konsentrasi natrium sulfit, sedangkan interaksi keduanya memberikan hanya memberikan pengaruh nyata pada nilai panjang putus. Pada kayu Ampupu, baik faktor umur kayu, konsentrasi natrium sulfit, dan interaksi keduanya memberikan pengaruh sangat nyata pada nilai panjang putus. Hal ini terlihat dari analisa sidik ragam pada Lampiran 7.

Nilai rata-rata panjang putus untuk pulp kayu Mangium adalah sebesar 657 hingga 2 195 m, sedangkan untuk kayu Ampupu nilai tersebut berkisar antara 1 463.5 sampai 2 970 m. Pola hubungan antara nilai panjang putus dengan konsentrasi natrium sulfit pada taraf umur kayu Mangium dan Ampupu diperlihatkan pada Gambar 13 dan 14.

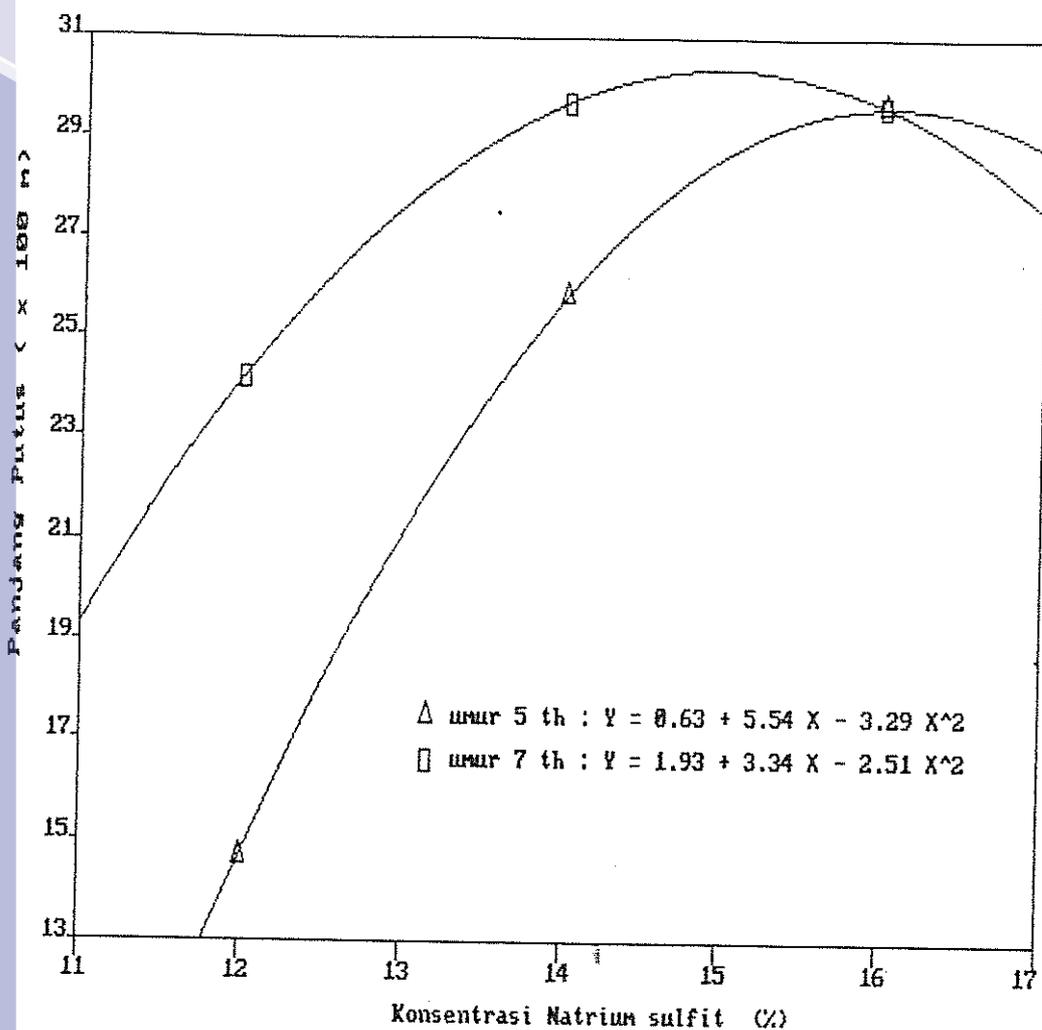
Pulp kayu Mangium berumur 3 tahun dengan konsentrasi natrium sulfit 12 persen menghasilkan nilai panjang putus terendah yaitu 657 m. Hal ini disebabkan karena rendahnya kadar selulosa dan hemiselulosa yang dimiliki oleh kayu muda serta belum sempurnanya tingkat delignifikasi selama proses pemasakan. Pada kondisi ini fibrilisasi serat terhambat oleh adanya lignin yang bersifat *hydrophobic*, sehingga ikatan

sulit terbentuk pada saat pembentukan lembaran pulp. Menurut Wenzl (1970), kekuatan tarik terutama dipengaruhi oleh sifat kekuatan individu serat. Serat yang mengandung selulosa yang lebih besar dengan kandungan hemiselulosa dan lignin yang kecil akan meningkatkan kekuatan serat individu.

Pengaruh umur kayu terhadap nilai panjang putus dapat dilihat sebagai pengaruh perubahan dimensi



Gambar 13. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan panjang putus pada kayu Mangium



Gambar 14. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan panjang putus pada kayu Ampupu

serat yang merupakan fungsi dari umur kayu. Secara umum panjang serat kayu tua lebih tinggi daripada kayu muda. Nilai dimensi serat yang lebih tepat untuk menyatakan hubungan tersebut adalah nilai daya tenun (*felting power*). Nilai ini akan memperlihatkan tingkat kemampuan serat untuk memipih (*collaps*) pada

saat pembentukan lembaran, sehingga kualitas ikatan antar serat yang terjadi lebih baik.

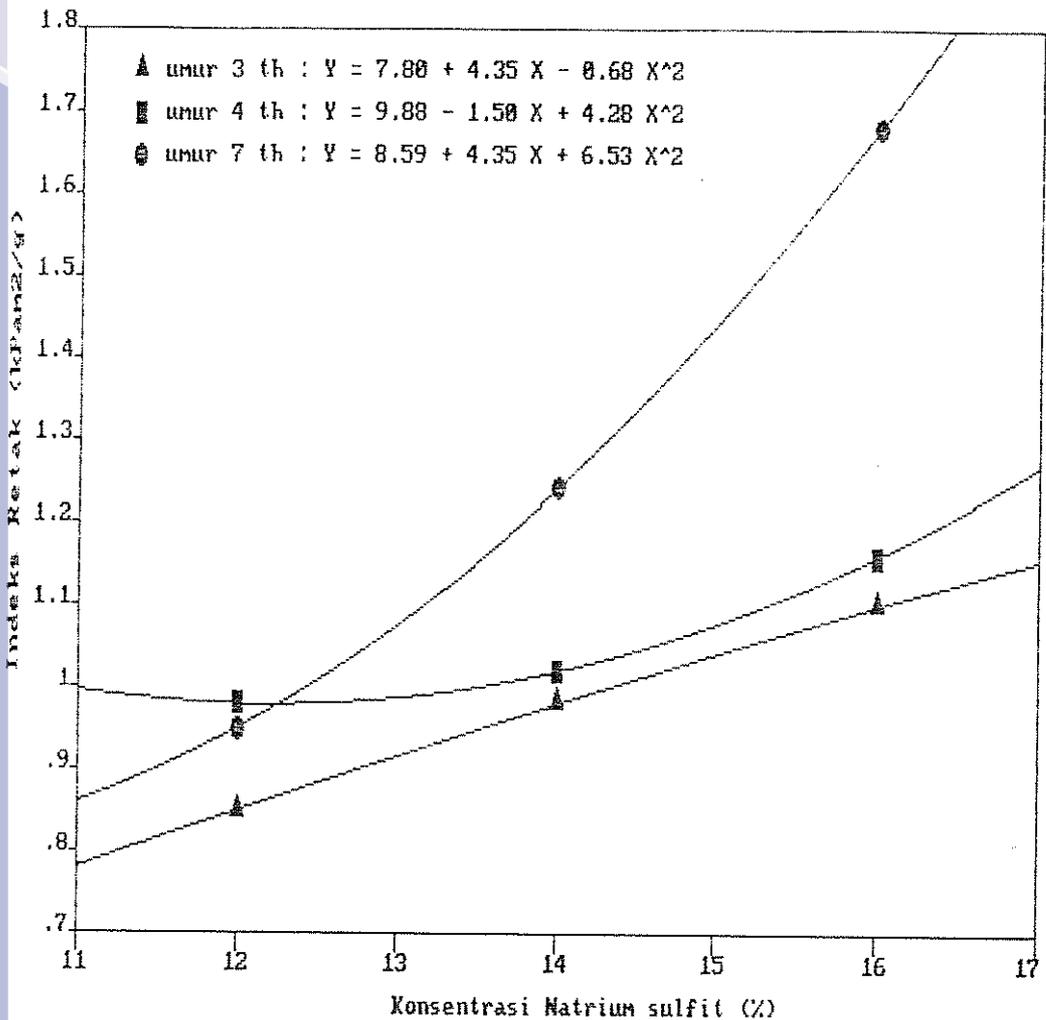
6 Indeks Retak

Indeks retak pulp kayu Mangium dipengaruhi nyata oleh faktor umur dan konsentrasi natrium sulfite pada selang kepercayaan 0.95. Kisaran nilainya berada diantara 0.85 hingga 1.68 kPam²/g. Hasil analisa sidik ragam indeks retak pada kayu Ampupu, yang disajikan pada Lampiran 8, memperlihatkan pengaruh yang nyata dari peubah umur kayu, konsentrasi natrium sulfite, maupun interaksi kedua peubah tersebut dengan nilai rata-rata antara 0.86 hingga 1.50 kPam²/g.

Pola kecenderungan nilai indeks retak semakin meningkat dengan bertambahnya umur kayu dan konsentrasi natrium sulfite, baik pada kayu Mangium maupun kayu Ampupu. Grafik hubungan antara nilai indeks retak dengan konsentrasi natrium sulfite pada beberapa taraf umur kayu dapat dilihat pada Gambar 15 dan 16.

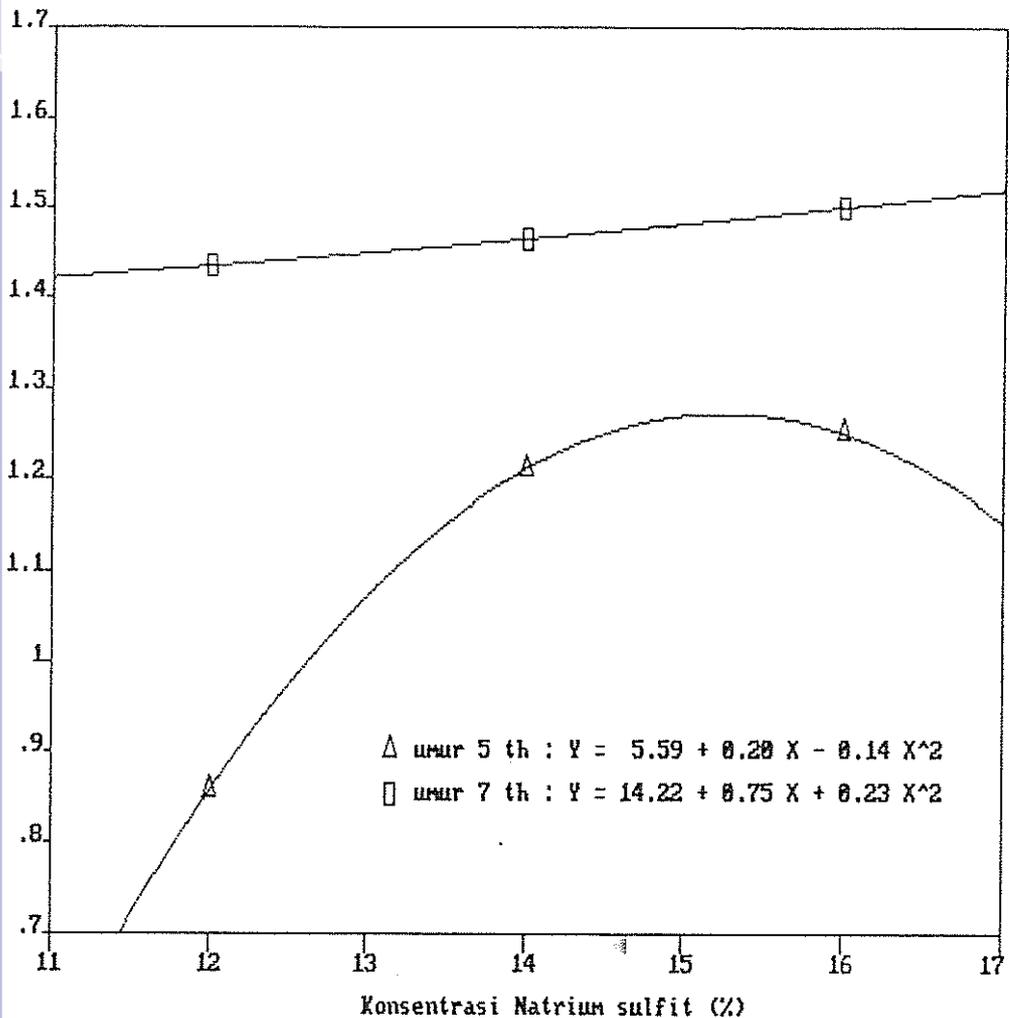
Pada kayu Mangium yang berumur 7 tahun dengan konsentrasi natrium sulfite 12 persen menunjukkan nilai indeks retak yang lebih rendah bila dibandingkan dengan umur kayu 4 tahun dengan taraf konsentrasi natrium sulfite yang sama. Rendahnya nilai tersebut disebabkan belum matangnya proses pemasakan sehingga sisa lignin pada kayu yang berumur





Gambar 15. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan indeks retak pada kayu Mangium

7 tahun relatif lebih tinggi. Kondisi tersebut dapat ditunjukkan dengan Bilangan Kappa yang tinggi yaitu sebesar 63.23. Peningkatan konsentrasi natrium sulfit sampai 16 persen akan menurunkan jumlah sisa lignin dalam pulp. Hal ini dapat ditunjukkan dengan kenaikan kurva yang cukup tinggi pada taraf konsentrasi natrium sulfit 14 dan 16 persen.



Gambar 16. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan indeks retak pada kayu Ampupu

Pulp kayu Ampupu yang berumur 7 tahun memperlihatkan pola kecenderungan data yang berbeda dengan pulp kayu tua Mangium, dimana kurva nilai indeks retaknya tidak memperlihatkan kenaikan yang berarti untuk peningkatan konsentrasi natrium sulfit. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah sisa lignin dalam pulp tidak tinggi sehingga nilai indeks retaknya lebih

dominan ditentukan oleh dimensi serat kayu yang merupakan fungsi dari umur kayu. Peningkatan indeks retak berbanding lurus dengan peningkatan panjang serat, serat nilai turunannya yaitu nisbah runkel, daya tenun dan nisbah muhlsteph.

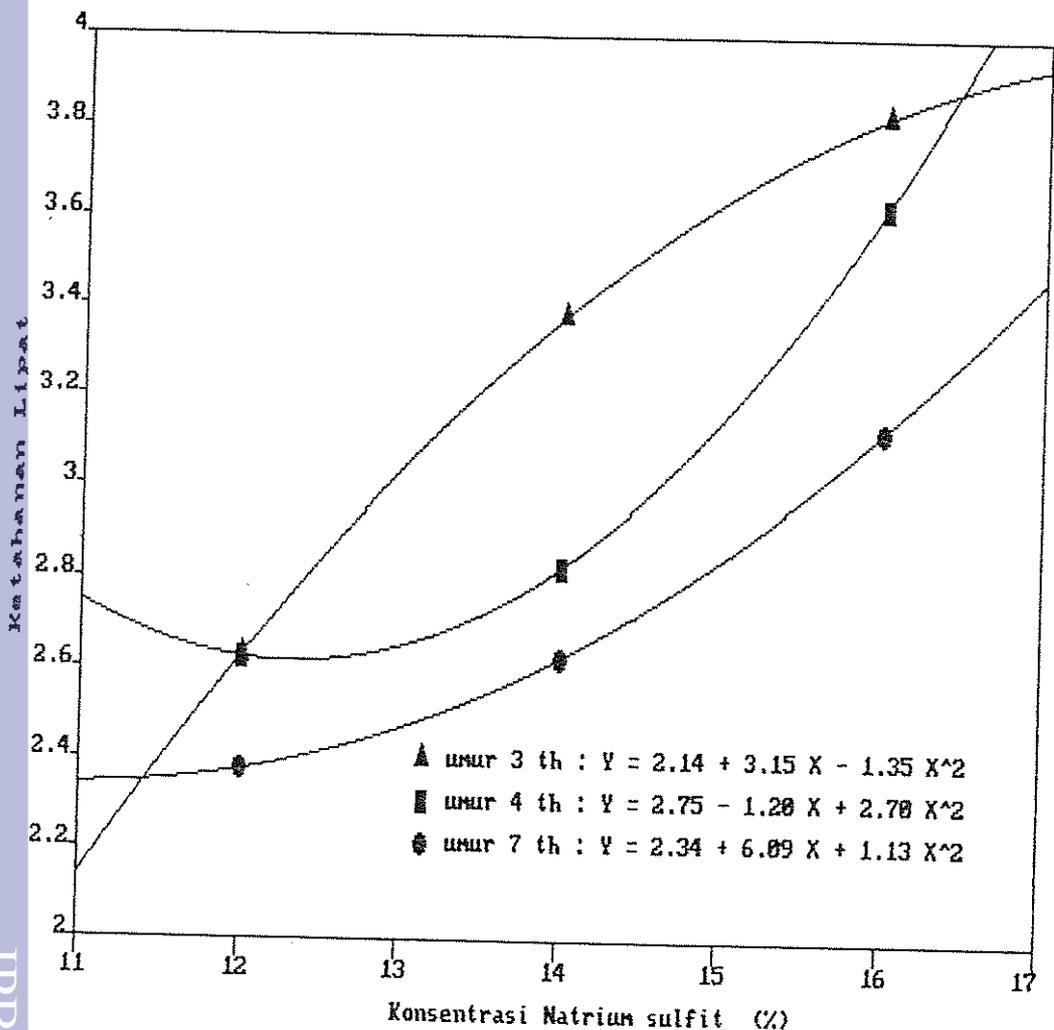
Daya tenun yang tinggi menunjukkan panjang serat yang tinggi dengan diameter yang kecil. Kayu Ampupu yang berumur 7 tahun akan membentuk jalinan serat dan ikatan hidrogen antara gugus hidroksil selulosa yang lebih banyak karena proses fibrilisasi tidak dihambat oleh sisa lignin. Jumlah ikatan antar serat akan semakin banyak sepanjang permukaan fibril yang kaya akan selulosa dan hemiselulosa.

7. Ketahanan Lipat

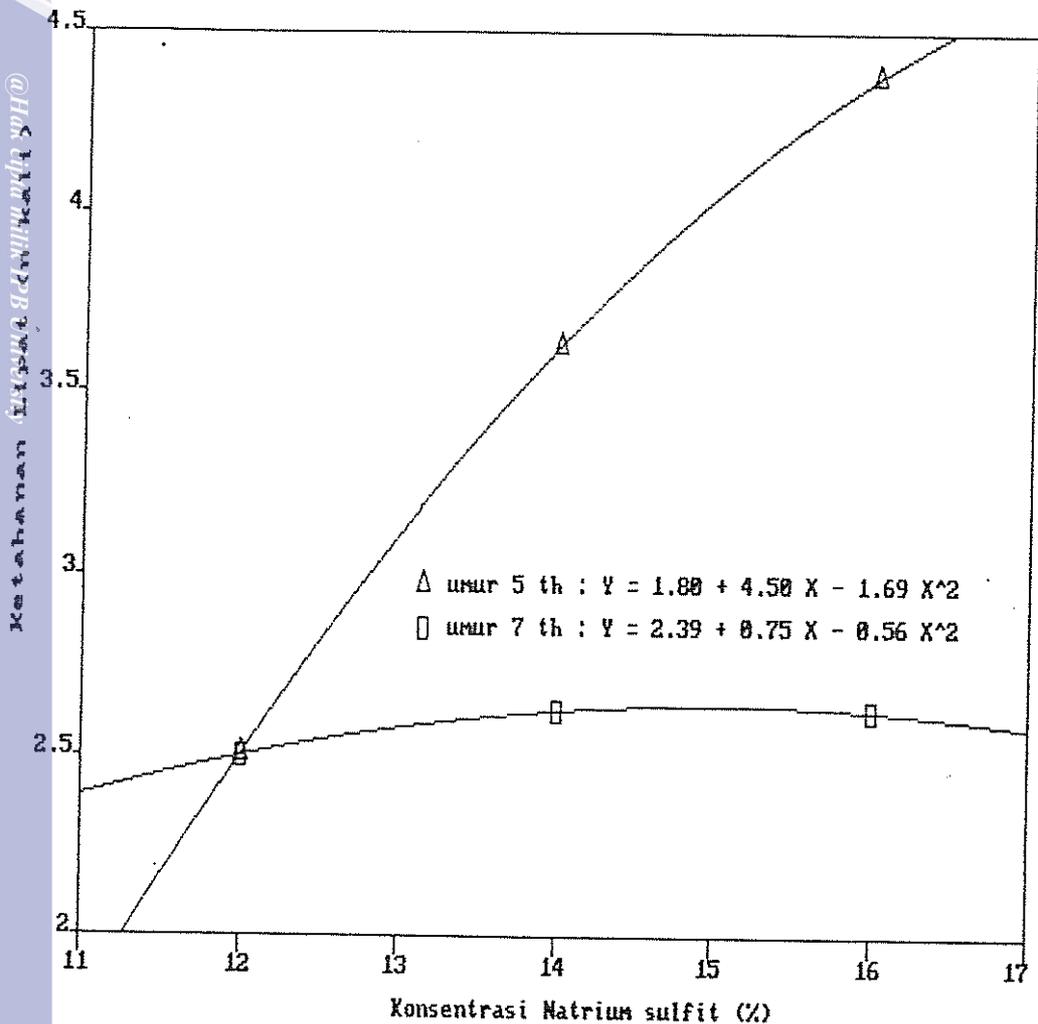
Ketahanan lipat lembaran pulp semi kimia sulfit netral kayu Mangium dan Ampupu mengalami kenaikan dengan semakin tingginya konsentrasi natrium sulfit. Faktor yang berpengaruh terhadap nilai ini sama seperti sifat fisik lembaran pulp lainnya, yaitu sisa lignin yang semakin rendah karena peningkatan konsentrasi larutan pemasak, dimana sisa lignin yang tinggi akan mengurangi kemampuan serat untuk membentuk ikatan. Grafik hubungan antara ketahanan lipat dengan konsentrasi natrium sulfit pada masing-masing jenis kayu dapat dilihat pada Gambar 17 dan 18.



Faktor konsentrasi natrium sulfit, umur kayu, dan interaksi keduanya menunjukkan pengaruh yang sangat nyata pada nilai ketahanan lipat. Untuk kayu Ampupu nilainya rata-ratanya berkisar antara 2.5 - 4.4 kali, sedangkan pada kayu Mangium kisaran nilai rata-ratan tersebut berada antara 2.4 - 3.9 kali. Nilai ini cenderung menurun dengan meningkatnya umur kayu.



Gambar 17. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan ketahanan lipat pada kayu Mangium



Gambar 18. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan ketahanan lipat pada kayu Ampupu

Nilai ketahanan lipat yang lebih tinggi pada kayu muda menunjukkan pengaruh dimensi serat yang berlainan untuk setiap umur kayu. Secara umum pengaruh koefisien kekakuan dan nisbah kelenturan lebih dominan dibandingkan dengan nilai dimensi serat lainnya. Kayu muda dengan tebal dinding serat yang

tipis dan diameter serat yang tebal bersifat lebih lentur dalam pembentukan lembaran pulp. Serat dengan struktur demikian mudah memipih (*collaps*) dan akan membentuk lembaran yang lentur dengan jumlah ikatan permukaan yang lebih banyak.

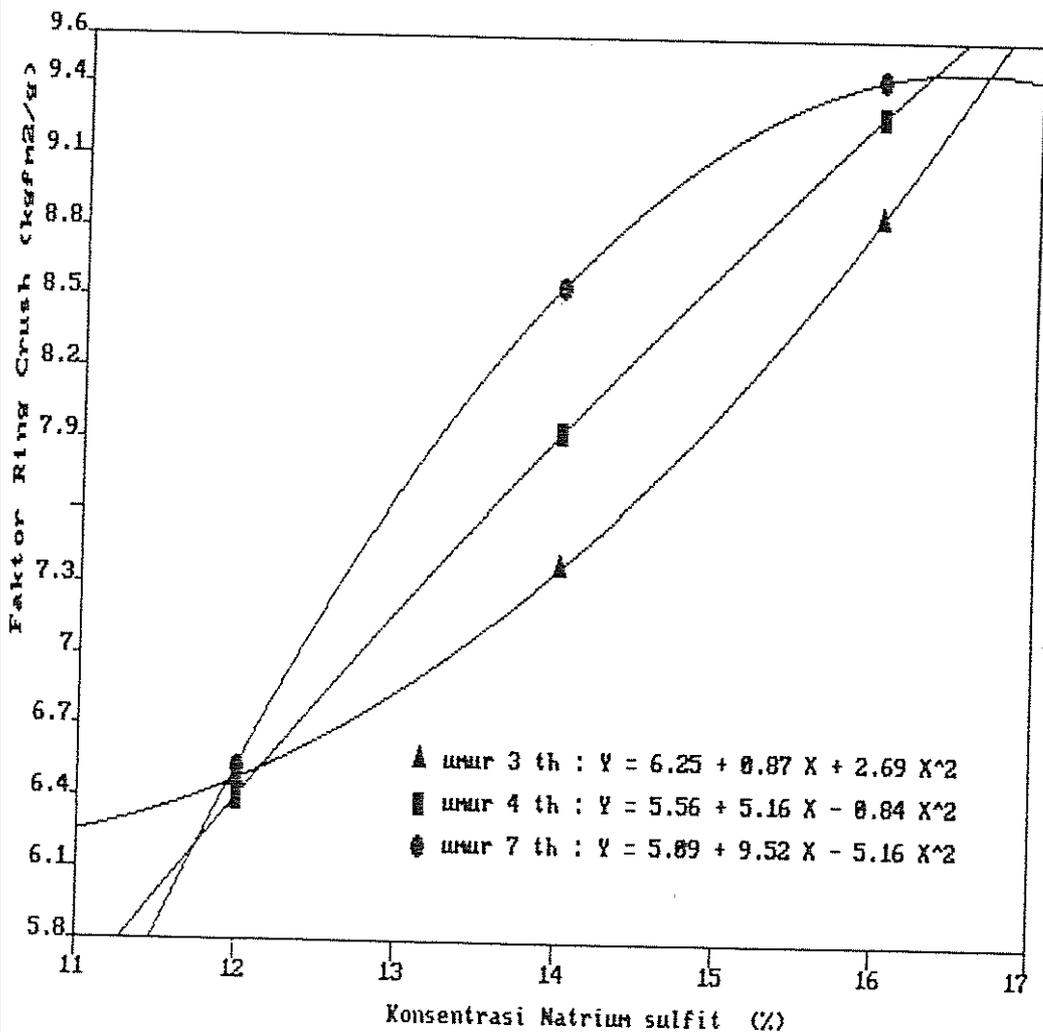
Pada pulp kayu Mangium yang berumur 3 tahun yang dihasilkan dari pemasakan menggunakan konsentrasi larutan pemasak yang rendah memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dengan umur kayu 4 tahun pada kondisi pemasakan yang sama, meskipun nilai nisbah kelenturannya tinggi. Hal ini mungkin disebabkan oleh panjang dan jumlah fibril yang rendah, serta sedikitnya ikatan hidrogen yang terbentuk karena masih tingginya kadar sisa lignin dalam pulp. Perbedaan kualitas ikatan tersebut lebih besar pengaruhnya pada kayu muda.

8. *Ring Crush*

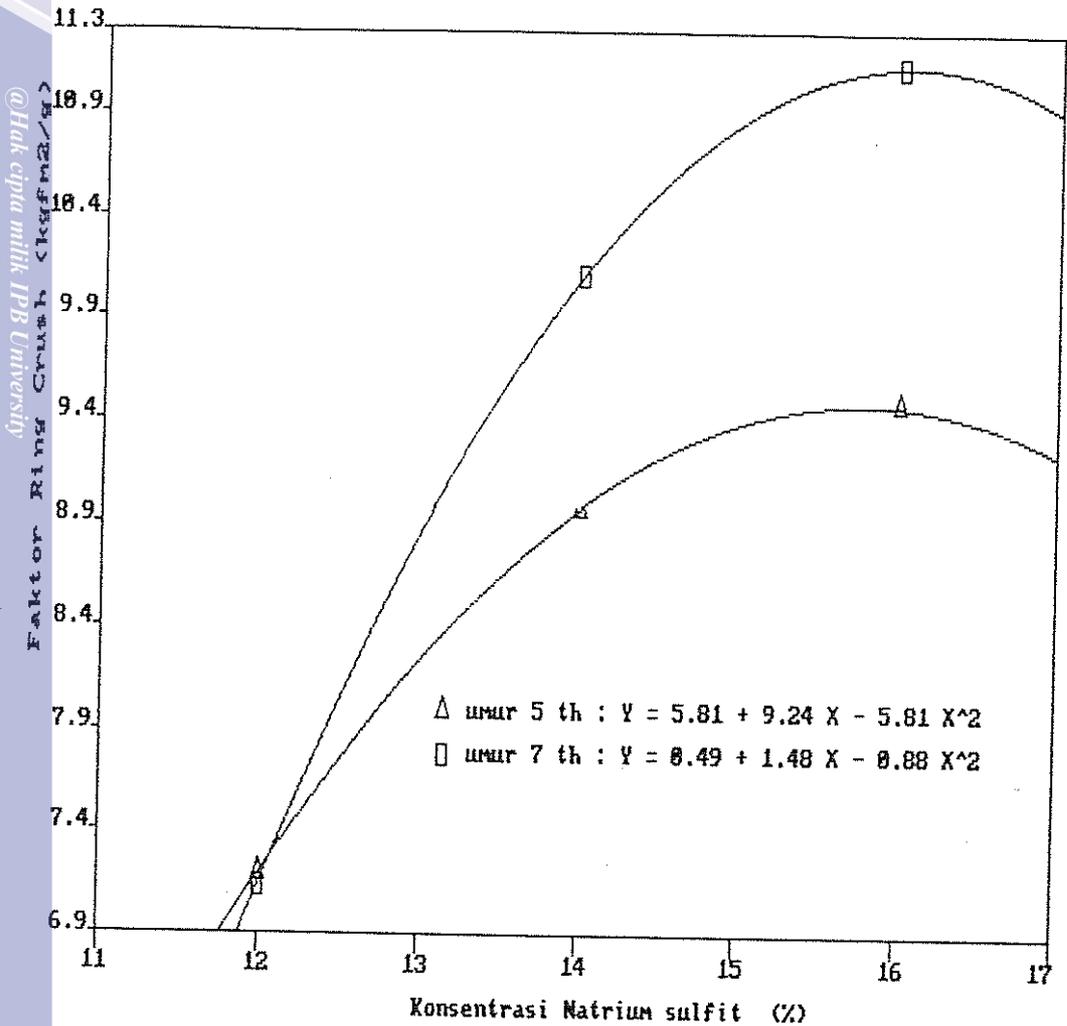
Nilai *Ring Crush* dinyatakan dengan Faktor *Ring Crush* yaitu Nilai *Ring Crush* per satuan gramatur. Hasil pengujian Faktor *Ring Crush* lembaran pulp kayu Mangium dan Ampupu pada lampiran 10 menunjukkan pengaruh sangat nyata dari faktor umur kayu dan konsentrasi natrium sulfit. Peningkatan umur kayu dan konsentrasi natrium sulfit cenderung menaikkan nilai Faktor *Ring Crush*. Grafik hubungan antara Faktor *Ring Crush* dengan konsentrasi natrium sulfit

disajikan pada Gambar 19 untuk kayu Mangium dan Gambar 20 untuk kayu Ampupu.

Kisaran nilai rata-rata Faktor *Ring Crush* pulp kayu Mangium setiap umur berturut-turut adalah 6.47 - 8.85 kgf.m²/g untuk umur 3 tahun, 6.40 sampai 9.28 kgf.m²/g untuk umur 4 tahun, dan antara 6.53 hingga 10.43 kgf.m²/g untuk kayu berumur 7 tahun.



Gambar 19. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan Faktor *Ring Crush* Pada kayu Mangium



Gambar 20. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan Faktor Ring Crush pada kayu Ampupu

Nilai rata-rata Faktor *Ring Crush* yang dimiliki oleh pulp kayu Ampupu pada setiap taraf umur kayu adalah 7.18 hingga 9.57 $\text{kgf.m}^2/\text{g}$ untuk umur 5 tahun, dan antara 7.13 sampai 11.13 $\text{kgf.m}^2/\text{g}$ untuk umur 7 tahun.

Kenaikan nilai Faktor *Ring Crush* dengan meningkatnya umur kayu dapat dijelaskan berdasarkan perbe-

daan dimensi serat antar taraf umur kayu. Dimensi serat yang menunjukkan hubungan positif paling dominan adalah panjang serat dan tebal dinding sel, serta nilai turunannya yaitu daya tenun dan nisbah Muhlsteph. Nilai dimensi serat dan turunannya tersebut meningkat pada umur kayu yang lebih tua, sehingga nilai Faktor *Ring Crush* mengalami kenaikan pula.

Pola kecenderungan nilai Faktor *Ring Crush* mengalami kenaikan dengan bertambahnya konsentrasi natrium sulfit. Kecenderungan ini sama dengan sifat fisik pulp lainnya akibat pengaruh sisa lignin yang masih banyak terdapat pada pulp hasil pemasakan menggunakan konsentrasi natrium sulfit yang rendah. Sisa lignin ini akan menghambat proses fibrilisasi sehingga jumlah dan kualitas ikatan antar serat menjadi rendah.

Pada kayu Mangium dan Ampupu yang berumur 7 tahun dengan konsentrasi natrium sulfit sebesar 12 persen menghasilkan nilai Faktor *Ring Crush* yang tidak jauh berbeda dengan kayu muda pada kondisi pemasakan yang sama. Hal ini disebabkan karena tingkat kematangan proses pemasakan kayu tua yang masih rendah sehingga sisa lignin pada pulp kayu tua relatif lebih tinggi. Dengan semakin meningkatnya konsentrasi natrium sulfit, maka jumlah lignin yang tersisa dalam pulp menjadi semakin rendah sehingga nilai Faktor *Ring Crush* pun semakin tinggi.

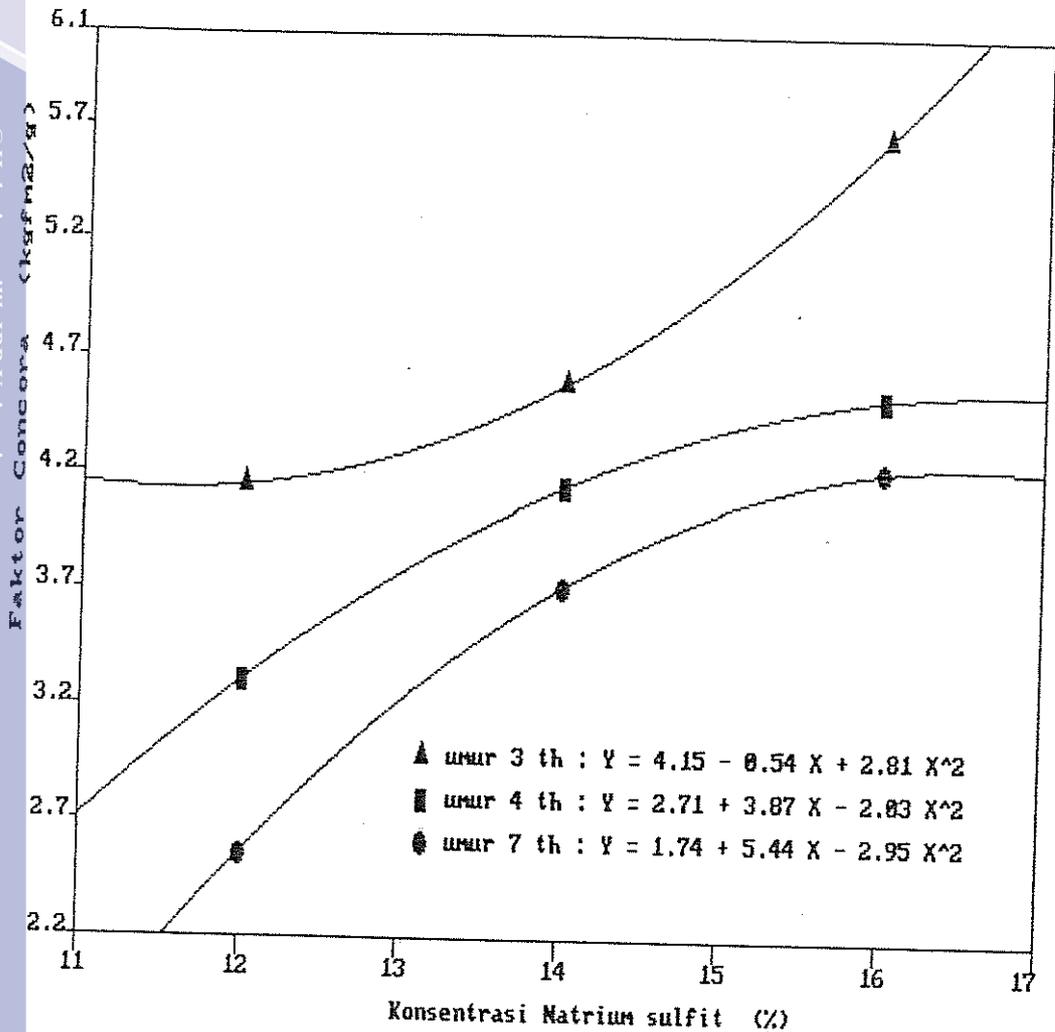


9. *Concora*

Lembaran pulp kayu Mangium dan Ampupu memiliki nilai Faktor *Concora* yang cenderung meningkat dengan semakin tingginya konsentrasi natrium sulfit. Seperti halnya pada sifat fisik pulp lainnya, faktor yang berpengaruh secara dominan adalah nilai sisa lignin yang semakin turun karena peningkatan konsentrasi larutan pemasak. Mekanisme penurunan sifat fisik pulp oleh lignin terjadi karena lignin yang berada pada lamela tengah akan menghambat proses fibrilisasi serat dan menghalangi gugus hidroksil yang terdapat pada permukaan serat sehingga pembentukan ikatan hidrogen antar senyawa selulosa dan hemiselulosa antar permukaan serat terhambat sehingga kualitas ikatan antar serat menjadi rendah.

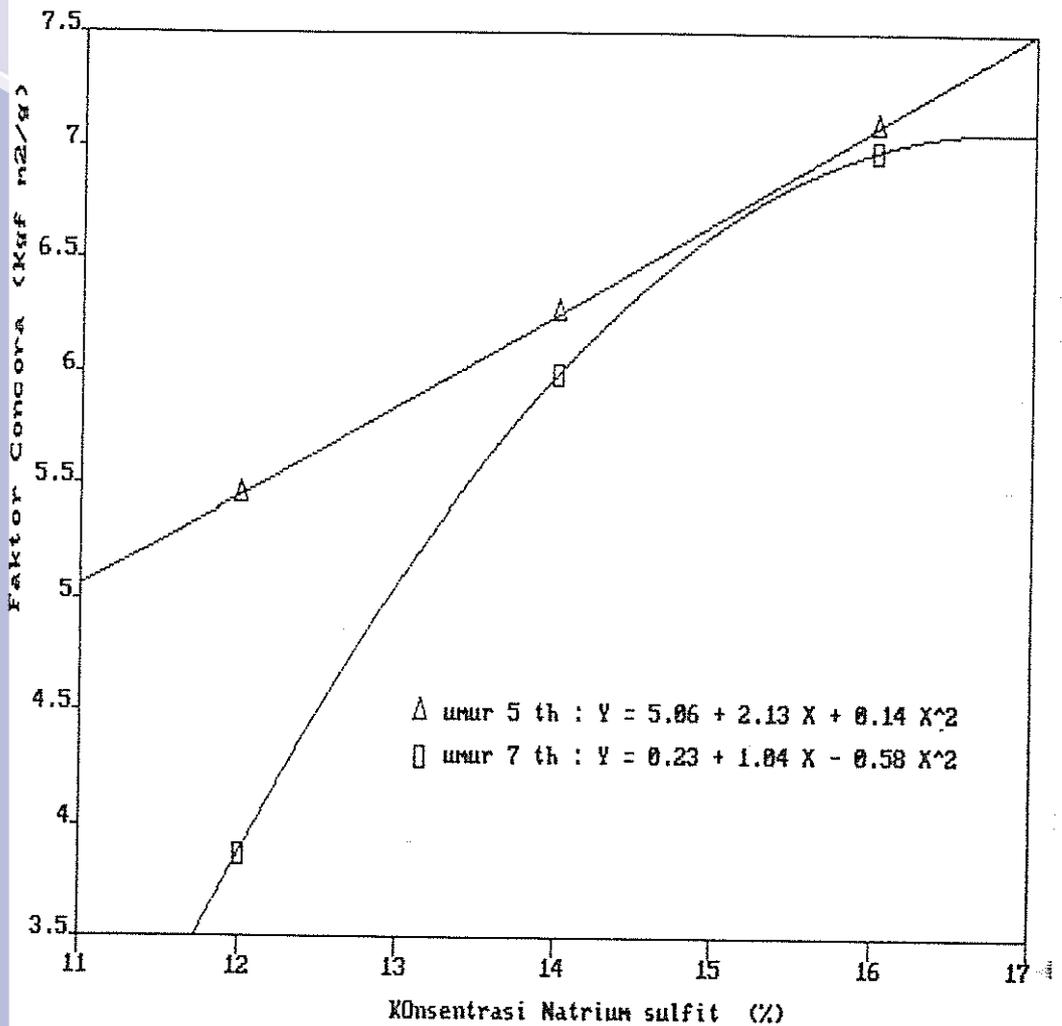
Hasil analisa sidik ragam pada Lampiran 11 menunjukkan bahwa faktor umur kayu, konsentrasi natrium sulfit, dan interaksi keduanya menunjukkan pengaruh yang sangat nyata nilai Faktor *Concora*. Untuk kayu Mangium rataannya berkisar antara 2.56 sampai 5.66 $\text{kgf.m}^2/\text{g}$, sedangkan pada kayu Ampupu nilainya berada dalam selang 3.87 hingga 7.08 $\text{kgf.m}^2/\text{g}$. Nilai ini mengalami penurunan dengan meningkatnya umur kayu. Grafik hubungan antara Faktor *Concora* dengan konsentrasi natrium sulfit dapat dilihat pada Gambar 21 dan 22.





Gambar 21. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan Faktor *Concora* pada kayu Mangium

Pengaruh umur kayu terhadap nilai Faktor *Concora* dapat dimanipulasi sebagai pengaruh perubahan dimensi serat yang merupakan fungsi dari umur kayu. Dalam hal ini pengaruh koefisien kekakuan dan nisbah kelen-turan memberikan pengaruh yang lebih nyata dibandingkan dengan nilai dimensi serat lainnya. Nilai nisbah kelenturan yang tinggi pada serat menunjukkan tingkat



Gambar 22. Grafik hubungan konsentrasi natrium sulfit dengan Faktor *Concora* pada kayu Ampupu

kemampuan serat untuk memipih pada saat pembentukan lembaran, sehingga menghasilkan lembaran pulp yang lentur. Sifat kelenturan yang baik akan mempengaruhi pembentukan gelombang (*flute*) pada kertas medium, dimana ikatan antar seratnya tidak mudah putus akibat pengaruh suhu dan gaya tekan.

C. IDENTIFIKASI PULP

Pulp semi kimia sulfit netral yang dihasilkan dari kayu Mangium dan Ampupu pada kombinasi umur dan konsentrasi natrium sulfit diidentifikasi berdasarkan pada SII.0445-81 tentang spesifikasi kertas medium berdasarkan Nilai *Ring Crush* dan *Concora* yang dapat dilihat pada Tabel 5. Nilai rata-rata hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 9.

Hasil penilaian menunjukkan bahwa pulp semi kimia sulfit netral untuk kertas medium yang diperoleh dari kayu Mangium dengan konsentrasi natrium sulfit sebesar 12 persen memiliki mutu rendah sehingga belum memenuhi syarat yang telah ditetapkan. Peningkatan konsentrasi natrium sulfit akan menaikkan kelas mutu pulp. Kayu yang berumur 3 dan 7 tahun menghasilkan pulp kertas medium terbaik dengan menggunakan konsentrasi natrium sulfit sebesar 16 persen, dengan nilai mutu pulp hampir mencapai kelas A. Untuk kayu Mangium yang berumur 4 tahun konsentrasi natrium sulfit terbaik adalah sebesar 14 persen, dimana penggunaan natrium sulfit di atas 14 persen tidak efisien karena tidak memperlihatkan adanya kenaikan kelas mutu pulp yang dihasilkan.

Berdasarkan penilaian yang dilakukan terhadap ketiga taraf umur kayu Mangium, maka kayu yang berumur 3 tahun merupakan bahan baku terbaik untuk pulp kertas medium. Kayu ini akan menghasilkan pulp dengan mutu

yang tidak berbeda bila dibandingkan dengan pulp dari kayu yang berumur 7 tahun pada taraf konsentrasi natrium sulfit yang sama.

Tabel 9. Nilai rata-rata dan nilai mutu pengujian faktor *Ring Crush* dan *Concora* untuk setiap kombinasi umur kayu dan konsentrasi natrium sulfit berdasarkan SII.0445-81

Umur kayu	Na ₂ SO ₃ (%)	Faktor Ring Crush		Faktor Concora	
		Nilai	Mutu	Nilai	Mutu
Kayu Mangium (<i>A. mangium</i> Willd.)					
3 tahun	12	6.47	-	4.14	B
	14	7.36	B	4.59	B
	16	8.85	B	5.66	A
4 tahun	12	6.40	-	3.30	-
	14	7.93	B	4.15	B
	16	9.28	B	4.53	B
7 tahun	12	6.53	-	2.56	-
	14	8.55	B	3.72	B
	16	10.43	A	4.22	B
Kayu Ampupu (<i>E. urophylla</i> Blake)					
5 tahun	12	7.18	B	5.45	A
	14	8.97	B	6.25	A
	16	9.47	B	7.08	A
7 tahun	12	7.13	B	3.87	B
	14	10.10	A	5.98	A
	16	11.13	A	6.97	A

Keterangan : A = Termasuk kelas A (SII.0445-81)
 B = Termasuk kelas B (SII.0445-81)
 - = Belum sesuai kriteria SII.0445-81

Secara umum konsentrasi natrium sulfit yang sesuai untuk kayu Mangium berumur antara 3 sampai 7 tahun



adalah sebesar 16 persen. Kondisi ini akan menghasilkan pulp semi kimia sulfit netral yang baik untuk kertas medium.

Hasil penilaian yang dilakukan terhadap kayu Ampupu menunjukkan bahwa kayu yang berumur 5 tahun akan menghasilkan pulp dengan kelas mutu yang sama pada setiap taraf konsentrasi natrium sulfit yang digunakan. Dengan demikian, maka penggunaan konsentrasi natrium sulfit sebesar 12 persen merupakan kondisi paling efisien untuk kayu tersebut. Adapun konsentrasi natrium sulfit terbaik untuk kayu Ampupu berumur 7 tahun adalah 14 persen, dimana pulp yang dihasilkan memiliki kelas mutu A.

Kayu Ampupu yang optimal sebagai bahan baku pulp semi kimia sulfit netral untuk kertas medium adalah kayu yang berumur 5 tahun. Konsentrasi natrium sulfit yang secara umum akan menghasilkan pulp terbaik dari kayu Ampupu berumur antara 5 dan 7 tahun adalah sebesar 14 persen.



V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Hasil penilaian serat kayu Mangium dan Ampupu berdasarkan nilai dimensi seratnya pada penelitian pendahuluan; menunjukkan bahwa kedua jenis kayu tersebut dapat digolongkan dalam kayu kelas mutu II untuk bahan baku pulp dan kertas.

Rendemen pulp semi kimia sulfit netral dari kayu Mangium berkisar antara 65.78 hingga 81.91 persen, dan antara 58.91 sampai 45.78 persen untuk kayu Ampupu. Nilai ini meningkat dengan bertambahnya umur kayu, namun menurun dengan semakin tinggi konsentrasi natrium sulfit.

Sulfur terikat pada kayu kedua jenis kayu cenderung meningkat dengan bertambahnya umur kayu dan konsentrasi natrium sulfit. Untuk kayu Mangium nilainya berkisar antara 4.30 hingga 5.78 persen, sedangkan pada kayu Ampupu adalah 4.32 sampai 5.61 persen.

Bilangan Kappa setiap taraf umur dan konsentrasi menunjukkan perbedaan nyata. Nilai bilangan Kappa meningkat seiring dengan peningkatan umur kayu, sedangkan peningkatan konsentrasi natrium sulfit akan menurunkan nilai bilangan Kappa. Nilai tertinggi sebesar 63.23 dimiliki oleh kayu Mangium pada taraf umur 7 tahun dan konsentrasi natrium sulfit 12 persen.

Sifat fisik lembaran pulp semi kimia sulfit netral yang berasal dari kayu tua relatif lebih baik kecuali kekuatan lipat dan Faktor *Concoranya* yang lebih rendah daripada kayu muda. Setiap taraf umur mencapai taraf optimal pada konsentrasi natrium sulfit yang tinggi (16%).

Berdasarkan hasil identifikasi mutu menurut SII.0445-81, konsentrasi natrium sulfit terbaik untuk kayu Mangium yang berumur 3 dan 7 tahun adalah 16 persen. Umur kayu 3 tahun dengan konsentrasi sebesar 16 persen memberikan nilai Faktor *Ring Crush* sebesar 8.85 $\text{kgf.m}^2/\text{g}$ (kelas mutu B), nilai Faktor *Concora* sebesar 5.66 $\text{kgf.m}^2/\text{g}$ (kelas mutu A), dan nilai rendemen sebesar 69.83 persen. Umur kayu 7 tahun dengan konsentrasi natrium sulfit sebesar 16 persen memberikan nilai Faktor *Ring Crush* 10.43 $\text{kgf.m}^2/\text{g}$ (kelas mutu A), nilai Faktor *Concora* 4.22 $\text{kgf.m}^2/\text{g}$ (kelas mutu B), dan nilai rendemen sebesar 67.75 persen. Adapun konsentrasi paling efisien untuk kayu berumur 4 tahun adalah 14 persen. Kombinasi ini memberikan nilai Faktor *Ring Crush* 7.93 $\text{kgf.m}^2/\text{g}$ (kelas mutu B), nilai Faktor *Concora* 4.15 (kelas mutu B), dan nilai rendemen sebesar 75,13 persen. Kayu Mangium terbaik untuk pulp kertas medium adalah 3 tahun. Taraf umur ini secara umum akan menghasilkan pulp dengan kelas mutu di atas B, dan nilai rendemen antara 70 sampai 75 persen. Adapun konsentrasi yang sesuai untuk

kayu Ampupu yang berumur antara 3 sampai 7 tahun adalah 16 persen.

Kayu Ampupu yang berumur 5 tahun sesuai sebagai bahan baku pulp kertas medium dengan menggunakan konsentrasi natrium sulfit 12 persen. Kombinasi ini akan memberikan nilai Faktor *Ring Crush* $7.18 \text{ kgf.m}^2/\text{g}$ (kelas mutu B), nilai Faktor *Concora* $5.45 \text{ kgf.m}^2/\text{g}$, dan nilai rendemen sebesar 54.24 persen. Adapun kayu yang berumur 7 tahun memiliki konsentrasi natrium sulfit terbaik sebesar 14 persen, dengan nilai Faktor *Ring Crush* sebesar $10.10 \text{ kgf.m}^2/\text{g}$ (kelas mutu A), nilai Faktor *Concora* $5.98 \text{ kgf.m}^2/\text{g}$, dan nilai rendemen sebesar 52.19 persen. Kayu Ampupu yang optimal sebagai bahan baku pulp kertas medium adalah kayu berumur 5 tahun yang secara umum akan menghasilkan pulp dengan mutu hampir mencapai kelas A, sedangkan konsentrasi yang sesuai untuk kayu Ampupu yang berumur antara 5 sampai 7 tahun adalah 14 persen.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



B. SARAN

Kayu Ampupu memiliki nilai kelarutan pada asam dan alkali yang lebih tinggi daripada kayu Mangium, sehingga kurang tahan terhadap kondisi pemasakan yang keras. Penggunaan konsentrasi natrium sulfit, waktu pemasakan, dan suhu maksimum yang lebih rendah diharapkan dapat meningkatkan nilai rendemen pulp tanpa menyebabkan penurunan sifat fisik pulp yang berarti.

Untuk melihat kemungkinan penggunaan kayu muda sebagai pengganti kayu tua pada skala industri, perlu dilakukan analisis terhadap kayu Ampupu yang berumur di bawah 5 tahun dengan konsentrasi natrium sulfit di bawah 12 persen.

@HakCipta milik IPB University

IPB University





DAFTAR PUSTAKA

- Adisubroto, S. dan S. Priasukmana. 1985. Teknik Pembangunan Persemaian *Acacia mangium* Willd. Jurnal Penelitian dan Pengembangan Kehutanan I (2), Balai Penelitian dan Pengembangan Hutan, Bogor.
- Anonimus. 1973. Ikhtisar Keadaan dan Perluasan Industri Kertas di Indonesia. Dirjen Perindustrian dan Kimia dan Dirjen Kehutanan, Jakarta.
- Anonimus. 1976. Vademecum Kehutanan Indonesia. Direktorat Jendral Kehutanan, Departemen Pertanian, Jakarta.
- Anonimus. 1979. Forest and Forest Product Development Indonesia, Prospect for The Development of Pulp and Paper in Asia up to The Year 2000. FAO, Bogor.
- Anonimus. 1979. Tropical Legumes : Resources for The Future. National Academy Science, Washington DC.
- Anonimus. 1981. Cara Pengujian Bilangan Kappa, SII No. 0530-81. Departemen Perindustrian, Jakarta.
- Anonimus. 1981. Cara pengujian Sifat Fisik Pulp dan Kertas, Departemen Perindustrian, Jakarta.
- Anonimus. 1981. Spesifikasi Kertas Medium, SII No. 0445-81 Departemen Perindustrian RI, Jakarta.
- Anonimus. 1982. Cara Uji Ketahanan Tekan Datar Kertas Medium dan Karton Gelombang, SII No. 0659-82. Departemen Perindustrian, Jakarta.
- Anonimus. 1982. Cara Uji Ketahanan Tekan Lingkar Kertas dan Karton, SII No. 0660-82. Departemen Perindustrian, Jakarta.
- Anonimus. 1983. Mangium and Other Fast Growing Acacias for The Humid Tropics. National Academy Press, Washington DC.
- Anonimus. 1988. Pemanfaatan Cendawan *Xylaria* sp. sebagai Inokulasi Pada Anakan *Acacia mangium* Willd. Dalam Menunjang Pembangunan HTI. Fahutan, IPB, Bogor.
- APKI. 1989. Indonesian Paper Trade and Directory 1989 (with ASEAN Supplement). APKI, Jakarta.
- Britt, K.W. 1970. Hand Book of Pulp and Paper Technology. Reinhold Publishing Corporation, Chapman and Hill Ltd., New York, London.

Hak Cipta milik 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 trialuan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak menginkan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang memunculkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

- Brown, H.P., A.J. Panshin, dan C.C. Forsaith. 1952. Text Book of Wood Technology. Vol. I. McGraw Hill Book Company Inc., New York.
- Cahyono, B. 1986. Tinjauan Hasil-hasil Penelitian Pembuatan Pulp di Indonesia. Skripsi. Fakultas Kehutanan, IPB.
- Casey, J.P. 1980. Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology. 3rd Edition, Vol. I. John Wiley and Sons, New York.
- Grace, T.M. dan E.W. Malcolm. 1983. Pulp and Paper Manufacture. Vol 5: Alkaline Pulping. Joint Text Book Committee of The Paper Industry, New York.
- Hartoyo. 1989. Kimia Kayu. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor.
- Haygreen, J.G. dan J.L. Bowyer. 1989. Hasil Hutan dan Ilmu Kayu. Terjemahan. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Ingruber, O.V., M.J. Kocurek, dan A. Wong. 1983. Pulp and Paper Manufacture. Vol. 4: Sulfite Science and Technology. The Joint Text Book Committee of Paper Industry. Atlanta, Montreal.
- Judodibroto, R. dan Sutamat. 1977. Kesatuan Istilah dan Ukuran Kertas. Team Standardisasi Asosiasi Pulp dan Kertas Indonesia, Jakarta.
- Kocurek, M.J. 1983. Pulp and Paper Manufacture, Properties of Fibrous. Vol. I: Raw Material and Their Preparation. Joint Text Book Committee of Paper Industry, New York.
- Kusmayadi, D. 1987. Pengujian Sifat Fisik dan Kadar Zat Ekstraktif Kayu *Acacia mangium* Willd. Pada Beberapa Tingkat Umur Pohon. Skripsi. Fakultas Kehutanan, IPB.
- Libby, C.E. 1962. Pulp and Paper Sciences and technology. McGraw Hill Book Company. New York, Toronto, London.
- MacDonald, R.G. dan J.N. Franklin. 1969. Pulp and Paper Manufacture. Volume I : The Pulping Wood. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Mading, A. 1991. Komponen Kimia Kayu *Acacia mangium* Willd. dan *Eucalyptus urophylla* Blake. Skripsi. Akademi Kimia Analisis, Departemen Perindustrian, Bogor.
- Panshin, A.J. dan C.D. Zeeuw. 1980. Textbook of Wood Technology. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Pasaribu, R.A. dan T. Silitonga. 1974. Pulp Campuran Kayu Daun Lebar dan Bambu. Laporan No. 35. Lembaga Penelitian Hutan, Bogor.



- Pratiwi, W. 1984. Pembuatan Pulp Kertas Dari Beberapa Jenis Eucalyptus. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Selulosa, Bandung.
- Priasukmana, S. dan T. Silitonga. 1972. Dimensi Serat Beberapa Jenis Kayu Jawa Barat. Laporan Penelitian. Lembaga Penelitian Hutan, Bogor.
- Purba, K. 1989. Dimensi Serat dan Nilai Turunannya. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor.
- Rasimin, S. dan M. Eddi. 1983. Pembuatan Pulp Kraft Dari Pulp Kayu Pinus merkusii. Berita Selulosa XIV (3), BBS, Bandung.
- Rudatin, S., L. Indriati dan R. Sujono. 1983. Pulp Jerami Untuk Kertas Medium. Simposium Selulosa III, Bandung.
- Rydholm, S.A. 1965. Pulping Process. Interscience Publishing, New York.
- Setdal Pembangunan HTI. 1987. Pola Umum Unit Hutan Tanaman Industri. Badan Litbang Kehutanan dan Sekretariat Pengendalian Pengembangan HTI, Jakarta.
- Silitonga, T. 1977. Percobaan Pembuatan Pulp Semi Kimia Sulfit Netral Lima Jenis Kayu Yang Tumbuh Cepat. Laporan No.83. Puslitbang Hasil Hutan, Bogor.
- Silitonga, T. 1984. Timber Estates dan Gatra Technology Pengolahan Pulp dan Kertas. Proceeding Kini Menanam Esok Memanen. Fahutan, IPB, Bogor.
- Silitonga, T. dan H. Roliadi. 1976. Pulp Semi Kimia Sulfit Netral Beberapa Jenis Kayu Daun Lebar Kalimantan. Laporan No. 70. Puslitbang Hasil Hutan, Bogor.
- Soedradjat. 1979. Kimia Kayu. Fatemeta, IPB, Bogor.
- Soenardi, 1974. Hubungan Antara Sifat-sifat Kayu dan Kualitas Kertas. Berita Selulosa X (3): 111. BBS, Bandung.
- Stephenson, J.N. 1950. Pulp and Paper Manufacture. Vol I: Preparation and Treatment of Wood Pulp. McGraw-Hill Book Company, New York-Toronto-London.
- Sujono, R., W. Kartiwa dan Uzair. 1987. Pembuatan Pulp Kertas Medium Dengan Bahan Baku Batang Jagung. BBS, Bandung.
- Suhaendi, H. dan A. Djapilus. 1978. Pemilihan Jenis-jenis Eucalyptus Dalam Usaha Reboisasi dan Prospek Pengembangannya di Daerah-daerah. Lembaga Pengembangan, No. 2. Lembaga Penelitian Hutan, Bogor.



TAPPI. 1961. TAPPI Standards and Suggested Methods. TAPPI, New York.

Tsoumis, G. 1968. Wood as Raw Material. Pergamon Press, Oxford, London.

Usman. 1985. Sifat Pulp Sulfat Lamtoro Gung Pada Berbagai Umur dan Bagian Kayu Teras-Gubal. Fahutan, IPB, Bogor.

Waluyo, I. 1985. Keadaan Industri Pulp dan Kertas Pada Pelita III. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Selulosa, Bandung.

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

Wise, L.E. dan E.C. Jahn. 1952. Wood Chemistry. Reinhold Publisher Co., New York-Toronto-London.

Yasin, A.P., Hendayani, A. Sugiharto, Pramono, dan N. Bahar. 1989. Pembuatan Serat Rayon Mutu Tinggi Dari Pulp Dissolving *Eucalyptus urophylla*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Selulosa, Bandung.





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

Lampiran 1. Kriteria penilaian serat kayu Indonesia untuk bahan baku pulp dan kertas

Dimensi serat	Kelas I		Kelas II		Kelas III	
	syarat	nilai	syarat	nilai	syarat	nilai
Panjang (mm)	> 2000	100	1000 - 2000	50	< 1000	25
Perbandingan Runkel	< 0.25	100	0.25 - 0.50	50	0.50 - 1.0	25
Daya tenun	> 90	100	50 - 90	50	< 50	25
Perbandingan Muhlsteph (%)	< 30	100	30 - 60	50	60 - 80	25
Perbandingan Kelenturan	> 0.80	100	0.50 - 0.80	50	< 0.50	25
Perbandingan Kekakuan (%)	< 0.10	100	0.10 - 0.15	50	> 0.15	25
Selang	450 - 600		225 - 449		< 225	

© Mark cipta milik IPB University

Halaman ini didukung oleh IPB University. 1. Uraian mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa menandai sumber 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Lampiran 2. Nilai rata-rata hasil pengujian pulp semi kimia sulfit netral kayu *Acacia mangium* Willd. dan *Eucalyptus urophylla* Blake

No	Kode	Rendemen (%)	Sulfur terikat (%)	Bilangan Kappa	Indeks sobek (Nm^2/kg)	Indeks retak ($kPam^2/g$)	Panjang putus (m)	Ketahanan lipat (n kali)	Faktor Ring Crush ($kgf.m^2/g$)	Faktor Concora ($kgf.m^2/g$)
Kayu Mangium (<i>Acacia mangium</i> Willd.)										
1	A1B1	76.79	4.30	56.21	3.59	0.85	657	2.6	6.474	4.142
2	A1B2	72.13	4.60	53.78	4.74	0.98	1206	3.6	7.361	4.587
3	A1B3	69.83	5.32	51.78	6.15	1.10	1775	3.9	8.845	5.657
4	A2B1	80.22	4.50	59.66	4.41	0.98	1471	2.6	6.397	3.303
5	A2B2	75.13	4.76	56.58	5.26	1.02	1539	2.9	7.930	4.150
6	A2B3	65.78	5.57	52.65	6.80	1.16	1880	3.1	9.277	4.532
7	A3B1	81.91	4.68	63.23	5.16	0.95	1559	2.4	6.528	2.560
8	A3B2	78.80	4.92	59.34	5.63	1.24	1734	2.6	8.553	3.717
9	A3B3	67.75	5.78	55.60	6.07	1.68	2195	3.6	10.431	4.219
Kayu Apupu (<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.)										
1	A1B1	54.24	4.32	58.23	4.90	0.86	1464	2.5	7.183	5.447
2	A1B2	48.79	4.71	56.25	5.97	1.21	2579	3.6	8.972	6.248
3	A1B3	45.76	5.31	50.95	6.41	1.25	2961	4.4	9.471	7.079
4	A2B1	58.91	4.55	60.18	6.04	1.44	2417	2.5	7.132	3.866
5	A2B2	52.19	4.87	55.80	6.87	1.47	2970	2.6	10.104	5.980
6	A2B3	49.69	5.61	53.49	8.14	1.50	2864	2.6	11.132	6.973

Lampiran 3. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Rendemen Pulp

1. Data Hasil Pengujian Rendemen Pulp

Hak Cipta © Dilindungi Undang-undang
 IPB University

a. *Acacia mangium* Willd.

Umur (A)	Ulangan	Konsentrasi Na_2SO_3 (B)		
		12%	14%	16%
3 th	1	76.47	73.08	70.25
	2	77.11	71.18	69.42
4 th	1	79.78	74.49	66.65
	2	80.67	75.76	64.91
7 th	1	79.51	78.42	67.21
	2	84.31	79.18	68.28

b. *Eucalyptus urophylla* Blake.

Umur (A)	Ulangan	Konsentrasi Na_2SO_3 (B)		
		12%	14%	16%
5 th	1	55.04	47.26	49.34
	2	53.44	44.26	48.83
7 th	1	59.23	51.62	49.34
	2	58.59	52.76	48.83

Lampiran 3. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Rendemen Pulp (lanjutan)

2. Analisa Sidik Ragam Nilai Rendemen

Sumber	db	SS	MS	F	F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.						
Perlakuan	8	520.688	65.086	33.578	3.23	5.47
A	2	34.180	17.090	8.817**	4.26	8.02
B	2	432.328	216.164	111.519**	4.26	8.02
AB	4	54.180	13.545	6.988**	3.63	6.42
Kekeliruan	9	17.445	1.938			
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.						
Perlakuan	5	212.717	42.543	31.508	4.39	8.75
A	1	47.994	47.994	35.544**	5.99	13.75
B	2	148.787	74.394	55.096**	5.14	10.92
AB	2	15.936	7.968	5.901*	5.14	10.92
Kekeliruan	6	8.102	1.350			

Keterangan :

- ** : sangat berpengaruh nyata
 * : berpengaruh nyata

3. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Taraf Dalam Perlakuan Umur Kayu *Acacia mangium* Willd. dan *Eucalyptus urophylla* Blake.

Umur Kayu (tahun)	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
7	76.153	A	A
4	73.710	B	AB
3	72.916	B	B
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
7	53.595	A	A
5	49.595	B	B

Lampiran 3. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Rendemen Pulp (lanjutan)

4. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Taraf Dalam Perlakuan Konsentrasi Natrium Sulfit

Konsentrasi (%)	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
12	79.641	A	A
14	75.351	B	B
16	67.787	C	C
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
12	56.573	A	A
16	49.238	B	B
14	48.975	B	B

5. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Kombinasi Perlakuan

Kombinasi	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
A3B1	81.912	A	A
A2B1	80.222	AB	AB
A3B2	78.801	ABC	AB
A1B1	76.790	BC	ABC
A2B2	75.126	CD	BCD
A1B2	72.126	DE	CDE
A1B3	69.832	EF	DEF
A3B3	67.747	FG	EF
A2B3	65.782	G	F
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
A2B1	58.905	A	A
A1B1	54.240	B	B
A2B2	52.190	BC	B
A2B3	49.690	C	BC
A1B3	48.785	C	BC
A1B2	45.760	D	C

Lampiran 4. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Bilangan Kappa

1. Data Hasil Pengujian Bilangan Kappa

a. *Acacia mangium* Willd.

Umur (A)	Ulangan	Konsentrasi Na_2SO_3 (B)		
		12%	14%	16%
1 th	1	56.75	53.42	52.34
	2	55.67	54.14	51.21
4 th	1	59.64	56.28	53.05
	2	59.68	56.87	52.24
7 th	1	63.49	59.21	55.83
	2	62.97	59.46	55.36

b. *Eucalyptus urophylla* Blake.

Umur (A)	Ulangan	Konsentrasi Na_2SO_3 (B)		
		12%	14%	16%
5 th	1	58.44	55.51	50.38
	2	58.01	56.96	51.51
7 th	1	60.51	56.21	54.45
	2	59.85	55.37	52.52

Lampiran 4. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Bilangan Kappa (lanjutan)

2. Analisa Sidik Ragam Nilai Bilangan Kappa

Sumber	db	SS	MS	F	F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.						
Perlakuan	8	217.602	27.200	108.424	3.23	5.47
A	2	90.117	45.059	179.611**	4.26	8.02
B	2	121.414	60.707	241.988**	4.26	8.02
AB	4	6.070	1.518	6.049*	3.63	6.42
Kekeliruan	9	2.258	0.251			
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.						
Perlakuan	5	108.383	21.677	30.687	4.39	8.75
A	1	5.453	5.453	7.720*	5.99	13.75
B	2	97.910	48.955	69.304**	5.14	10.92
AB	2	5.020	2.510	3.553	5.14	10.92
Kekeliruan	6	4.641	0.706			

Keterangan :

- ** : sangat berpengaruh nyata
- * : berpengaruh nyata

3. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Taraf Dalam Perlakuan Umur Kayu *Acacia mangium* Willd. dan *Eucalyptus urophylla* Blake.

Umur Kayu (tahun)	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
7	59.387	A	A
4	56.293	B	B
3	53.922	C	C
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
7	56.318	A	A
5	55.138	B	A



Lampiran 4. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Bilangan Kappa (lanjutan)

4. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Taraf Dalam Perlakuan Konsentrasi Natrium Sulfit

Konsentrasi (%)	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
12	59.700	A	A
14	56.563	B	B
16	53.338	C	C
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
12	59.203	A	A
16	56.020	B	B
14	52.215	C	C

5. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Kombinasi Perlakuan

Kombinasi	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
A3B1	63.230	A	A
A2B1	59.660	B	B
A3B2	59.335	B	B
A2B2	56.575	C	C
A1B1	56.210	C	C
A3B3	55.595	C	C
A1B2	53.780	D	D
A2B3	52.645	E	DE
A1B3	51.775	E	E



Lampiran 5. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Sulfur Terikat

1. Data Hasil Pengujian Sulfur Terikat

a. *Acacia mangium* Willd.

Umur (A)	Ulangan	Konsentrasi Na ₂ SO ₃ (B)		
		12%	14%	16%
3 th	1	4.27	4.61	5.29
	2	4.32	4.59	5.34
4 th	1	4.43	4.78	5.48
	2	4.57	4.83	5.66
7 th	1	4.62	4.96	5.86
	2	4.74	4.88	5.69

b. *Eucalyptus urophylla* Blake.

Umur (A)	Ulangan	Konsentrasi Na ₂ SO ₃ (B)		
		12%	14%	16%
5 th	1	4.28	4.74	5.29
	2	4.36	4.68	5.32
7 th	1	4.47	4.84	5.64
	2	4.62	4.89	5.58

Lampiran 5. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Sulfur Terikat (lanjutan)

1. Analisa Sidik Ragam Nilai Sulfur Terikat

Sumber	db	SS	MS	F	F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.						
Perlakuan	8	4.124	0.515	84.787	3.23	5.47
A	2	0.453	0.226	37.250**	4.26	8.02
B	2	3.661	1.830	301.046**	4.26	8.02
AB	4	0.010	0.003	0.427	3.63	6.42
Kekeliruan	9	0.055	0.006			
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.						
Perlakuan	5	2.335	0.467	142.355	4.39	8.75
A	1	0.156	0.156	47.665**	5.99	13.75
B	2	2.167	1.084	330.330**	5.14	10.92
AB	2	0.011	0.006	1.726	5.14	10.92
Kekeliruan	6	0.020	0.003			

Keterangan :

** : sangat berpengaruh nyata

2. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Taraf Dalam Perlakuan Umur Kayu *Acacia mangium* Willd. dan *Eucalyptus urophylla* Blake.

Umur Kayu (tahun)	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
7	5.125	A	A
4	4.942	B	B
3	4.737	C	C
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
7	5.007	A	A
5	4.778	B	B

Lampiran 5. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Sulfur Terikat (lanjutan)

3. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Taraf Dalam Perlakuan Konsentrasi Natrium Sulfit

Konsentrasi (%)	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
16	5.553	A	A
14	4.758	B	B
12	4.492	C	C
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
16	5.458	A	A
14	4.788	B	B
12	4.433	C	C

Lampiran 6. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Indeks Sobek

1. Data Hasil Pengujian Nilai Indeks Sobek

a. *Acacia mangium* Willd.

Umur (A)	Ulangan	Konsentrasi Na_2SO_3 (B)		
		12%	14%	16%
3 th	1	3.82	4.89	5.75
	2	3.36	4.58	6.55
4 th	1	4.64	5.09	6.19
	2	4.17	5.43	5.40
7 th	1	5.48	5.86	6.58
	2	4.84	5.48	5.56

b. *Eucalyptus urophylla* Blake.

Umur (A)	Ulangan	Konsentrasi Na_2SO_3 (B)		
		12%	14%	16%
5 th	1	5.28	5.62	6.76
	2	4.51	6.02	6.05
7 th	1	6.13	6.77	8.16
	2	5.94	6.97	8.11

Lampiran 6. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Indeks Sobek (lanjutan)

2. Analisa Sidik Ragam Nilai Indeks Sobek

Sumber	db	SS	MS	F	F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.						
Perlakuan	8	11.288	1.411	7.548	3.23	5.47
A	2	1.915	0.958	5.123*	4.26	8.02
B	2	7.874	3.937	21.061**	4.26	8.02
AB	4	1.499	0.375	2.004	3.63	6.42
Kekeliruan	9	1.682	0.187			
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.						
Perlakuan	5	11.626	2.325	23.533	4.39	8.75
A	1	4.738	4.738	47.949**	5.99	13.75
B	2	6.523	3.262	33.011**	5.14	10.92
AB	2	0.365	0.182	1.846	5.14	10.92
Kekeliruan	6	8.102	1.350			

Keterangan :

- ** : sangat berpengaruh nyata
- * : berpengaruh nyata

3. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Taraf Dalam Perlakuan Umur Kayu *Acacia mangium* Willd. dan *Eucalyptus urophylla* Blake.

Umur Kayu (tahun)	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
7	5.620	A	A
4	5.153	AB	A
3	4.825	B	A
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
7	7.013	A	A
5	5.757	B	B

1. Dilarang menyalin atau mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
 2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
 3. Dilarang menyalin atau mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
 4. Dilarang menyalin atau mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
 5. Dilarang menyalin atau mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 6. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Indeks Sobek (lanjutan)

4. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Taraf Dalam Perlakuan Konsentrasi Natrium Sulfit

Konsentrasi (%)	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
16	6.005	A	A
14	5.208	B	A
12	4.385	C	B
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
16	7.270	A	A
14	6.420	B	B
12	5.465	C	C

Lampiran 7. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Panjang Putus

1. Data Hasil Pengujian Nilai Panjang Putus

a. *Acacia mangium* Willd.

Umur (A)	Ulangan	Konsentrasi Na ₂ SO ₃ (B)		
		12%	14%	16%
3 th	1	701	1271	1708
	2	612	1141	1842
4 th	1	1393	1553	1979
	2	1548	1525	1781
7 th	1	1635	1646	2289
	2	1482	1821	2101

b. *Eucalyptus urophylla* Blake.

Umur (A)	Ulangan	Konsentrasi Na ₂ SO ₃ (B)		
		12%	14%	16%
5 th	1	1407	2686	2949
	2	1520	2472	2972
7 th	1	2530	2967	2877
	2	2304	2973	3051

Lampiran 7. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Panjang Putus (lanjutan)

2. Analisa Sidik Ragam Nilai Panjang Putus

Sumber	db	SS	MS	F	F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.						
Perlakuan	8	3063916	382989	35.144	3.23	5.47
A	2	1187812	593906	54.498**	4.26	8.02
B	2	1598872	799436	73.358**	4.26	8.02
AB	4	1277232	69308	6.360*	3.63	6.42
Kekeliruan	9	98080	10897			
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.						
Perlakuan	5	3429664	685933	58.593	4.39	8.75
A	1	605704	605704	51.740**	5.99	13.75
B	2	2367608	1183804	101.122**	5.14	10.92
AB	2	456352	228176	19.491**	5.14	10.92
Kekeliruan	6	70240	11707			

Keterangan :

- ** : sangat berpengaruh nyata
- * : berpengaruh nyata

3. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Taraf Dalam Perlakuan Umur Kayu *Acacia mangium* Willd. dan *Eucalyptus urophylla* Blake.

Umur Kayu (tahun)	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
7	1829.000	A	A
4	1629.833	B	B
3	1212.500	C	C
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
7	2783.667	A	A
5	2334.333	B	B

Lampiran 7. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Panjang Putus (lanjutan)

4. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Taraf Dalam Perlakuan Konsentrasi Natrium Sulfit

Konsentrasi (%)	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
16	1950.000	A	A
14	1492.833	B	B
12	1228.500	C	C
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
16	2962.250	A	A
14	2774.500	B	A
12	1940.250	C	B

5. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Kombinasi Perlakuan

Kombinasi	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
A3B1	2195.0	A	A
A2B3	1880.0	B	AB
A1B3	1775.0	BC	B
A3B2	1733.5	BC	B
A3B1	1558.5	BC	BC
A2B2	1539.0	BC	BC
A2B1	1470.5	C	BC
A1B2	1206.0	D	C
A1B1	656.5	E	D
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
A2B2	2970.0	A	A
A2B3	2964.0	A	A
A1B3	2960.5	A	A
A1B2	2579.0	B	A
A2B1	2417.0	B	A
A1B1	1463.5	C	B

Lampiran 8. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Indeks Retak

1. Data Hasil Pengujian Nilai Indeks Retak

a. *Acacia mangium* Willd.

Umur (A)	Ulangan	Konsentrasi Na_2SO_3 (B)		
		12%	14%	16%
3 th	1	0.85	0.87	1.12
	2	0.85	1.09	1.07
4 th	1	1.02	0.95	1.23
	2	0.93	1.09	1.09
7 th	1	0.97	1.04	1.96
	2	0.93	1.44	1.39

b. *Eucalyptus urophylla* Blake.

Umur (A)	Ulangan	Konsentrasi Na_2SO_3 (B)		
		12%	14%	16%
5 th	1	0.83	1.23	1.25
	2	0.88	1.19	1.25
7 th	1	1.45	1.43	1.47
	2	1.42	1.50	1.53





Lampiran 8. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Indeks Retak (lanjutan)

2. Analisa Sidik Ragam Nilai Indeks Retak

Sumber	db	SS	MS	F	F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.						
Perlakuan	8	0.950	0.119	3.656	3.23	5.47
A	2	0.320	0.160	4.928*	4.26	8.02
B	2	0.450	0.225	6.931*	4.26	8.02
AB	4	0.180	0.045	1.383	3.63	6.42
Kekeliruan	9	0.292	0.032			
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.						
Perlakuan	5	0.586	0.117	104.130	4.39	8.75
A	1	0.392	0.392	348.799**	5.99	13.75
B	2	0.122	0.061	54.139**	5.14	10.92
AB	2	0.072	0.032	31.786**	5.14	10.92
Kekeliruan	6	0.007	0.001			

Keterangan :

- ** : sangat berpengaruh nyata
- * : berpengaruh nyata

3. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Taraf Dalam Perlakuan Umur Kayu *Acacia mangium* Willd. dan *Eucalyptus urophylla* Blake.

Umur Kayu (tahun)	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
7	1.288	A	A
4	1.052	B	A
3	0.975	B	A
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
7	1.467	A	A
5	1.105	B	B

Lampiran 8. Data Hasil Pengujian Analisa Statistik Indeks Retak (lanjutan)

4. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Taraf Dalam Perlakuan Konsentrasi Natrium Sulfit

Konsentrasi (%)	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
16	1.310	A	A
14	1.080	AB	A
12	0.925	B	A
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
16	1.375	A	A
14	1.338	A	A
12	1.145	B	B

5. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Kombinasi Perlakuan

Kombinasi	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
A2B3	1.500	A	A
A2B2	1.465	A	A
A2B1	1.435	A	A
A1B3	1.250	B	B
A1B2	1.210	B	B
A1B1	0.855	C	C

Lampiran 9. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Ketahanan Lipat

1. Data Hasil Pengujian Ketahanan Lipat

a. *Acacia mangium* Willd.

Umur (A)	Ulangan	Konsentrasi Na_2SO_3 (B)		
		12%	14%	16%
3 th	1	2.5	3.5	4.0
	2	2.8	3.8	3.8
4 th	1	2.5	3.0	3.0
	2	2.8	2.8	3.3
7 th	1	2.5	2.5	3.5
	2	2.3	2.8	3.8

b. *Eucalyptus urophylla* Blake.

Umur (A)	Ulangan	Konsentrasi Na_2SO_3 (B)		
		12%	14%	16%
5 th	1	2.5	3.5	4.5
	2	2.5	3.8	4.3
7 th	1	2.5	2.5	2.5
	2	2.5	2.8	2.8

Lampiran 9. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Ketahanan Lipat (lanjutan)

2. Analisa Sidik Ragam Nilai Ketahanan Lipat

Sumber	db	SS	MS	F	F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.						
Perlakuan	8	4.750	0.594	19.000	3.23	5.47
A	2	1.000	0.500	16.000**	4.26	8.02
B	2	3.000	1.500	48.000**	4.26	8.02
AB	4	0.750	0.188	6.000*	3.63	6.42
Kekeliruan	9	0.280	0.031			
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.						
Perlakuan	5	6.104	1.221	58.600	4.39	8.75
A	1	2.521	2.521	121.000**	5.99	13.75
B	2	2.042	1.021	49.000**	5.14	10.92
AB	2	1.542	0.771	37.000**	5.14	10.92
Kekeliruan	6	0.125	0.021			

Keterangan :

- ** : sangat berpengaruh nyata
- * : berpengaruh nyata

3. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Taraf Dalam Perlakuan Umur Kayu *Acacia mangium* Willd. dan *Eucalyptus urophylla* Blake.

Umur Kayu (tahun)	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
3	3.375	A	A
4	2.875	B	B
7	2.875	B	B
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
5	3.500	A	A
7	2.583	B	A



Lampiran 9. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Ketahanan Lipas (lanjutan)

4. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Taraf Dalam Perlakuan Konsentrasi Natrium Sulfit

Konsentrasi (%)	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
16	3.542	A	A
14	3.042	B	B
12	2.542	C	C
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
16	3.500	A	A
14	3.125	B	A
12	2.500	C	B

5. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Kombinasi Perlakuan

Kombinasi	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
A1B3	3.875	A	A
A1B2	3.625	A	AB
A3B3	3.625	A	AB
A2B3	3.125	B	BC
A2B2	2.875	BC	C
A1B1	2.625	C	C
A2B1	2.625	C	C
A3B2	2.625	C	C
A3B1	2.375	C	C
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
A1B3	4.375	A	A
A1B2	3.625	B	B
A2B3	2.625	C	C
A2B2	2.625	C	C
A2B1	2.500	C	C
A1B1	2.500	C	C

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

1. Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dirang mengu sebagai inisi seluruh karya tulis tanpa mencantumkan dan me elakkan sumber
 a. Pengujian hasil 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 10. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Faktor Ring Crush

Data Hasil Pengujian Nilai Faktor Ring Crush

a. *Acacia mangium* Willd.

Umur (A)	Ulangan	Konsentrasi Na_2SO_3 (B)		
		12%	14%	16%
3 th	1	6.17	7.48	8.90
	2	6.78	7.24	8.79
4 th	1	6.55	7.72	9.18
	2	6.25	8.14	9.37
7 th	1	6.43	8.59	9.19
	2	6.62	8.52	9.67

b. *Eucalyptus urophylla* Blake.

Umur (A)	Ulangan	Konsentrasi Na_2SO_3 (B)		
		12%	14%	16%
5 th	1	7.20	9.00	9.70
	2	7.16	8.94	9.24
7 th	1	6.93	9.96	10.98
	2	7.33	10.24	11.28

@dtk 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.

Lampiran 10. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Faktor Ring Crush (lanjutan)

2. Analisa Sidik Ragam Nilai Faktor Ring Crush

Sumber	db	SS	MS	F	F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.						
Perlakuan	8	32.072	4.009	71.189	3.23	5.47
A	2	2.780	1.390	24.682**	4.26	8.02
B	2	27.946	13.973	248.118**	4.26	8.02
AB	4	1.347	0.337	5.978	3.63	6.42
Kekeliruan	9	0.507	0.056			
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.						
Perlakuan	5	25.556	5.111	112.629	4.39	8.75
A	1	2.507	2.507	55.252**	5.99	13.75
B	2	21.513	10.756	237.033**	5.14	10.92
AB	2	1.535	0.768	16.913**	5.14	10.92
Kekeliruan	6	0.272	0.045			

Keterangan :

** : sangat berpengaruh nyata

3. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Taraf Dalam Perlakuan Umur Kayu *Acacia mangium* Willd. dan *Eucalyptus urophylla* Blake.

Umur Kayu (tahun)	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
7	8.504	A	A
4	7.868	B	B
3	7.560	B	B
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
7	9.456	A	A
5	8.542	B	B

Lampiran 10. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Faktor Ring Crush (lanjutan)

4. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Taraf Dalam Perlakuan Konsentrasi Natrium Sulfit

Konsentrasi (%)	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
16	9.518	A	A
14	7.948	B	B
12	6.466	C	C
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
16	10.301	A	A
14	9.538	B	B
12	7.157	C	C

5. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Kombinasi Perlakuan

Kombinasi	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
A3B3	10.431	A	A
A2B3	9.277	B	B
A1B3	8.845	BC	B
A3B2	8.553	C	BC
A2B2	7.930	D	CD
A1B2	7.361	E	D
A3B1	6.528	F	E
A1B1	6.474	F	E
A2B1	6.397	F	E
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
A2B3	11.132	A	A
A2B2	10.104	B	B
A1B3	9.471	C	BC
A1B2	8.972	C	C
A1B1	7.183	D	D
A2B1	7.132	D	D

lampiran 11. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Faktor Concora (lanjutan)

2. Analisa Sidik Ragam Nilai Faktor Concora

Sumber	db	SS	MS	F	F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.						
Perlakuan	8	12.041	1.505	59.621	3.23	5.47
A	2	5.138	2.569	101.768**	4.26	8.02
B	2	6.489	3.245	128.527**	4.26	8.02
AB	4	0.414	0.103	4.096*	3.63	6.42
Kekeliruan	9	0.227	0.025			
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.						
Perlakuan	5	14.012	2.802	165.412	4.39	8.75
A	1	1.275	1.275	75.235**	5.99	13.75
B	2	11.430	5.715	337.310**	5.14	10.92
AB	2	1.308	0.654	38.603**	5.14	10.92
Kekeliruan	6	0.102	0.017			

Keterangan :

** : sangat berpengaruh nyata

3. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Taraf Dalam Perlakuan Umur Kayu *Acacia mangium* Willd. dan *Eucalyptus urophylla* Blake.

Umur Kayu (tahun)	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
3	4.795	A	A
4	3.995	B	B
7	3.500	C	C
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
5	6.258	A	A
7	5.606	B	B

Lampiran 11. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Faktor Concora (lanjutan)

2. Analisa Sidik Ragam Nilai Faktor Concora

Sumber	db	SS	MS	F	F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.						
Perlakuan	8	12.041	1.505	59.621	3.23	5.47
A	2	5.138	2.569	101.768**	4.26	8.02
B	2	6.489	3.245	128.527**	4.26	8.02
AB	4	0.414	0.103	4.096*	3.63	6.42
Kekeliruan	9	0.227	0.025			
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.						
Perlakuan	5	14.012	2.802	165.412	4.39	8.75
A	1	1.275	1.275	75.235**	5.99	13.75
B	2	11.430	5.715	337.310**	5.14	10.92
AB	2	1.308	0.654	38.603**	5.14	10.92
Kekeliruan	6	0.102	0.017			

Keterangan :

** : sangat berpengaruh nyata

3. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Taraf Dalam Perlakuan Umur Kayu *Acacia mangium* Willd. dan *Eucalyptus urophylla* Blake.

Umur Kayu (tahun)	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
3	4.795	A	A
4	3.995	B	B
7	3.500	C	C
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
5	6.258	A	A
7	5.606	B	B

Lampiran 11. Data Hasil Pengujian dan Analisa Statistik Faktor Concora (lanjutan)

4. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Taraf Dalam Perlakuan Konsentrasi Natrium Sulfit

Konsentrasi (%)	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
16	4.803	A	A
14	4.151	B	B
12	3.335	C	C
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
16	7.026	A	A
14	6.114	B	B
12	4.656	C	C

5. Uji Jarak Berganda S-N-K Terhadap Kombinasi Perlakuan

Kombinasi	Rataan	Rangking	
		F.05	F.01
<i>Acacia mangium</i> Willd.			
A1B3	5.657	A	A
A1B2	4.587	B	B
A2B3	4.532	B	B
A3B3	4.219	B	BC
A2B2	4.150	B	BC
A1B1	4.142	B	BC
A3B2	3.717	C	CD
A2B1	3.303	D	D
A3B1	2.560	E	E
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake.			
A1B3	7.079	A	A
A2B3	6.973	A	A
A1B2	6.248	B	B
A2B2	5.980	B	B
A1B1	5.447	C	C
A2B1	3.866	D	D