



TESIS - TK 142541

**PENGARUH ACTIVE *ALKALI CHARGE* TERHADAP
DELIGNIFIKASI DAN DEGRADASI FIBER PADA
PROSES *PULPING***

VEBRIA ARDINA
02211650010002

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Danawati Hari Prajitno, M.Pd
Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNOLOGI PROSES
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



THESIS - TK 142541

**ACTIVE ALKALI CHARGE EFFECT on
DELIGNIFICATION and DEGRADATION of FIBER
IN PULPING PROCESS**

VEBRIA ARDINA
02211650010002

SUPERVISOR
Prof. Dr. Ir. Danawati Hari Prajitno, M.Pd
Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA

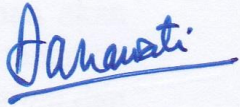
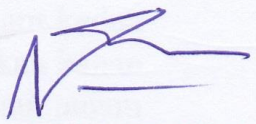
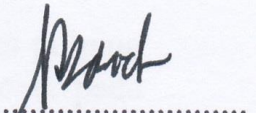
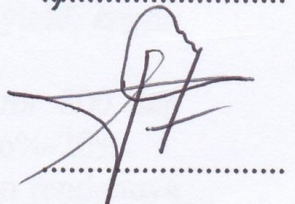
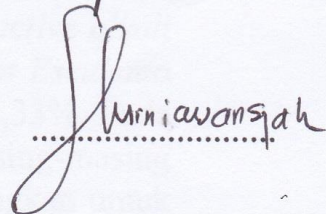
MASTER PROGRAM
PROCESS TECHNOLOGY
CHEMICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
Vebria Ardina
NRP. 02211650010002

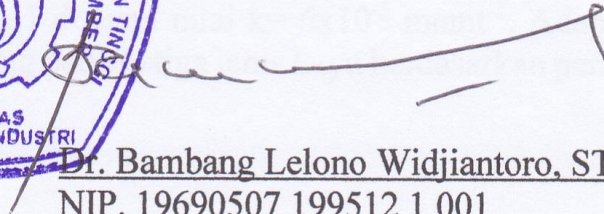
Tanggal Ujian : 10 Juli 2018
Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh :

- | | | |
|--|----------------|---|
| 1. Prof. Dr. Ir. Danawati Hari Prajitno, M. Pd
NIP. 19510729 198603 2 001 | (Pembimbing 1) |  |
| 2. Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA
NIP. 19500428 197903 1 002 | (Pembimbing 2) |  |
| 3. Prof. Dr. Ir. M. Rachimoellah, Dipl. EST.
NIP. 19491117 197612 1 001 | (Penguji 1) |  |
| 4. Dr. Ir. Sumarno, M.Eng.
NIP. 19640608 199102 1 001 | (Penguji 2) |  |
| 5. Firman Kurniawansyah, ST., M.Eng.Sc., Ph.D
NIP. 19770529 200312 1 002 | (Penguji 3) |  |



Dekan Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, ST., MT
NIP. 19690507 199512 1 001

PENGARUH *ACTIVE ALKALI CHARGE* TERHADAP DELIGNIFIKASI DAN DEGRADASI FIBER PADA PROSES *PULPING*

Nama Mahasiswa : Vebria Ardina
NRP : 02211650010002
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Danawati Hari Prajitno, M. Pd
Co-Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA

ABSTRAK

Sejalan dengan perkembangan industri pulp dan kertas, kebutuhan akan bahan baku pulp juga meningkat. Bahan baku pulp umumnya berasal dari tanaman kayu lebar dan tanaman kayu berdaun jarum. Untuk saat ini *Acacia Mangium* dan *Eucalyptus Pellita* berumur 5 tahun merupakan bahan baku digunakan untuk pembuatan pulp di Indonesia. Permasalahan dilapangan adalah daur tanam kedua kayu ini yang masih dianggap terlalu panjang sehingga perlu dikembangkan bahan baku alternatif lain yang memiliki karakteristik serat yang mirip dengan daur tanam yang lebih pendek. Salah satu alternatif bahan baku yang bisa digunakan adalah limbah batang singkong (*Manihot Esculenta Crantz*).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh proses pulping chip *Acacia Mangium*, *Eucalyptus Pellita* dan *Manihot Esculenta Crantz* pada variasi *active alkali charge* yang berbeda terhadap total yield, screen yield, *kappa number* dan viskositas. Proses pulping ini menggunakan proses kraft.

Proses pemasakan dilakukan pada temperatur 165°C, *H-Factor* 800 dan *liquid ratio* 1:3,5, sulfiditas 25% dengan variasi *active alkali charge* 16%-20%.

Tingginya *active alkali charge* yang digunakan mengakibatkan rendahnya yield pulp yang terbentuk. Nilai total yield paling tinggi adalah pada *active alkali charge* 17%, untuk *Acacia Mangium*, *Eucalyptus Pellita* dan *Manihot Esculenta Crantz* masing-masing didapatkan total yield 54,01%, 53,2% dan 41,33%. Pada nilai *active alkali charge* 16% nilai total yield lebih rendah, pada masing-masing kayu didapatkan nilai total yield 51,71%, 53,14% dan 41,11%. Sedangkan untuk *active alkali charge* 18-20% nilai total yield masing-masing sampel menurun. Pada nilai screen yield juga didapatkan kecenderungan yang sama seperti nilai total yield. Pada tingkatan *active alkali charge* 17-20% pada *Acacia Mangium* dan *Eucalyptus Pellita* sudah memenuhi standar nilai *kappa number* yaitu ≤ 18 , sedangkan pada *Manihot Esculenta Crantz* dengan *active alkali charge* 17-20% masih cukup tinggi yaitu antara 24,24 dan 18,74. Harga viskositas yang tinggi pada *active alkali charge* yang rendah karena kerapatan atau ikatan antar serat yang tetap baik, walaupun selulosa ikut terdegradasi oleh cairan pemasak. Untuk kinetika proses delignifikasi bahan baku mengikuti reaksi orde 1 dengan nilai $k = 6 \times 10^{-5} \text{ menit}^{-1}$. Adapun laju pengurangan lignin yang terkandung pada ketiga jenis kayu berdasarkan persamaan $-r = 6.10^{-5}L$.

Kata kunci : *Active alkali charge*, proses kraft, delignifikasi

ACTIVE ALKALI CHARGE EFFECT on DELIGNIFICATION and FIBER DEGRADATION in PULPING PROCESS

Nama Mahasiswa : Vebria Ardina
NRP : 02211650010002
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Danawati Hari Prajitno, M. Pd
Co-Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA

ABSTRACT

The increasing of pulp raw material needs because of the growth of pulp and paper industry. In Indonesia, 5- year old of *Acacia Mangium* and *Eucalyptus Pellita* has been used as pulp raw material. The long planting cycle of the wood was a major problem. Hence, it needs to developed alternative raw material which has similliar fiber characteristic and shorter planting cycle. 8-10- month old of *Manihot Esculenta Crantz* was used as alternative raw material.

The objective of this research was to evaluate the active alkali charge effect on total yield, screen yield, kappa number and viscosity in kraft pulping. The cooking was done in a rotating digester *Haato* 6 chambers and 300 gram of dry mass chips were used, with sulfidity 25%, temperature 165°C, H-factor 800, ratio between chips and liquid was 1 : 3,5 and active alkali varied at 16, 17, 18,19 and 20%.

The increasing active alkali charge affect the decreasing pulp yield. This was due to the increasing rate of delignification. For *Acacia Mangium*, *Eucalyptus Pellita* and *Manihot Esculenta Crantz*, the maximum value of total yield was 54,01, 53,2 and 41,33% respectively. The pulp screened yield indicates that decreased from 53,7 to 52,25% for *Acacia Mangium*, 53,0 to 50,6% for *Eucalyptus Pellita* and 41,07 to 37,89 for *Manihot Esculenta Crantz* when active alkali charge increased. The high kappa number indicates that the high lignin content in the pulp produced after cooking process. Kappa number was decreased from 19,0 to 16,8 for *Acacia Mangium* and 16,69 to 13,4 for *Eucalyptus Pellita* and 25,82 to 18,74 when active alkali charge increased. The decreased of kappa number was caused by excessive used of active alkali charge. It damages cellulose fibers not only lignin but also cellulose was dissolved in the liquors. The decreased of viscosity from 818 to 378 ml/g for *Acacia Mangium* and 697 to 426,8 ml/g for *Eucalyptus Pellita*, 697 to 571,5 ml/gr for *Manihot Esculenta Crantz* when active alkali charge increased. The wood delignification process kinetics was follow first order reaction with $k=6 \times 10^{-5} \text{ minutes}^{-1}$ whereas the loss of lignin rate was $-r = 6.10^{-5}L$.

Keyword : Active alkali charge, kraft process, delignification

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan kepada Allah SWT, atas berkat rahmat dan karunia-Nya laporan tesis dengan judul “Pengaruh *Active Alkali Charge* terhadap Delignifikasi dan Degradasi Fiber pada Proses Pulping” yang merupakan salah satu syarat dalam rangka menyelesaikan program Magister Teknik Kimia di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dapat terselesaikan.

Keberhasilan penulisan tesis ini tidak lepas dari dorongan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Danawati Hari Prajitno, M.Pd. dan Bapak Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA. selaku tim dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan intensif, masukan dan saran selama pengerjaan tesis.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. M. Rachimoellah, Dipl. EST, Bapak Dr. Ir. Sumarno, M. Eng dan Bapak Firman Kurniawansyah, ST., M.Eng.Sc., Ph.D. selaku tim dosen penguji yang telah memberikan saran selama proses ujian sehingga penulis dapat menyusun buku tesis ini.
3. Bapak Juwari S.T., M.Eng., Ph. D. selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTI-ITS dan Bapak Dr. Tantular Nurtono ST., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Teknik Kimia FTI-ITS.
4. Bapak dan Ibu Dosen Pengajar serta seluruh karyawan Departemen Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.
5. Dinas Pendidikan Provinsi Jambi yang telah memberikan bantuan Beasiswa Pascasarjana bagi penulis.
6. Ayah, Ibu dan adik tercinta yang selalu mendoakan penulis sehingga Allah SWT memberikan kemudahan dan kelancaran dalam penyelesaian laporan thesis ini.
7. Bapak Bambang Irawan selaku rekan group riset laboratorium yang telah memberi bantuan dan kerjasamanya.

8. Semua teman-teman Laboratorium Teknik Reaksi Kimia yang telah membantu dan memberikan support pada penulis.
9. Teman-teman pascasarjana 2016/2017 yang telah membantu dan memberikan support kepada penulis
10. Semua pihak yang telah membantu dalam proses penelitian dan penyusunan laporan ini.

Semoga segala kebaikan dan keikhlasan yang telah diberikan mendapat balasan dari Allah SWT. Penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan dan untuk penelitian di masa yang akan datang.

Akhir kata semoga tesis ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat untuk sekarang dan masa mendatang. Penulis menyadari dalam penulisan tesis ini banyak terdapat kekurangan, sehingga saran dan kritik yang membangun dari pembaca sangat diperlukan.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

Halaman Judul	
Lembar Pengesahan	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR NOTASI/SIMBOL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1.Latar Belakang.....	1
1.2.Rumusan Masalah	4
1.3.Tujuan Penelitian.....	5
1.4.Manfaat Penelitian.....	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA dan DASAR TEORI	7
2.1. Pulp.....	7
2.2. Bahan Baku Pulp	7
2.3. Syarat Tanaman Bahan Baku Pembuat Pulp.....	7
2.4. <i>Acacia Mangium</i>	9
2.5. <i>Eucalyptus Pellita</i>	11
2.6. <i>Manihot Esculenta Crantz</i>	12
2.7. Komponen Kimia Kayu.....	14
2.7.1. Selulosa.....	14
2.7.2. Hemiselulosa	15
2.7.3. Lignin	16
2.7.4. Zat ekstraktif	17
2.8. Proses Pulping	18
2.8.1. Proses Kraft	19
2.9. Proses Delignifikasi dan Degradasi Fiber	21
2.9.1. Proses Delignifikasi.....	21
2.9.2. Reaksi Lignin pada Pulping	23
2.9.3. Proses Degradasi Fiber Akibat Temperatur Proses.....	27

2.9.4. Proses Degradasi Fiber Dalam Media Alkali	27
2.10. Variabel yang Mempengaruhi Proses Pembuatan Pulp	28
2.10.1. <i>Active Alkali Charge</i>	28
2.10.2. Sulfiditas.....	29
2.10.3. <i>H- factor</i>	29
2.10.4. Rasio.....	29
2.10.5. Temperatur Pemasakan	30
2.11. Analisa Kualitas Pulp.....	30
2.11.1. <i>Kappa Number</i>	30
2.11.2. <i>Brightness</i>	31
2.11.3. Viskositas	31
2.12. Penelitian terdahulu.....	33
BAB 3 METODA PENELITIAN	39
3.1. Rancangan Penelitian	39
3.2. Bahan dan Alat	39
3.2.1. Bahan yang digunakan dalam proses <i>cooking</i>	39
3.2.2. Alat yang digunakan.....	39
3.3. Variabel Penelitian	42
3.3.1. Variabel Tetap	42
3.3.2. Variabel berubah	42
3.4. Prosedur Penelitian	43
BAB 4 HASIL dan PEMBAHASAN	45
4.1. Analisa Densitas Kayu	45
4.2. Proses <i>Cooking</i> Chip Kayu	45
4.3. Analisa Kelarutan NaOH 1%	53
4.4. Analisa Kandungan Lignin dalam Pulp	54
4.5. Kinetika Proses Delignifikasi Acacia Mangium, Eucalyptus Pellita dan Manihot Esculenta Crantz	55
BAB 5 KESIMPULAN	59
5.1 Kesimpulan	59
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN A	67
LAMPIRAN B	73
LAMPIRAN C	77
BIOGRAFI PENULIS	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Persyaratan Sifat Kayu untuk Bahan Baku Pulp.....	8
Tabel 2.2. Klasifikasi Panjang Serat Menurut <i>International Association Of Wood Anatomy (IAWA)</i>	8
Tabel 2.3. Komponen Kimia Kayu Daun Lebar (<i>Hardwood</i>) dan Kayu Daun Jarum (<i>Softwood</i>).....	9
Tabel 2.4. Densitas Kayu <i>Acacia Mangium</i>	11

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 <i>Acacia Mangium</i>	10
Gambar 2.2 <i>Eucalyptus Pellita</i>	12
Gambar 2.3 Singkong Gajah (<i>Manihot Esculenta Crantz</i>)	13
Gambar 2.4 Struktur Selulosa	14
Gambar 2.5. Struktur Hemiselulosa	15
Gambar 2.6. Struktur Lignin	17
Gambar 2.7. Perubahan Kandungan Polisakarida dan Lignin selama Tahap <i>Initial (ID)</i> , <i>Bulk (BD)</i> dan <i>Residual (RD)</i> pada <i>kraft pulping</i>	22
Gambar 2.8. Beberapa Kemungkinan Sisi Reaktif Pada Lignin <i>Softwood</i>	24
Gambar 2.9. struktur fenolik dan eterifikasi lignin (non fenolik)	25
Gambar 2.10. Pemutusan fenolik β -O-4 linkages selama <i>initial delignification</i> (selama pemanasan)	26
Gambar 2.11. Reaksi berlawanan- pembentukan struktur enol eter	27
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian	39
Gambar 3.2. Digester Haato dengan 6 tabung (<i>chambers</i>)	40
Gambar 3.3. Skema kerja Digester Haato <i>chambers</i>	41
Gambar 3.4. Posisi <i>Chamber</i> dalam Digester tampak samping	41
Gambar 3.5. <i>Screen somerville</i>	42
Gambar 4.1. Pengaruh <i>Active Alkali Charge</i> terhadap Total Yield	46
Gambar 4.2. Pengaruh <i>Active Alkali Charge</i> (%) terhadap Screen Yield (%).....	47
Gambar 4.3. Pengaruh <i>Active Alkali Charge</i> (%) terhadap <i>Kappa Number</i>	49
Gambar 4.4. Pengaruh <i>Active Alkali Charge</i> (%) terhadap <i>Viscosity</i> (ml/g).....	51
Gambar 4.5. Pengaruh <i>Viskositas</i> (%) terhadap <i>KaNo</i> (ml/g)	52
Gambar 4.6. Pengaruh <i>Active Alkali Charge</i> (%) terhadap derajat polimerisasi	53
Gambar 4.7. Pengaruh Nilai <i>Kappa Number</i> terhadap kadar lignin (%) dalam pulp	54
Gambar 4.8. Plot data waktu terhadap $\ln L_0/L$ pada kayu <i>Acacia Mangium</i> dengan <i>Active Alkali Charge</i> 17%	56

Gambar 4.9. Plot data waktu terhadap $\ln L_0/L$ pada kayu <i>Eucalyptus Pellita</i> dengan Active Alkali Charge 17%	56
Gambar 4.10. Plot data waktu terhadap $\ln L_0/L$ pada kayu <i>Manihot Esculenta</i> <i>Crantz</i> dengan Active Alkali Charge 17%	57

DAFTAR NOTASI dan ISTILAH

A	Berat sampel sebelum ekstraksi (gr)
AD	Air dried
B	Berat sampel setelah ekstraksi (gr)
C	konstanta viskometer
D	Berat chips (b-c)
DP	Derajat Polimerisasi
f	Faktor koreksi pada pemakaian 50% kalium permanganat
F KMNO ₄	Faktor KMNO ₄
F Na ₂ S ₂ O ₃	Faktor Na ₂ S ₂ O ₃
F temperatur	Faktor koreksi temperatur pada saat titrasi
K, α	Konstanta Mark-Kuhn-Houwink ($K=9,8 \times 10^{-3}$ dan $\alpha=0,9$)
L	Lignin
S	Kelarutan NaOH 1 %
t	Waktu (detik)
v	volume sampel yang diambil (ml)
o.d.	Oven dry
η	konstanta viskometer; viskositas intrinsik α -Selulosa
Active alkali charge	Total jumlah active alkali yang ditambahkan selama proses
H-factor	Variabel yang menggambarkan waktu dan temperatur pada proses pulping
KaNo	<i>Kappa number</i> ; Jumlah konsumsi permanganat dalam sampel <i>pulp</i> yang mengandung lignin yang belum bereaksi.
<i>Reject</i>	Fiber yang tidak terdelignifikasi dengan baik pada proses pulping
<i>Screen Yield</i>	Total yield dikurangi screening reject
TAPPI	<i>Technical Association for the Pulp, Paper and Converting Industry</i>
Total Yield	Berat pulp setelah proses cooking
Viskositas pulp	tingkat polimerisasi selulosa pada proses pulping
<i>White Liquor</i>	larutan pemasak pada metode sulfat (kraft) dalam bentuk aqueous solution (terdiri dari NaOH, Na ₂ S, Na ₂ SO ₄ , Na ₂ CO ₃)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sejalan dengan perkembangan industri *pulp* dan kertas, kebutuhan akan bahan baku selulosa juga meningkat sehingga diperlukan suatu usaha penyediaan bahan baku yang cukup. Mengutip dari kementerian perindustrian, pada tahun 2017 kebutuhan bahan baku akan mencapai 45 juta meter kubik (m³), naik 27,5% dari tahun lalu yang mencapai 35,3 juta m³. Seperti halnya industri *pulp*, kapasitas produksi kertas pada 2017 juga diprediksi meningkat menjadi 17 juta ton atau naik 22,3% dibandingkan 2013 yang sebanyak 13,9 juta ton. Peningkatan kapasitas terpasang industri *pulp* dan kertas dalam negeri tersebut disebabkan karena kebutuhan kertas dunia yang meningkat rata-rata 2,1% per tahun.

Permen LHK No. P.17/2017 Pasal 8e menyebutkan, perubahan areal tanaman pokok menjadi fungsi lindung, yang telah terdapat tanaman pokok pada lahan yang memiliki izin usaha pemanfaatan hasil hutan kayu (IUPHHK-HTI), tanaman yang sudah ada, dapat dipanen satu daur dan tidak dapat ditanami kembali (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup, 2017). Permen LHK Nomor 17 Tahun 2017 ini mengatur tentang pengelolaan lahan gambut dengan kedalaman lebih dari 3 meter harus diubah statusnya menjadi hutan lindung sehingga diperlukan upaya untuk menghadapi masalah kelangkaan bahan baku maka perlu direncanakan dan diusahakan tanaman lain selain kayu yang secara agroekonomi dan teknologi cukup baik sebagai bahan baku *pulp* dan kertas.

Bahan baku *pulp* umumnya berasal dari tanaman kayu daun dan tanaman kayu berdaun jarum (*coniferus*). Tanaman kayu daun yang biasa disebut *hardwood* adalah tanaman yang memiliki daun sempurna yaitu memiliki tangkai daun, tulang daun dan helai daun. Pengambilan serat dari tanaman ini pada umumnya secara kimia merupakan sumber penghasil serat pendek (*short fiber*). Contoh *hardwood* yaitu: *Eucalyptus Pellita* dan *Acacia mangium* (Casey, 1983). Tanaman kayu berdaun jarum (*coniferus*) yang biasa juga disebut dengan *softwood* adalah tumbuhan yang memiliki daun berbentuk jarum. Tanaman ini

memiliki karakteristik serat yang panjang dan selain itu tanaman berdaun jarum ini mempunyai daun yang tidak sempurna. *Softwood* merupakan bahan baku yang umum digunakan dalam industri *pulp* yang berkualitas tinggi dan akan menghasilkan kekuatan yang sangat baik. Perbedaan yang paling penting dari kedua jenis kayu ini terletak pada panjang seratnya, dimana kayu daun lebar memiliki panjang serat rata-rata 0,6-2,0 mm dan lebar rata-rata 0,01-0,04, sedangkan kayu berdaun jarum 2,0-4,0 mm dan lebar rata-rata 0,02-0,05 mm. Contoh dari kayu jarum yaitu: *Pinus merkussi*, *Picea* (Cemara), *Auricularia* (Smook, 2007).

Bahan baku *pulp* yang umum digunakan adalah kayu *acacia mangium* dan *eucalyptus*. Permasalahan yang terjadi di lapangan adalah daur tanaman yang masih dianggap terlalu panjang yaitu 5-7 tahun (Suhartati, 2014). Oleh karena itu perlu dilakukan pencarian alternatif bahan baku *pulp* yang memiliki karakteristik serat yang mirip dengan daur tanam yang lebih pendek.

Ketersediaan bahan baku yang digunakan sangat menentukan kesinambungan produksi kertas. Salah satu alternatif sebagai bahan baku pembuatan *pulp* yaitu limbah batang singkong (*Manihot Esculenta Crantz*). Singkong mampu beradaptasi pada beragam kondisi lingkungan. Daerah pertanaman singkong mempunyai keragaman lingkungan, baik fisik maupun kimia tanah, serta iklim yang beragam serta masa panen hanya 6-10 bulan. Pemanfaatan tanaman singkong sebagian besar umbinya digunakan untuk kebutuhan pangan. Sedangkan bagian batang hanya 10% dari tinggi batang dimanfaatkan untuk ditanami kembali (sebagai bibit), dan 90% merupakan limbah. Limbah ini dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan produk alfa-selulosa yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku industri : *pulp*, kertas, membran plastik dan sebagainya (Sumada, 2011). Batang singkong merupakan limbah lignoselulosa, saat ini banyak diteliti kemungkinan alfa-selulosa sebagai sumber bioenergi terbarukan. Lignoselulosa terdiri dari tiga komponen utama yaitu alfa-selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Limbah batang *Manihot esculenta Crantz* (Singkong) mengandung α -selulosa yang cukup besar. Berdasarkan analisa laboratorium diketahui batang tanaman mengandung 56,82% α -selulosa, lignin 21,72%, ADF 21,45% dan panjang serat 0,05 – 0,5 cm.

Secara umum proses pembuatan *pulp* dibagi menjadi tiga jenis yaitu mekanis, semikimia, dan kimia. Setiap proses memiliki karakteristik tersendiri dalam hal *yield*, tenaga yang dibutuhkan (terutama untuk proses mekanik), dan beban bagi pengolahan limbah (*effluent*). Tiap-tiap proses juga memiliki sifat-sifat *pulp* yang tersendiri, kuantitas *pulp* tertinggi dihasilkan dari proses mekanis, sedangkan untuk kualitas proses kimia memberikan hasil yang terbaik. Proses kimia, seluruh proses pembuatan *pulp* mulai dari pemutusan ikatan lignoselulosa pada *chips* kayu hingga pencucian menggunakan zat kimia. Beberapa proses yang termasuk kedalam proses kimia secara umum adalah sulfat, sulfit dan soda (Abdel-Aal, 2013)

Proses sulfat merupakan penyempurnaan proses soda, kata sulfat pada proses sulfat mengacu pada agen pemasak yang paling aktif, sedangkan yang lainnya menggunakan sodium hidroksida dan sodium sulfat sebagai agen aktifnya. Pada proses *kraft*, campuran natrium sulfida dan natrium hidroksida digunakan sebagai larutan pemasak. Sulfida mempercepat proses delignifikasi sehingga *chips* bersentuhan dengan alkali panas dengan waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan proses soda. Hal tersebut mengakibatkan *pulp* yang dihasilkan lebih kuat. Proses *kraft* lebih baik dari proses soda pada bagian produksi *pulp*, *yield*, kualitas, dan ongkos produksi. Proses *kraft* juga memiliki keunggulan dibandingkan dengan proses sulfit yaitu hampir seluruh jenis kayu dapat dijadikan sebagai bahan baku, waktu pemasakan lebih pendek, dan *pulp* yang dihasilkan memiliki kekuatan yang baik. Keunggulan lain dari proses *kraft* adalah proses pengambilan kembali cairan pemasak yang mudah dilakukan, kulit kayu yang masih melekat pada *chips* masih bisa ditoleransi, dan dapat menghasilkan produk samping yang bernilai tergantung pada jenis kayu yang digunakan (Fengel & Wegener, 1995).

Proses delignifikasi bertujuan untuk memisahkan lignin yang terdapat dalam serat/kayu. Kemudahan suatu bahan untuk diproses menjadi *pulp* sangat bergantung pada jumlah lignin yang terdapat dalam bahan baku dan reaktifitasnya. Kadar lignin secara kuantitatif merupakan faktor yang banyak berpengaruh terhadap konsumsi bahan kimia selama proses delignifikasi.

Pulp adalah hasil pemisahan serat dari bahan baku berserat. *Pulp* merupakan bubur kayu sebagai bahan dasar dalam pembuatan kertas. Secara

umum prinsip pembuatan *pulp* merupakan proses pemisahan selulosa terhadap *impurities* bahan-bahan dari senyawa yang dikandung oleh kayu di antaranya lignin.

Pada proses pembuatan *pulp* salah satu dampak negatif yang dihasilkan adalah terbentuknya produk fiber yang tidak memenuhi standar karena peristiwa degradasi fiber sebagai akibat tidak selektifnya tahapan delignifikasi pada proses *pulping*. Peristiwa degradasi fiber dan delignifikasi ini bisa terjadi pada proses *cooking* maupun proses *bleaching*. Menurut Gulichsen (2000) secara umum hasil degradasi fiber pada proses *pulping* terbagi dalam bentuk serat dengan ukuran yang kecil yang disebut dengan *fine fiber*.

Tujuan dari proses *cooking* adalah untuk memisahkan serat dalam kayu secara kimia dan melarutkan sebagian besar lignin yang terdapat dalam dinding serat atau untuk memasak chip sesuai dengan target *kappa number* yang diinginkan. *Active alkali charge* tersebut secara selektif akan melarutkan lignin yang terdapat dalam kayu. Banyaknya *white liquor* yang ditambahkan dalam proses pemasakan dinyatakan dengan nilai *active alkali charge*. Pada saat proses pemasakan berlangsung, kebutuhan *active alkali* merupakan salah satu variabel yang perlu diperhatikan. Pemakaian *white liquor* dalam proses pemasakan sangat penting untuk menghasilkan *pulp* yang berkualitas baik. *Active alkali charge* dalam *white liquor* berguna untuk mendegradasi lignin dan senyawa lainnya (*extractive*) dalam kayu dan melarutkan gugus gula sederhana yang masih bersatu dalam *pulp*. Selulosa dan hemiselulosa tetap dipertahankan dalam kayu.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di dalam latar belakang, permasalahan permasalahan yang dapat diangkat dalam penelitian ini adalah:

1. Total *yield* (%), *screen yield* (%), *kappa number* dan viskositas proses *pulping* chip *Acacia Mangium*, *Eucalyptus Pellita* dan *Manihot Esculenta Crantz* dipengaruhi oleh variasi *active alkali charge*.
2. Proses delignifikasi untuk mengurangi degradasi fiber pada *pulp* dipengaruhi oleh *active alkali charge* yang berbeda.

3. Kondisi terbaik *kraft pulping process* chip *manihot esculenta crantz* bergantung pada *active alkali charge* antara 16%-20%.
4. Kinetika proses delignifikasi pada kayu *Acacia Mangium, Eucalyptus Pellita Dan Manihot Esculenta Crantz*

1.3. Tujuan Penelitian

Berkaitan dengan masalah yang telah dirumuskan di atas, maka tujuan penelitian ini adalah untuk:

1. Mempelajari pengaruh proses *pulping* chip kayu *Acacia Mangium, Eucalyptus Pellita* dan *Manihot Esculenta Crantz* pada variasi *active alkali charge* yang berbeda terhadap % total *yield*, % *screen yield*, *kappa number* dan viskositas.
2. Mempelajari pengaruh *active alkali charge* terhadap proses delignifikasi untuk mengurangi degradasi fiber pada *pulp*
3. Mempelajari kondisi terbaik proses *pulping* chip *Manihot Esculenta Crantz* menggunakan metode *kraft pulping process* pada variasi *active alkali charge* dari 16%- 20%.
4. Mempelajari Kinetika proses delignifikasi pada kayu *Acacia Mangium, Eucalyptus Pellita Dan Manihot Esculenta Crantz*

1.4. Manfaat Penelitian

1. Memanfaatkan limbah batang kayu singkong gajah (*Manihot Esculenta Crantz*) sebagai bahan alternatif pengganti kayu *Acacia Mangium* dan *Eucalyptus Pellita* pada proses *pulping*.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan *active alkali charge* terhadap bahan baku kayu yang berbeda dan mendapatkan alternatif bahan baku pembuat *pulp* dari *Manihot Esculenta Crantz* menggunakan Metode *Kraft Pulping*
3. Memperoleh informasi tentang karakteristik serat yang dihasilkan dari proses *pulping* kayu *Manihot Esculenta Crantz*
4. Memperoleh informasi tentang kinetika proses delignifikasi pada kayu *Acacia Mangium, Eucalyptus Pellita Dan Manihot Esculenta Crantz*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA dan DASAR TEORI

2.1. Pulp

Pulp merupakan bubur kayu sebagai bahan dasar dalam pembuatan kertas. Bahan baku *pulp* biasanya mengandung tiga komponen utama, yaitu: selulosa, hemiselulosa, dan lignin. *Pulp* atau yang disebut dengan bubur kertas merupakan bahan pembuatan kertas. Kertas adalah bahan yang tipis dan rata yang dihasilkan dengan kompresi serat yang berasal dari pulp yang mengandung selulosa dan hemiselulosa (Casey,1983).

2.2. Bahan Baku Pulp

Bahan baku *pulp* dapat berasal dari kayu, *bagasse*, lalang, jerami, rumput-rumputan dan bahan-bahan yang mengandung selulosa dan hemiselulosa, sedangkan bahan dasar yang terpenting dalam pembuatan *pulp* adalah selulosa. Kayu sebagai bahan baku pembuatan *pulp* dapat dibedakan atas dua jenis yakni kayu lunak (*softwood*) dan kayu keras (*hardwood*). Komponen kimia kayu dibedakan antara komponen-komponen makromolekul utama dinding sel selulosa, poliosa (hemiselulosa) dan lignin yang terdapat pada semua kayu dan komponen-komponen minor dengan berat molekul kecil (ekstraktif dan zat-zat mineral) yang biasanya lebih berkaitan dengan jenis kayu tertentu dalam jenis dan jumlahnya. Perbandingan dan komposisi kimia lignin dan hemiselulosa berbeda pada kayu lunak dan kayu keras sedangkan selulosa merupakan komponen yang seragam pada semua kayu (Fengel dan Wegener, 1995).

2.3. Syarat Tanaman Bahan Baku Pembuat Pulp

Hampir semua tanaman berserat dapat dibuat menjadi *pulp* tergantung kepada komponen kimia yang terkandung dan sifat fisik serat bahan bakunya. Tabel 2.1 menerangkan syarat sifat-sifat kayu yang digunakan sebagai bahan baku *pulp*

Tabel 2.1. Persyaratan Sifat Kayu untuk Bahan Baku *Pulp*

Sifat Kayu	Kualitas <i>Pulp</i>		
	Baik	Cukup	Kurang
Warna Kayu	Putih-kuning	Coklat-hitam	Hitam
Massa Jenis	< 0,501	0,501-0,600	> 0,600
Panjang Serat (μ)	>1,600	0,900-1,600	< 0,900
Hemiselulosa (%)	> 65	60-65	< 60
Lignin (%)	< 25	25-30	> 30
Zat Ekstraktif (%)	<5	5-7	> 7

(Provenans & Syafii, 2006)

Selain kandungan komponen kimia, panjang serat yang dihasilkan dari bahan baku juga mempengaruhi kualitas *pulp* yang dihasilkan, semakin panjang serat kayu maka *pulp* yang dihasilkan memiliki kekuatan yang tinggi. Lebih lanjut, *pulp* serat panjang lebih sulit lolos saringan, sehingga lebih mudah dicuci. Panjang serat mempengaruhi sifat-sifat tertentu *pulp*, termasuk ketahanan sobek, kekuatan tarik dan daya lipat. Pada Tabel 2.2 dijelaskan klasifikasi panjang serat menurut *Internatinal Association Of Wood Anatomy (IAWA)*.

Tabel 2.2 Klasifikasi Panjang Serat Menurut *Internatinal Association Of Wood Anatomy (IAWA)*

Kelas (Class)	Sub kelas (Sub class)	Selang panjang serat (Interval of fiber length, μ)
Pendek (Short)	Teramat pendek (Extremely very short)	0-500
	Sangat pendek (Very short)	500-700
	Cukup pendek (Fairly short)	700-900
Sedang (Medium)		900-1.600
Panjang (Long)	Cukup Panjang (Fairly long)	1.600-2.200
	Sangat panjang (Very long)	2.200-3.000
	Teramat panjang (extremely very long)	>3.000

(IAWA Journal, 1989)

Pulp terdiri dari serat selulosa yang berasal dari tumbuh-tumbuhan. Serat mempunyai panjang, lebar dan dinding yang bervariasi, tergantung pada jenis dan posisinya dalam suatu pohon serta lokasi tumbuhnya. Di Indonesia banyak terdapat

berbagai jenis tumbuh-tumbuhan yang bisa dijadikan bahan baku pembuatan pulp seperti jabon, sungkai, mangium, karet, dan sengon (Martawijaya dan Barly, 2009). Dalam hal ini kandungan selulosa dan lignin dalam suatu tanaman sangat berpengaruh besar terhadap bahan baku pulp.

Menurut uraian Smook, (1992) secara umum bahan baku untuk pembuatan pulp dipisahkan atas dua kelompok :

a. Kayu Daun Jarum (*Softwood*)

Tanaman kayu daun jarum memiliki daun tidak sempurna karena tidak memiliki tangkai, helai dan urat daun, daunnya berbentuk jarum dan serat yang dihasilkan adalah serat panjang. Contohnya Pinus, Cemara, Aghatis dan lain-lain.

b. Kayu Daun Lebar (*Hardwood*)

Kayu daun lebar biasanya mempunyai ciri-ciri tanaman berdaun sempurna yaitu memiliki tangkai, helai dan urat. Umumnya berdaun lebar dan bentuk daun bulat sampai lonjong. Serat yang dihasilkan adalah serat pendek. Contohnya *Acacia Mangium*, *Eucalyptus sp*, *Albazia sp*, *Peronema Canescens* dan lain-lain.

Kayu daun jarum (*softwood*) dan kayu daun lebar (*hardwood*) masing-masing memiliki kandungan kimia yang berbeda. Pada Tabel 2.3 dijelaskan perbandingan kandungan komponen kimia antara *hardwood* dan *softwood*.

Tabel 2.3. Komponen Kimia Kayu Daun Lebar (*Hardwood*) dan Kayu Daun Jarum (*Softwood*)

Komponen	Golongan Kayu	
	Kayu Daun Lebar (%)	Kayu Daun Jarum (%)
Selulosa	45	42
Lignin	20	28
Pentosan	21-24	8-13
Zat Ekstraktif	5	3
Abu	0,22	0,89

(Dumanauw, 2001)

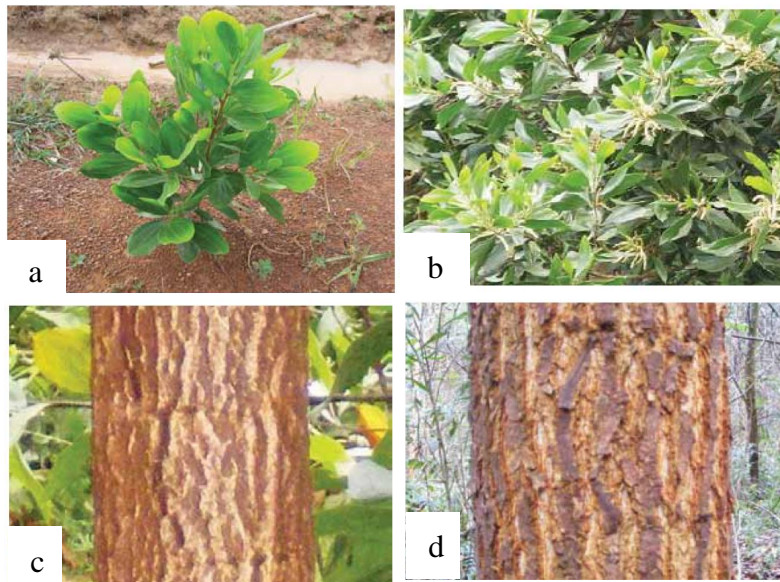
2.4. *Acacia Mangium*

Indonesia memiliki 67% dari total semua tanaman acacia mangium di seluruh dunia. Sekitar 1,3 juta ha digunakan untuk tanaman acacia mangium sebagai bahan baku pulp (Ministry of Forestry, 2003). Klasifikasi *Acacia Mangium* dapat diuraikan sebagai berikut :

Kingdom : *Plantae*
Divisi : *Rancospermae*
Kelas : *Eudicots, Astrids*
Ordo : *Lamiales*
Familia : *Leguminoceae*
Genus : *Acacia*
Spesies : *Acacia mangium*

(Fitri, 2007)

Pada mulanya jenis ini dikelompokkan ke dalam jenis-jenis kayu Hutan Tanam Industri (HTI) untuk memenuhi kebutuhan kayu serat terutama untuk bahan baku industri pulp dan kertas dengan rotasi 6-7 tahun. Ciri tanaman ini adalah bentuk batangnya bulat lurus, bercabang banyak (simpodial), berkulit tebal agak kasar, dan kadang beralur kecil dengan warna coklat muda. Pohon mangium dapat mencapai tinggi 30 m, dengan diameter sampai sebesar 90 cm serta batang bebas cabang 10 –15 m. Rotasi tebang pohon ini mencapai 10 – 20 tahun dengan riap 45 m³/ha/tahun. Pada Gambar 2.1 menampilkan beberapa bentuk daun dan bentuk kulit pohon acacia mangium



Gambar 2.1 *Acacia mangium* (a) daun muda *acacia mangium*, (b) perbungaan *acacia mangium*, (c) kulit muda *acacia mangium* dan (d) kulit tua *acacia mangium* (Sumber Gambar (a), (b), (c) dan (d): Krisnawati, 2011)

Kayu *acacia mangium* ini keras, padat dan relatif lurus. Densitas kayu segar antara 0,40- 0,480 g/cm³ dan kayu kering udara antara 0,50-0,60 g/cm³ (Razali & Kuo,1991). Pada Tabel 2.4 juga terdapat densitas kayu *acacia mangium*. *Acacia mangium* adalah *hardwod* serat pendek. Rata-rata panjang serat tidak lebih dari 1 mm (1000µm) dan rata-rata ketebalan serat antara 3-4µm (Wu et al, 2008).

Tabel 2.4 Densitas Kayu *Acacia Mangium*

Densitas kayu (kg/m ³)			Moisture content (%)	Refferensi
Rendah	Sedang	Tinggi		
500	-	600	-	Abdul-Kader and Sahri (1993)
450	530	690	15	Lemmens et al. (1995)
530	610	660	25	Oey (1964)

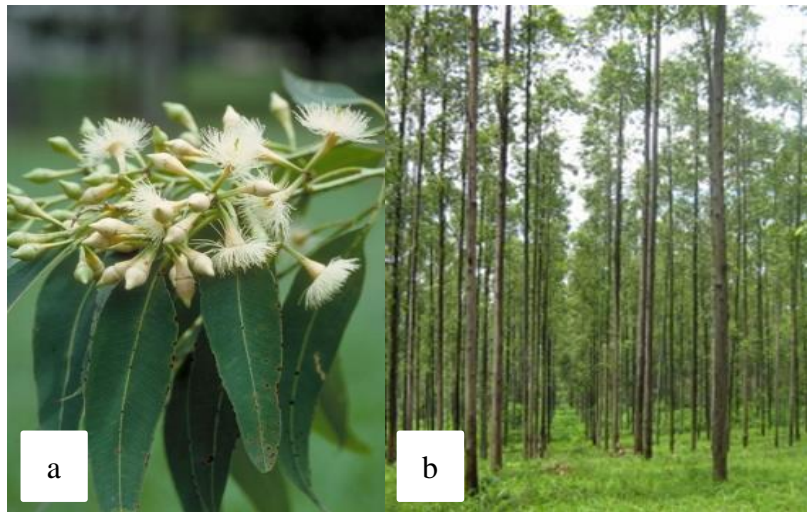
(Abdul-Kader dan Sahri, 1993; Lemmens et al., 1995; Oey, 1964)

2.5. *Eucalyptus Pellita*

Eucalyptus pellita merupakan spesies cepat tumbuh yang mampu beradaptasi dengan lingkungan tropis yang lembab dengan musim kering tidak lebih dari 6 bulan (Hardiyanto, E.B. 2003) Klasifikasi *eucalyptus pellita* adalah :

Kingdom : *Plantae*
 Clade : *Angiosperms*
 Clade : *Eudicots*
 Clade : *Rosids*
 Order : *Myrtales*
 Family : *Myrtaceae*
 Genus : *Eucalyptus*
 Species : *E. pellita*

Tanaman *E. Pelita* umur 6 tahun dapat mencapai tinggi 20 m dan diameter 18 cm (Effendi dan Leksono, 2009). Gambar 2.2 menampilkan gambar bunga dan pohon *eucalyptus pellita*.



Gambar 2.2 *Eucalyptus Pellita*, (a) gambar daun dan bunga *eucalyptus pellita*, (b) *eucalyptus pellita* umur >5 tahun
(Sumber Gambar (a) dan (b): www.worldagroforestry.org)

Informasi tentang sifat-sifat kayu yang baik sebagai bahan baku pulp sangat penting untuk menentukan jenis kayu pulp dan pemuliaan pohon yang berorientasi pada kualitas produksi kayu pulp. Sifat-sifat kayu yang baik untuk bahan baku pulp adalah serat yang lebih panjang dari pada rata-rata jenis, tebal dinding sel memenuhi $2 w/l < 1$ (w = tebal dinding serat; l = diameter lumen), berat jenis dasar lebih rendah dari pada rata-rata jenis, persentase serabut lebih besar dari pada pembuluh, jari-jari dan parenkim, kadar ekstratif rendah, kadar selulosa tinggi dari pada rata-rata jenis dan kadar hemiselulosa cukup. Kayu untuk industri pulp sebaiknya termasuk golongan cepat tumbuh, lurus dan berserat panjang untuk menghasilkan kertas berkualitas tinggi (Sudomo *et al.*, 2007)

2.6. *Manihot Esculenta Crantz*

Manihot esculenta crantz, lebih dikenal sebagai singkong adalah tanaman yang bisa dibudidayakan dan tahan terhadap cuaca ekstrim, tanaman ini dapat ditanam mulai awal musim penghujan hingga musim kemarau. Setelah di tanam umur 2-7 bulan, singkong ini tidak akan mati meskipun tidak ada hujan 3 bulan berturut-turut. Klasifikasi tanaman singkong :

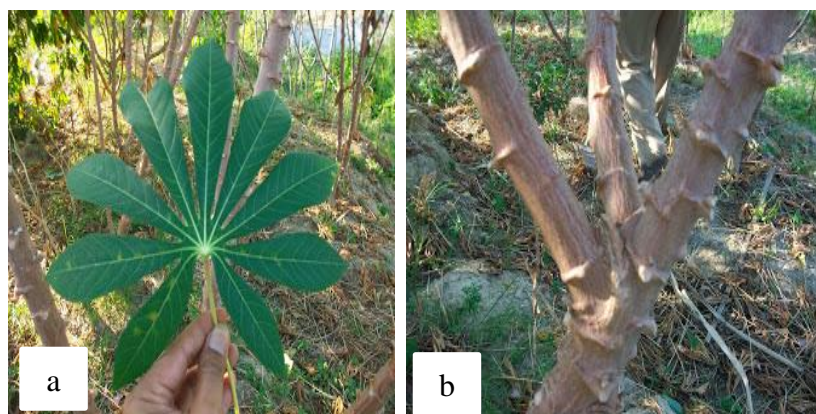
Kingdom : *Plantae*

Subkingdom : *Tracheobionta*

Super Divisi : *Spermatophyta*

Divisi : *Magnoliophyta*
Kelas : *Magnoliopsida*
Sub Kelas : *Rosidae*
Ordo : *Euphorbiales*
Famili : *Euphorbiaceae*
Genus : *Manihot*
Spesies : *Manihot esculenta Crantz*

Sejak tahun 2008, telah ditemukan varietas singkong unggul dengan daya hasil tinggi, mencapai 100 – 160 ton ubi /ha yaitu varietas gajah dari Kalimantan Timur (Sutono dan Amarullah, 2011). Singkong gajah memiliki sifat khas, dimana hasil identifikasi secara keseluruhan didapatkan data sebagai berikut; Daun; pucuk daun (daun muda) berwarna coklat kemerahan, daun dewasa berwarna hijau segar, tangkai daun merah dan umur 2 bulan bulan tumbuh tunas pada batang. Batang; berwarna kecoklatan, tinggi mencapai lebih dari 3 m, pangkal batang bisa mencapai 8 cm. Singkong Gajah berbeda dengan Singkong biasa, batang pohon Singkong Gajah mengalami percabangan sebagaimana Singkong tahunan bahkan percabangannya sampai 5 kali pada umur 11 bulan dan berukuran jauh lebih besar dari batang singkong biasa. Daun Singkong Gajah memiliki sampai 9 sirip daun, seperti pada Gambar 2.3.



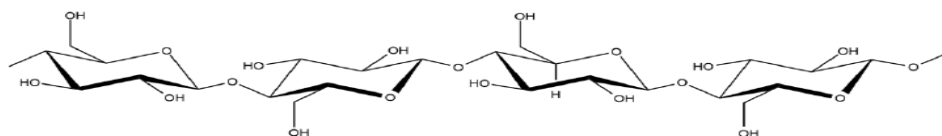
Gambar 2.3 Singkong Gajah (*Manihot Esculenta Crantz*), (a) Sirip daun singkong gajah, (b)Percabangan batang singkong gajah

(Sumber Gambar (a) dan (b): <http://kebun-singkong.blogspot.com>)

2.7. Komponen Kimia Kayu

2.7.1. Selulosa

Selulosa adalah bagian utama dari dinding sel kayu. Unit molekul penyusun selulosa adalah glukosa yang merupakan gula. Banyak molekul glukosa yang bergabung bersama-sama membentuk rantai selulosa. Rumus kimia selulosa adalah $(C_6H_{10}O_5)_n$ dimana n adalah jumlah unit pengulangan glukosa, n juga disebut derajat polimerisasi (DP). Nilai dari n bervariasi tergantung sumber selulosa yang berbeda. Struktur selulosa dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Struktur Selulosa (Sunarno, 2011)

Molekul-molekul selulosa seluruhnya berbentuk linier dan mempunyai kecenderungan kuat membentuk ikatan-ikatan hidrogen intra- dan intermolekul. Sebagai struktur yang berserat dan ikatan-ikatan hidrogen yang kuat, selulosa mempunyai kekuatan tarik yang tinggi dan tidak larut dalam kebanyakan pelarut.

Selulosa tidak berwarna, tidak mempunyai rasa dan bau, tidak larut dalam air atau larutan basa, relatif stabil terhadap panas, tidak meleleh jika dipanaskan, mulai terurai (dekomposisi) pada temperatur 260-270°C, tahan terhadap hidrolisis, dan stabil terhadap oksidasi. Tetapi selulosa akan larut dalam larutan asam mineral dengan konsentrasi tinggi (akibat hidrolisis), dan jika hidrolisisnya belum berlangsung terlalu jauh maka selulosa dapat diendapkan kembali dalam membentuk fragmen-fragmen padatan polimer dengan berat molekul yang lebih kecil melalui pengenceran larutan dalam asam kuat tersebut dan air. Selulosa baru mengalami hidrolisis dalam asam mineral encer pada temperatur tinggi (>100°C)

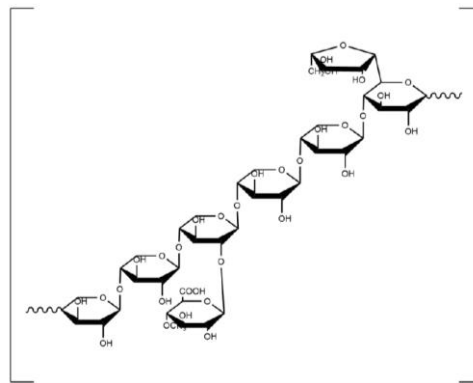
Selama pengolahan pulp dalam digester, derajat polimerisasi akan menurun beberapa derajat. Ini penting untuk tidak turun terlalu banyak, karena rantai selulosa yang lebih pendek pada akhirnya menghasilkan pulp yang kurang bagus. Selulosa dalam kayu mempunyai nilai derajat polimerisasi rata-rata 3500 dimana selulosa

dalam pulp mempunyai rata-rata derajat polimerisasi dalam rentang 600-1500. (Hutten, 2007)

2.7.2. Hemiselulosa

Hemiselulosa juga polimer yang umumnya dibentuk oleh unit-unit gula. Berbeda dengan selulosa, dimana selulosa hanya terdiri dari polimer glukosa, hemiselulosa adalah polimer dengan 5 gula berbeda yaitu glukosa, manosa, galaktosa, xylosa, dan arabinosa (Lamid *et al.*, 2006).

Rantai hemiselulosa jauh lebih pendek dibandingkan rantai selulosa karena memiliki derajat polimerisasi lebih rendah. Sebuah molekul hemiselulosa mengandung sampai 300 unit gula. Gambar 2.5 menggambarkan struktur hemiselulosa



Gambar 2.5 Struktur Hemiselulosa (Sunarno, 2011)

Dalam pengolahan pulp, hemiselulosa bereaksi lebih cepat dari pada selulosa. Dalam kayu, hemiselulosa kebanyakan ditemukan di sekeliling mikrofibril selulosa, dimana hemiselulosa membantu ikatan selulosa. Dalam pembuatan kertas, hemiselulosa berperan untuk membuat kertas lebih kuat. (Hutten, 2007)

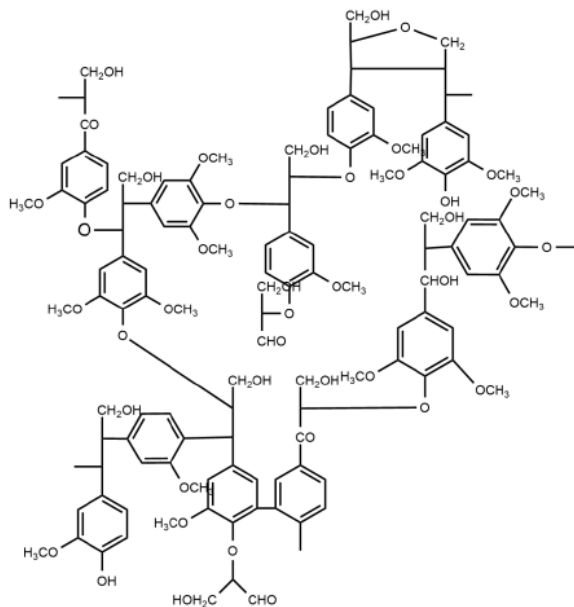
Hemiselulosa yang terkandung pada *hardwood* utamanya adalah xilan (15-30%) yang terdiri atas unit-unit xilosa yang dihubungkan oleh ikatan β (1,4)-glikosida dengan percabangan berupa unit asam 4-O-*methylglucuronic* dan ikatan α (1,2)-glukosida. Gugus O-asetil terkadang menggantikan gugus OH pada posisi

C2 dan C3. Pada softwood kandungan hemiselulosa terbesar adalah galaktoglukomanan (15-20%) xilan dan (7-10%) gugus asetil (Ibrahim, 1998).

2.7.3. Lignin

Lignin adalah partikel amorf yang bersama selulosa membentuk dinding sel kayu dari pohon. Lignin mempererat material diantara sel dan menambah kekuatan mekanis kayu. Lignin adalah polimer tiga dimensi yang sangat bercabang. Suatu molekul lignin memiliki derajat polimerisasi yang tinggi karena ukuran dan struktur tiga dimensinya. Lignin dalam kayu berfungsi sebagai lem atau perekat lamela tengah dimana kebanyakan terdiri dari lignin mengikat sel bersama-sama dan memberi bentuk pada kayu. Lignin juga berperan dalam memperkecil perubahan dimensi sehubungan dengan kandungan air kayu dan mempertinggi sifat ketahanan kayu terhadap serangan jamur dan serangga. Dinding sel juga mengandung lignin. Dalam dinding sel, lignin bersama hemiselulosa membentuk matriks dimana mikrofibril selulosa disusun. (Hendriks dan Zeeman, 2009)

Lignin memberikan pengaruh yang kurang baik terhadap pulp, yaitu warna maupun sifat fisik pulp. Pulp akan mempunyai sifat fisik yang baik apabila kandungan lignin sedikit. Lignin dapat mengurangi aktifitas selulosa atau hemiselulosa dalam pembentukan ikatan antar serat dan dapat menurunkan derajat putih pada pulp. Apabila pulp mengandung kadar lignin tinggi akan sukar digiling dan menghasilkan lembaran dengan kekuatan rendah (Rahmawati, 1999). Hal ini yang menyebabkan lignin harus dipisahkan dari pulp. Struktur lignin dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Struktur Lignin (Sunarno,2011)

2.7.4. Zat Ekstraktif

Hillis, (1987) mendefinisikan zat ekstraktif sebagai senyawa-senyawa yang dapat diekstrak dari kayu atau kulit dengan pelarut polar dan non polar. Dumanauw, (2001) menyatakan bahwa zat ekstraktif bukan merupakan bagian struktur dinding sel, tetapi terdapat dalam rongga sel. Komponen ini memiliki nilai yang penting karena menyebabkan kayu tahan terhadap serangan jamur dan serangga, memberi bau, rasa dan warna pada kayu.

Sedangkan Sjöström, (1995) berpendapat bahwa zat ekstraktif tidak tersebar secara merata dalam batang dan dinding sel serat. Ekstraktif terdapat pada tempat tertentu, sebagai contoh asam dalam tumbuhan resin banyak terdapat dalam saluran resin dalam kulit kayu, sedangkan lemak dan lilin banyak terdapat dalam sel parenkim jari-jari baik pada kayu daun jarum dan kayu daun lebar.

Selanjutnya Fengel dan Wegener, (1995) mengemukakan bahwa zat ekstraktif berpusat pada resin kanal dan sel parenkim jari-jari. Pada lamela tengah juga terdapat zat ekstraktif dengan kadar yang lebih rendah jika dibandingkan dengan interseluler dan dinding sel trakeid serta libriform.

Secara kuantitatif, kandungan zat ekstraktif dalam kayu paling kecil bila dibandingkan dengan kandungan selulosa dan lignin, tetapi secara kualitatif

mempunyai pengaruh yang besar terhadap sifat kayu dan sifat pengolahannya. Zat ekstraktif yang memiliki pengaruh yang kurang baik terhadap proses pulping dan kualitas kertas yang dihasilkan. Zat ekstraktif, terutama yang berupa minyak dan lemak akan dapat mengurangi kekuatan ikatan antar serat, memperbesar konsumsi alkali sehingga proses pemasakan menjadi kurang sempurna serta memperlambat proses delignifikasi, selain itu kandungan ekstraktif yang tinggi akan menyebabkan timbulnya noda hitam (*pitch*) pada lembaran pulp yang dihasilkan (Fatriasari dan Iswanto, 2015)

Jumlah kadar zat ekstraktif pada *hardwood* (kayu daun lebar) lebih banyak dibandingkan *softwood* (kayu daun jarum). Penelitian terhadap 480 sampel *Pinus echinata* yang hidup pada kondisi dan umur berbeda menunjukkan bahwa umur mempunyai pengaruh yang sangat dominan dalam jumlah zat ekstraktif. Hal yang mempengaruhi kandungan zat ekstraktif dalam kayu di antaranya adalah umur, tempat tumbuh, genetik, posisi dalam pohon, kecepatan pertumbuhan, dan jenis pelarut yang digunakan.

Zat ekstraktif dapat digunakan untuk mengenali suatu jenis kayu. Jenis kayu yang berbeda menyebabkan kandungan zat ekstraktif yang berbeda pula, sehingga dapat dijadikan sebagai alat identifikasi/ pengenalan kayu (Dumanauw, 2001).

2.8. Proses Pulping

Secara umum proses pembuatan pulp dapat dibagi dalam beberapa jenis perlakuan. Masing masing jenis perlakuan mengaplikasikan sistem proses yang berbeda. Menurut Karlsson, (2006) secara teknis proses pulping terbagi menjadi beberapa jenis sesuai dengan proses yang diaplikasikan. Beberapa proses yang dimaksud adalah proses mechanical pulping, proses termomechanical pulping dan proses chemical pulping. Proses *Chemical pulping* ini bertujuan untuk memisahkan dan melarutkan lignin serta meninggalkan selulosa dan hemi selulosa yang merupakan komponen pembentuk fiber. Meskipun sebagian besar lignin terlarut, tetapi kandungan selulosa dan hemi selulosa juga menurun. Hasil yang didapat dari proses chemical pulping ini relative rendah jika dibandingkan dengan mechanical pulping. Persentase hasil yang diperoleh dari proses ini biasanya menghasilkan 40%

sampai dengan 70%. Proses *chemical pulping* ini terdiri dari tiga proses, yaitu proses soda, proses sulfit dan proses sulfat (*kraft process*)

2.8.1. Proses Kraft

Proses *kraft* ini merupakan salah satu proses pembuatan pulp kimia yang paling banyak digunakan karena menghasilkan pulp dengan kekuatan yang tinggi, pada proses ini semua jenis kayu bisa digunakan dan keuntungan yang diperoleh dari proses ini adalah proses *recovery* bahan kimia yang relatif tinggi serta menghasilkan energi yang bisa digunakan kembali (Egas, Simão, Costa, Francisco, & Castro, 2002). Proses *kraft* menggunakan larutan alkali (NaOH) dan sulfur (Na_2S) pada suhu tinggi ($140\text{-}180^\circ\text{C}$) untuk memisahkan dan melarutkan lignin yang terikat bersama serat-serat dalam kayu. Kayu dibuat menjadi serpih (*chips*) dengan ukuran tertentu kemudian dimasak dengan larutan *aqueous* yang mengandung bahan kimia. Proses ini bisa dibagi menjadi tiga tahap, yaitu *impregnation*, *heat-up* dan *actual cooking*. *Impregnation* bertujuan untuk mentransfer bahan kimia ke dalam *chip* kayu selama proses *cooking* yang terjadi pada saat *heat-up* dan *actual reaction* pada proses *cooking*. Langkah-langkah proses dasar yang terjadi selama proses *cooking* adalah : (a) Transfer bahan kimia pada larutan pemasak ke permukaan kayu ; (b) Transfer bahan kimia ke dalam kayu; (c) Reaksi antara bahan kimia dan komponen kayu; (d) Penghilangan produk reaksi dari kayu ke *pulp* (Enqvist, 2006).

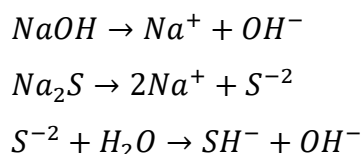
Laju delignifikasi yang dicapai umumnya diukur dengan membiarkan pulp bereaksi dengan sejumlah bahan kimia pada waktu yang telah ditentukan. Setelah waktu reaksi, sisa bahan kimia di titrasi dengan menggunakan pottasium Permanganat atau yang sering disebut dengan metode penentuan kappa number. Parameter lain yang sering digunakan untuk mengukur kualitas pulp adalah viskositas pulp. Viskositas menunjukkan derajat polimerisasi molekul selulosa pulp. Penurunan viskositas pulp yang berlebihan mengindikasikan terjadinya degradasi fiber pada pulp.

Lignin lebih mudah larut dalam proses sulfat (*kraft*), karena adanya ion-ion hidroksil dan hidrogen sulfida. Seperti yang dikemukakan oleh Sjostrom (1995), adanya ion hidrogen sulfida sangat membantu delignifikasi karena nukleofilisitas

mereka yang berat jika dibandingkan dengan ion-ion hidroksil dan hidrogen sulfida, juga akan menghasilkan kenaikan hidrofilitas lignin karena pelepasan gugus-gugus hidroksi fenol. Lignin yang terdegradasi larut dalam lindi pemasakan sebagai natrium fenolat. Secara sederhana tahapan proses pembuatan pulp ini diawali dengan bereaksinya cairan pemasak yang mengandung senyawa NaOH, Na₂S dan Na₂CO₃ dalam digester. Dari hasil reaksi ini akan didapat selulosa dari kayu sebagai bahan baku. Sementara lignin yang ada terlarut dengan sisa cairan pemasak yang berwarna hitam, yang lazim disebut dengan “*black liquor*”.

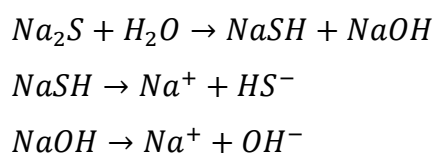
Faktor terpenting dalam proses alkali adalah konsentrasi larutan pemasak. Peningkatan konsentrasi menyebabkan peningkatan laju delignifikasi dan mengakibatkan efek peningkatan larutan selulosa. Konsentrasi *active alkali* terhadap berat kayu yang sering dipakai sebesar 15-18%. Peningkatan konsentrasi *active alkali* yang terlalu tinggi menyebabkan kerusakan selulosa lebih besar dibandingkan lignin sehingga menurunkan rendemen dan kekuatan *pulp*.

Ion sulfide murni berasal dari Na₂S yang bereaksi dengan suatu molekul air, hasilnya adalah suatu ion hidrosulfida dan satu ion hidroksil. Konsentrasi dan total *charge* dari ion SH⁻ dan OH⁻ adalah kunci elemen di dalam semua reaksi yang berlangsung selama proses *pulping*, baik itu pemutusan lignin dan juga reaksi yang tidak diharapkan seperti degradasi selulosa (Kurniawan *et al*, 2013). Komponen aktif di dalam cairan pemasakan adalah ion hidroksil dan ion hidrosulfida, hasil tersebut murni berasal dari NaOH dan Na₂S, reaksinya seperti dibawah ini :



Pada proses ini bahan-bahan kimia dan cairan pemasak sebagai penetrasi ke dinding-dinding serat dan melarutkan lignin adalah ion OH⁻ dan HS⁻.

Reaksi yang terjadi pada proses pemasakan:



Secara sederhana dapat digambarkan sebagai berikut :

Chips + cairan pemasak → pulp (selulosa) + senyawa alkohol + senyawa asam + merkaptan + ekstraktif

2.9. Proses Delignifikasi dan Degradasi Fiber

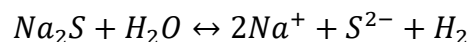
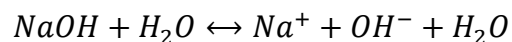
Dalam proses pulping kondisi fiber akan mengalami penurunan kualitas (degradasi) sebagai akibat dari kondisi proses itu sendiri. Degradasi ini pada gilirannya akan menyebabkan fiber mengalami pemutusan rantai sebagai akibat dari pengaruh pemanasan, sifat bahan kimia yang dipergunakan. Faktor terpenting dalam proses alkali adalah konsentrasi larutan pemasak. Peningkatan konsentrasi menyebabkan peningkatan laju delignifikasi dan mengakibatkan efek peningkatan larutan selulosa. Konsentrasi aktif alkali terhadap berat kayu yang sering dipakai berkisar 15-18%. Peningkatan konsentrasi alkali aktif yang terlalu tinggi menyebabkan kerusakan selulosa lebih besar dibandingkan lignin sehingga menurunkan rendemen dan kekuatan pulp serta kebutuhan pemutihan meningkat (Casey, 1983).

2.9.1. Proses Delignifikasi

Salah satu proses delignifikasi adalah delignifikasi alkali- kraft pulping.

a. Deskripsi Proses

Cairan pemasak alkali terdiri dari white liquor, air di dalam chips, pemanasan kondensasi dan juga sedikit black liquor. Komponen utama dari white liquor yaitu NaOH dan Na₂S. Dan komponen tambahan lain yaitu Na₂CO₃, Na₂SO₄, Na₂S₂O₃, NaCl dan CaCO₃ dan garam terakumulasi yang terdapat di dalam cairan pemasak. Di dalam white liquor NaOH dan Na₂S dipisahkan. Reaksi utamanya ditunjukkan dibawah ini:

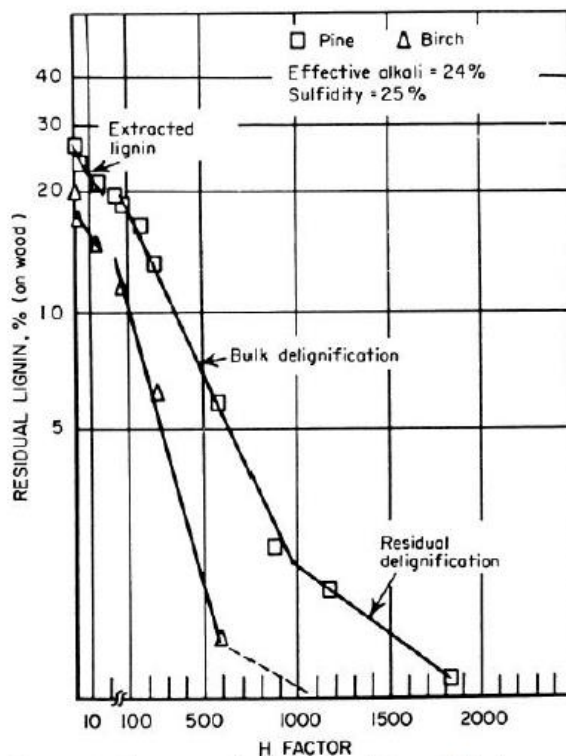


Proses delignifikasi kraft ini dilakukan pada suhu (160°C-180° C) selama 1-2 jam.

b. Tahap Delignifikasi

Alkaline kraft pulping terdiri dari tiga tahap berbeda, yaitu: tahap *initial delignification* (ID), *bulk delignification* (BD) dan *residual delignification* (RD).

Tahap ini mempunyai selektifitas yang berbeda pada hilangnya karbohidrat seperti digambarkan pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Perubahan Kandungan Polisakarida dan Lignin selama Tahap *Initial (ID)*, *Bulk (BD)* dan *Residual (RD)* pada *kraft pulping* (Smook, G.A, 1992)

Selama tahap *the initial delignification (ID)* chips kayu diimpregnasi dengan cairan pemasak (*liquor*). Tahap inisial ini jug adisebut tahap *heating up period* karena selama tahap ini temperatur lebih dar 140 °C. Hilangnya karbohidrat dan rendahnya selektifitas sangat besar pada fase ini. Sekitar 40% hemiselulosa terdegradasi selama delignifikasi awal ini.

Tahap *the bulk delignification (BD)* temperatur lebih dar 140°C. Meningkatnya temperatur mempercepat reaktifitas dan depolimerisasi lignin. Bagian utama pada penghilangan lignin adalah pada tahap ini. Setelah tahap BD sekitar 90 % lignin sudah hilang dari chips.

Degradasi dan terputusnya hemiselulosa selama tahap ID berperan dalam penghilangan lignin dari dinding sel dan komponen lamela tengah. Karena daya serap dinding sel meningkat, produk degradasi lignin terdifusi dari dinding sel ke fase cairan pemasak menjadi lebih mudah. Pada tahap BD selektifitas cukup baik

dan karbohidrat yang hilang cukup rendah. Pada akhir tahap the bulk delignification ini selektifitas mulai menurun.

Selama tahap *the residual delignification (RD)* depolimerisasi selulosa meningkat dan delignifikasi menurun. Hanya sekitar 10% lignin yang hilang. Walau bagaimanapun hubungan karbohidrat-lignin baru terbentuk. Struktur ini stabil pada kondisi kraft pulping.

2.9.2. Reaksi Lignin pada Pulping

Lignin adalah polimer tiga dimensi bercabang yang terletak di lamella tengah diantara mikrofibril selulosa di dinding sel. Hal ini hampir tidak larut dalam air dan terikat secara kimia dengan karbohidrat. Karakteristik ini membuat lignin sulit dilepas.

Selama proses pulping, lignin terdepolimerisasi sepanjang pemutusan hubungan antar unit. Hal ini meningkatkan kelarutan lignin dan memungkinkan hilangnya lignin dari chip kayu. Sangat penting untuk mengetahui reaksi kimia yang terjadi selama proses cooking dan menganalisa pengaruhnya terhadap parameter proses cooking pada delignifikasi.

a. Reactive Site

Tidak seperti selulosa dan hemiselulosa, struktur kimia lignin tidak bisa digambarkan dengan tepat. Komposisi, distribusi dan struktur lignin berbeda, tergantung pada jenis kayu, umur kayu dan daerah morfologi. Ada beberapa perbedaan *reactive site* pada lignin, sisi yang paling reaktif adalah unit eter dalam posisi α atau β . Sisi Reaktif lignin adalah:

- *Hydrolysable ether linkages*
contohnya: α -aryl, α -aryl and α -alkyl ether linkages
- *Phenolic hydroxyl groups*
- *Aliphatic hydroxyl groups*
- *Uncondensed units*

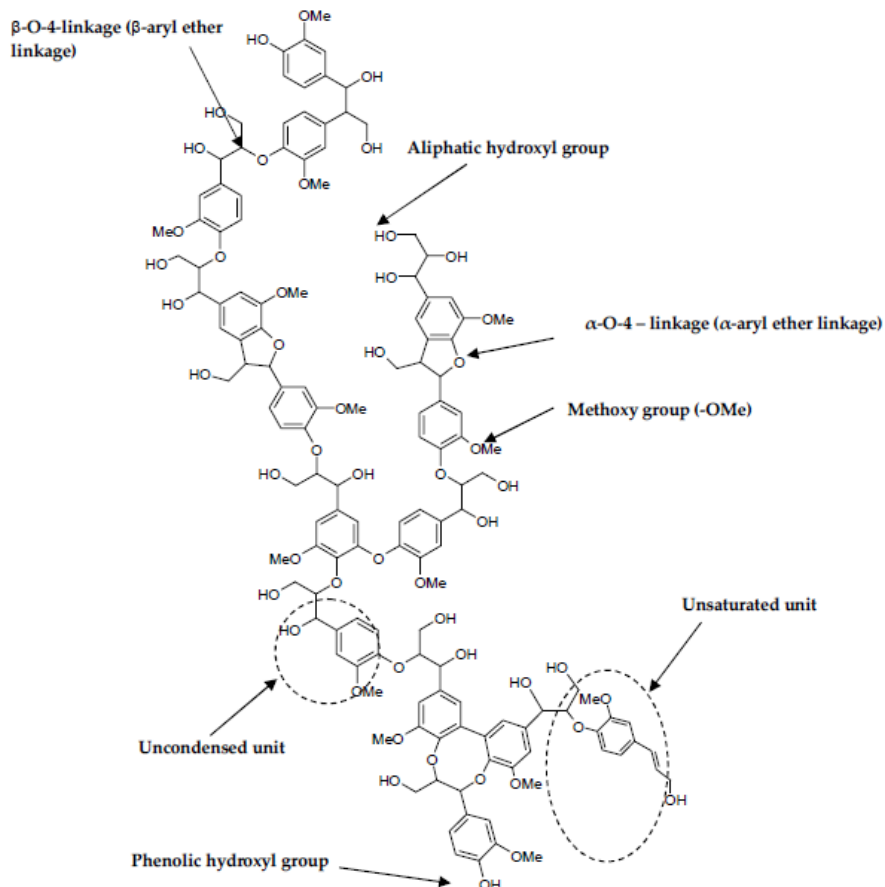
contohnya: unit dengan C2, C3, C5 dan C6 yang tidak disubstitusikan atau disubstitusikan hanya dengan group metoksil

- *Unsaturated units*

Contoh: Coniferyl alcohol atau coniferyl aldehyde end groups and α -carbonyl groups.

- *Ester groups*

Beberapa struktur ester diilustrasikan oleh gambar 2.8

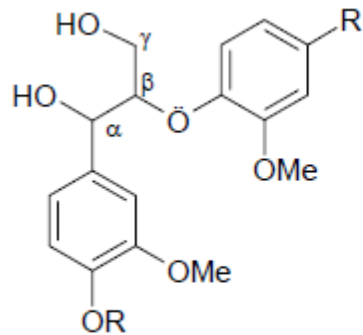


Gambar 2.8. Beberapa Kemungkinan Sisi Reaktif Pada Lignin *Softwood* (Lai, 2001)

b. Pemutusan β -aryl ether (β -O-4) linkages pada kraft pulping

Sebagian besar linkages (40-60%) pada lignin kayu adalah β -aryl ether linkages (β -O-4). Linkages ini terputus selama proses kraft pulping. Eter biasanya senyawa yang relatif jenuh. Bagaimana β -O-4 terputus? Pasangan oksigen bebas adalah sumber reaktifitas dan hal ini meningkatkan polaritas pada ikatan $-C_{\beta}-O$ yang berdekatan dengan sensitifitas atom β -karbon untuk menyerang nukleofilik. Sebagai tambahan, cincin benzen yang berdekatan lebih stabil terhadap resonansi struktur.

Reaktifitas β -O-4 tergantung pada apakah struktur fenolik atau eterifikasi (contoh non fenolik) gambar 2.9



Phenolic structures: R is H

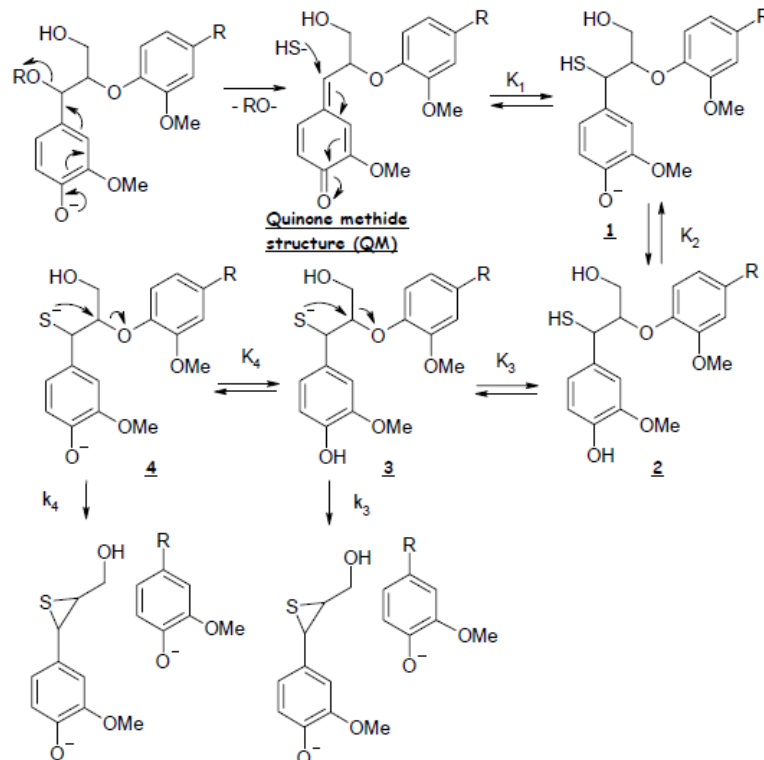
Etherified structures: R is C

Gambar 2.9 struktur fenolik dan eterifikasi lignin (non fenolik) (Lai, 2001)

Dibawah kondisi alkali ionisasi group fenolik ($\text{Ar-OH} \rightarrow \text{Ar-O}^-$) dan meningkatnya reaktifitas struktur. Pada sisi lain, struktur eterifikasi sisinya kurang reaktif pada proses kraft pulping.

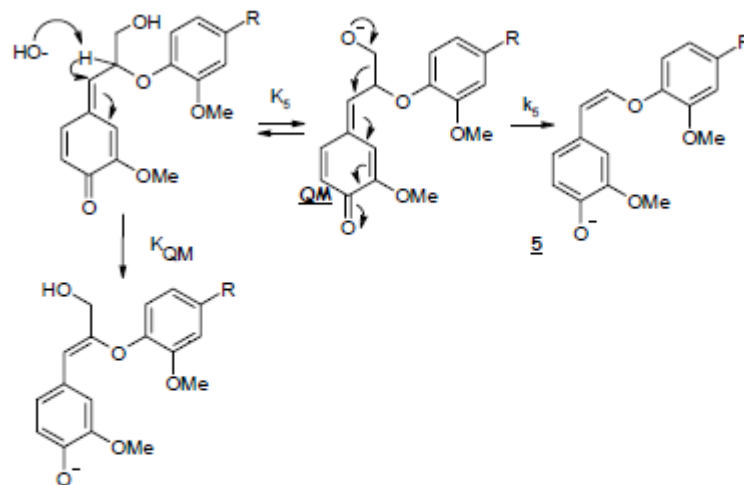
- Struktur lignin fenolik- *initial delignification*

Reaksi fenolik (Non eterifikasi) struktur β -O-4 dimulai dengan formasi quinone methide (QM), gambar 2.8. *Quinone methide* terbentuk jika adanya group hidroksil (OH) atau ikatan eter (OR) pada α -karbon struktur lignin. Oleh karena itu pembentukan struktur quinone methide menghasilkan eliminasi pada group α -OH atau pemutusan α -OR *linkages*. Jika substituen (R) adalah lignin, reaksi ini menyebabkan depolimerisasi lignin. Pembentukan *quinone methide* diikuti dengan penyerangan ion nukleofilik hidrogen sulfida (HS^-). Sebagai hasil dari pemutusan β -O-4 *linkage* dan degradasi lignin.



Gambar 2.10 Pemutusan fenolik β -O-4 linkages selama *initial delignification* (selama pemanasan) (Lai, 2001)

β -O-4 *linkages* terdegradasi melalui ionisasi sulfida pada α -carbon. Kemudian reaksi bisa dilanjutkan hanya melalui struktur 3 dan 4 pada Gambar 2.10 Laju degradasi kemudian bergantung pada konsentrasi HS^- dan HO^- (sulfiditas dan pH) Hal ini sangat penting bahwa sulfiditas mencukupi selama tahap *initial delignification*. Jika konsentrasi HS^- tidak cukup tinggi reaksi berlawanan mungkin terjadi. Reaksi menghasilkan bentuk struktur enol eter melalui eliminasi proton atau formaldehida dari quinone methide seperti pada Gambar 2.11. Pemutusan proton adalah reaksi eliminasi bimolekuler yang disebabkan ion hidroksil. Eliminasi group formaldehida merupakan reaksi intramolekuler dan membutuhkan ionisasi group hidroksil pada γ -carbon. Saat delignifikasi, reaksi berlawanan adalah reaksi yang tidak diinginkan karena tidak menghasilkan pada pemutusan ikatan dan degradasi lignin.



Gambar 2.11 Reaksi berlawanan- pembentukan struktur enol eter (Lai, 2001)

2.9.3. Proses Degradasi Fiber Akibat Temperatur Proses

Menurut Fengel dan Wegener, (1995) proses perubahan yang dialami oleh fiber dengan proses penyusutan volume dinding sel dalam kayu sehingga akan terjadi penurunan volume pori dalam kayu. Seperti yang telah kita ketahui bahwa faktor yang sangat berpengaruh dalam proses pulping salah satunya adalah faktor pemanasan. Dari kenaikan temperature dalam proses pulping maka pada serat akan terjadi gaya penyusutan tambahan yang diakibatkan oleh penyusutan volume sebagai akibat kehilangan zat kandungan yang lainnya.

2.9.4. Proses degradasi Fiber Dalam Media Alkali

Bahan kimia yang bersifat alkali (basa) yang dipergunakan dalam proses pulping salah satunya adalah NaOH. Menurut Fengel dan Wegener, (1995) reaksi awal pada degradasi selulosa adalah pelarutan gugus gugus hidroksil oleh ion ion hidroksil yang mengakibatkan keadaan membengkak. Pada suhu tinggi polisakarida yang diserang oleh larutan alkali kuat disertai dengan terjadinya sejumlah reaksi.

Beberapa reaksi yang paling penting antara lain,

- Pelarutan polisakarida yang tidak terdegradasi
- Pelepasan gugus-gugus ujung dengan pembentukan gugus gugus ujung yang stabil dalam alkali.
- Hidrolisis alkalis ikatan glikolisa dan gugus asetil

- d. Degradasi dan peruraian polisakarida yang terlarut, fragmen fragmen yang terhidrolisis dan pelepasan monosakarida.

Adapun dari beberapa reaksi yang terjadi tersebut, reaksi yang paling penting yang dapat mengakibatkan lepasnya polisakarida dan pengurangan panjang rantai selulosa dalam pembuatan pulp ini adalah reaksi pelepasan dan reaksi hidrolisis.

2.10. Variabel yang Mempengaruhi Proses Pembuatan Pulp

2.10.1 Active Alkali Charge

Dalam pembuatan pulp dengan proses *kraft (sulfat)* digunakan *white liquor* sebagai larutan pemasak. *White liquor* adalah larutan bersifat basa yang terdiri dari NaOH dan Na₂S. Senyawa kimia yang aktif dalam *white liquor* adalah NaOH dan Na₂S yang dinyatakan sebagai *active alkali* (Kocurek, 1989). *Active alkali* tersebut secara selektif akan melarutkan lignin yang terdapat dalam kayu. Banyaknya *white liquor* yang ditambahkan dalam proses pemasakan dinyatakan dengan *active alkali charge*. *Active alkali charge* adalah konsentrasi gabungan dari NaOH dan Na₂S sebagai Na₂O yang dibutuhkan untuk satu tahap *cooking* (Akgul, et al., 2007). Pada saat proses pemasakan berlangsung, kebutuhan *active alkali* merupakan salah satu variabel yang perlu diperhatikan. Pemakaian *white liquor* dalam proses pemasakan sangat penting untuk menghasilkan pulp yang berkualitas baik. *Active alkali* dalam *white liquor* berguna untuk mendegradasi lignin dan senyawa lainnya (ekstraktif) dalam kayu dan melarutkan gugus gula sederhana yang masih bersatu dalam pulp. Selulosa dan hemiselulosa tetap dipertahankan dalam kayu. Larutan NaOH yang terkandung di dalam *active alkali* berfungsi untuk melarutkan lignin dan zat-zat ekstraktif lainnya yang terdapat dalam bahan baku kayu sehingga selulosa terlepas dari ikatannya. Sedangkan larutan Na₂S berfungsi untuk mempercepat reaksi antara NaOH dengan lignin lewat penurunan energi aktivasi dan memberikan hasil yang lebih tinggi serta kekuatan pulp yang lebih baik dengan mengurangi kerusakan pada karbohidrat dari serat. Oleh karena itu, dengan adanya *active alkali* yang terkandung di dalam *white liquor* akan membantu proses penghilangan lignin yang disebut delignifikasi (Smook, 2007).

2.10.2 Sulfiditas

Sulfiditas adalah persentase jumlah Na_2S terhadap jumlah alkali aktif dalam cairan pemasak Na_2O . Penambahan sulfur kedalam larutan pemasak dapat memperbaiki sifat *pulp* hasil pemasakan karena ion-ion SH^- yang berasal dari Na_2S bereaksi dengan lignin dan dapat melindungi karbohidrat dari degradasi oleh ion OH^- sehingga karbohidrat dapat dipertahankan (Kocurek, 1989).

2.10.3 H-Factor

Keragaman berat jenis kayu menyebabkan perbedaan kualitas *pulp* yang dihasilkan. Sebagai contoh, kayu yang berat jenisnya tinggi umumnya memerlukan waktu pemasakan yang lebih lama dari pada kayu yang berat jenisnya lebih rendah. *H-factor* merupakan suatu variabel yang menyatakan fungsi suhu dan waktu pemasakan. *H-factor* digunakan sebagai penyesuaian waktu pada berbagai suhu pemasakan dan juga untuk memperkirakan kondisi pemasakan bila terjadi penyimpangan dari standar operasi. mengemukakan bahwa waktu penetrasi dalam proses sulfat adalah 1,5 jam dan waktu pemasakan pada suhu pemasakan maksimum memerlukan waktu 2-2,5 jam (Gunawan *et al*, 2012) menyatakan bahwa jumlah waktu pemasakan tersebut yaitu 3,5-4 jam. Waktu pemasakan yang terlalu lama dari waktu pemasakan optimum akan menyebabkan terjadinya degradasi selulosa yang semakin besar dan waktu pemasakan untuk kayu daun jarum adalah 3 jam. Proses delignifikasi terjadi melalui 3 tahap, yaitu pada pemasakan standar, tahap awal delignifikasi (*initial delignification*) terjadi sebelum suhu mencapai 140°C dan sekitar 5% lignin larut dalam total lignin. Pada tahap delignifikasi curah (*bulk delignification*) yang terjadi pada suhu diatas 140°C dan sekitar 89% lignin terlarut dalam total lignin. Pada tahap akhir delignifikasi (*residual delignification*) hanya 1% lignin yang larut dalam total lignin (Kurniawan *et al*, 2013).

2.10.4 Rasio

Merupakan perbandingan antara berat total cairan pemasak terhadap berat bahan baku kering. Rasio penting untuk penyebaran *white liquor* yang merata ke seluruh *digester* untuk efek pencampuran terhadap *chip* dan untuk sirkulasi *white*

liquor. Total *liquor* yang ditambahkan lebih banyak yang diberikan terhadap jumlah *chip* (rasio antara *liquor* dan kayu). Normalnya *range* dari rasio antara tiga hingga lima. Secara teori perbandingan perbandingan *liquor* : *chps* kayu dihitung berdasarkan pada total jumlah cairan pada sistem dan *moisture* yang terdapat dalam *chip* kayu. (Enqvist, 2006)

2.10.5 Temperatur Pemasakan

Temperatur memiliki pengaruh yang hampir sama dengan pengaruh waktu pemasakan, yaitu mempercepat proses *cooking*. Penurunan temperatur menyebabkan *delignifikasi* lebih selektif, karena pemutusan *lignin* tetap terjadi sementara pemutusan *karbohidrat* lebih sedikit (Miranda I., 2002)

2.11. Analisa Kualitas Pulp

2.11.1. Kappa Number

Kappa number merupakan pengujian kimia yang diperlakukan terhadap *pulp* untuk menentukan tingkat *delignifikasi*, kekuatan relatif dari *pulp* dan kesanggupan untuk diputihkan. *Kappa number* didefinisikan sebagai jumlah konsumsi *permanganat* dalam sampel *pulp* yang mengandung *lignin* yang belum bereaksi. Setelah beberapa waktu, *permanganat* bereaksi dengan *pulp* yang ditentukan dengan metode *titrasi*. *Kappa number* kemudian ditentukan dengan jumlah 0,1 N larutan KMnO_4 yang dikonsumsi oleh 1 gram *pulp* dalam waktu 10 menit dengan suhu 25°C . *Kappa number* ini sangat berguna untuk menentukan kadar *lignin* dalam *pulp*. Larutan kimia yang digunakan yaitu KMnO_4 berfungsi untuk mengoksidasi *lignin* dalam *pulp*, *Kalium Iodida* (KI) berfungsi sebagai *reduktor*, H_2SO_4 berfungsi membuat suasana asam, karena proses *oksidasi-reduksi* berjalan optimum dalam suasana asam, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ berfungsi sebagai larutan standar dan indikator *starch* 1% berfungsi sebagai indikasi berakhirnya proses *titrasi*.

Pengukuran *lignin* (*kappa number*) *pulp slurry* pada proses pembuatan *pulp* merupakan kunci sukses dalam mengoptimalkan proses pembuatan *pulp*. Informasi *kappa number* ini sangat berguna untuk mengontrol parameter selama proses pemasakan berlangsung seperti *H-Factor*, *Liquor to wood ratio*, jumlah konsumsi *white liquor*, kadar air kayu, efisiensi pencucian, temperatur dan lain-

lain. Kunci untuk memonitor dan mengontrol pemasakan dengan menggunakan *kappa number* sangat penting untuk mengontrol proses delignifikasi dan sangat berguna untuk mengontrol beberapa parameter untuk *bleaching*.

2.11.2. Brightness

Brightness adalah sifat lembaran *pulp* untuk memantulkan cahaya yang diukur pada suatu kondisi yang baku, digunakan sebagai indikasi tingkat keputihan. Keputihan *pulp* diukur dengan kemampuannya memantulkan cahaya monokromatik dan diperbandingkan dengan standar yang telah diketahui yang dinyatakan dalam %ISO atau %GE . Tingkat kecerahan (*brightness*) *pulp* tergantung pada jenis dan jumlah bahan kimia pemutih yang digunakan pada tahap *bleaching*. *Kappa number* yang rendah akan diikuti dengan tingkat kecerahan yang tinggi. Semua *pulp* akan mengalami perubahan *brightness* (kecerahan) seiring dengan lama waktu penyimpanan. *Pulp* biasanya akan berubah menjadi kuning. Laju penurunan *brightness* dengan waktu bervariasi dalam *range* yang cukup luas. Sebagian *pulp* akan stabil biasanya bertahun-tahun kemudian baru akan berubah menjadi kuning, sebagian lagi hanya dalam hitungan bulan akan berubah menjadi kuning dan bahkan yang dalam hitungan hari sudah berubah. Lignin bukan merupakan penyebab utama perubahan warna *pulp* jika hanya mengandung sedikit lignin. Tapi, bagaimanapun lignin yang terkandung dalam jumlah besar sudah pasti menjadi penyebab utama dalam perubahan warna *pulp*. Oleh karena itu, efektivitas penghilangan lignin pada tahap *bleaching* merupakan faktor yang sangat menentukan dalam proses *brightness*. Penyebab dari perubahan warna pada *pulp* selama penyimpanan juga dipengaruhi oleh kandungan selulosa, yaitu adanya gugus karbonil dan karboksil. Penghilangan gugus karbonil dan karboksil ini dengan proses oksidasi dan reduksi akan meningkatkan kestabilan warna. Perubahan warna juga disebabkan oleh suhu, kelembaban, hemiselulosa, resin, logam-logam seperti rosin, alum, lem, dan starch. (Collodotte, 2008)

2.11.3. Viskositas

Viskositas adalah ukuran yang menyatakan kekentalan suatu cairan atau fluida. Kekentalan merupakan sifat cairan yang berhubungan erat dengan hambatan

untuk mengalir. Jadi, viskositas digunakan untuk menentukan kecepatan mengalirnya suatu cairan (Carvalho,2001).

Viskositas (kekentalan) cairan akan menimbulkan gesekan antara bagian-bagian lapisan-lapisan cairan yang bergerak satu sama lain. Dalam fluida ideal (fluida tidak kental) tidak ada kekentalan yang menghambat lapisan-lapisan cairan ketika bergeser satu di atas lainnya. Dalam suatu pipa dengan luas penampang yang sama, setiap lapisan bergerak dengan kecepatan yang sama. Pada fluida kental, antara lapisan-lapisan cairan mengalami gesekan, sehingga kecepatan aliran tidak seluruhnya sama. Pada bagian tengah di sekitar sumbu cairan mengalir lebih cepat karena lebih leluasa. Sebaliknya di sekitar dinding pipa cairan mengalir lebih lambat, bahkan yang melekat pada dinding sama sekali tidak bergerak. Viskositas cairan dapat ditentukan dengan dua metode, yaitu :

a Viskometer Oswald

Metode ini ditentukan berdasarkan Hukum Poiseuille menggunakan alat Viskometer Oswald. Penetapannya dilakukan dengan jalan mengukur waktu yang diperlukan untuk mengalirnya cairan dalam pipa kapiler dari atas ke bawah. Sejumlah cairan yang akan diukur viskositasnya dimasukkan ke dalam viskometer yang diletakkan pada termostat. Cairan kemudian diisap dengan pompa ke dalam bola sampai di atas tanda garis atas. Cairan dibiarkan mengalir ke bawah dan waktu yang diperlukan dari batas atas ke batas bawah dicatat menggunakan *stopwatch*.

b Viskositas Bola Jatuh

Viskositas cairan dapat ditentukan dengan metode bola jatuh berdasarkan Hukum Stokes. Penetapannya diperlukan bola kelereng dari logam dan alat gelas silinder berupa tabung. Bola kelereng dengan rapat d dan jari-jari r dijatuhkan ke dalam tabung berisi cairan yang akan ditentukan viskositasnya. Waktu yang diperlukan bola untuk jatuh melalui cairan dengan tinggi tertentu kemudian dicatat dengan *stopwatch*.

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Viskositas

Setiap fluida mempunyai viskositas yang berbeda-beda yang harganya bergantung pada jenis cairan dan suhu. Cairan mempunyai viskositas lebih besar daripada gas, karena mempunyai gaya gesek untuk mengalir lebih besar. Pada kebanyakan cairan viskositasnya turun dengan naiknya suhu. Sebaliknya viskositas akan naik dengan

turunnya suhu. Viskositas naik dengan bertambahnya tekanan. Sebaliknya viskositas cairan turun dengan berkurangnya tekanan. Untuk larutan viskositasnya bergantung pada konsentrasi atau kepekatan larutan. Umumnya larutan yang konsentrasinya tinggi, viskositasnya juga tinggi. Sebaliknya, larutan yang konsentrasinya rendah viskositasnya juga akan rendah (Sameshima, 2000)

2.12. Penelitian Terdahulu

Tujuan dari pulping kimia adalah untuk memisahkan serat kayu dengan memecah ikatan makromolekul lignin pada lamela tengah yang berikatan bersama fiber. Reaksi pada proses kraft pulping lebih mudah difahami dengan cukup baik berdasarkan reaksi ionik melibatkan nukleofil (Sjöström, 1995). Mekanisme utama pemutusan makromolekul lignin adalah pemutusan ikatan α - dan β -O-4 eter (Kleienrt, 1962).

Kraft pulping adalah proses alkali yang menggunakan NaOH dan Na₂S sebagai bahan kimia aktif dalam pelarut untuk mendegradasi lignin dan membebaskan serat dari lignin. Proses ini merupakan proses yang kompleks yang melibatkan beberapa reaksi. Proses delignifikasi dilanjutkan dengan pemutusan ikatan β -aryl ether yang mendegradasi dan melarutkan lignin. Proses *kraft* merupakan reaksi delignifikasi heterogen yang terdiri dari tiga tahap : (1) adsorpsi ion sulfida dan hidroksida pada lignin. (2) reaksi permukaan pada permukaan padat untuk membentuk Pembuatan pulp dan kertas dari kayu mangium dengan proses kraft pada active alkali charge 16%, sulfiditas 25% rasio kayu dan cairan pemasak 1:4, lama pemasakan 2 jam dan suhu maksimum 170° C dan waktu untuk mencapai suhu maksimum 1,5 jam menghasilkan randemen pulp tersaring 49,00% untuk kayu dari hutan alam dan 51,46 % dari hutan tanam.

Ada beberapa cara untuk meningkatkan selektifitas proses kraft pulping : (1) mengatur konsentrasi active alkali charge, (2) Konsentrasi ion hidrogen sulfida harus setinggi mungkin, khususnya pada tahap awal bulk delignification. (3) Konsentrasi lignin terlarut dan ion natrium pada larutan harus serendah mungkin, khususnya pada tahap akhir proses kraft, (4) temperatur harus rendah, khususnya pada awal dan akhir proses pemasakan. (Brännvall & Bäckström, 2016)

Kayu *acacia mangium* dan *eucalyptus pellita* cukup baik sebagai bahan baku pulp dan kertas karena randemen pulp yang tinggi, pemakaian alkali agak tinggi, pulp mudah diputihkan dan akan menghasilkan kertas berkekuatan sedang. (Hermiati, et al., 2017)

Abdel-Aal (2013) mengatakan bahwa perbedaan derajat penurunan rantai selulosa dan berkurangnya berat molekul mempunyai pengaruh yang berbeda terhadap karakteristik pulp. Meningkatnya yield pulp pada kandungan lignin yang sama menunjukkan tingginya jumlah hemiselulosa karena yield selulosa hanya akan bervariasi pada jumlah kecil. Tujuan dari proses pulping adalah untuk mendapatkan yield yang tinggi dan karakteristik pulp yang kuat. Banyak faktor yang mempengaruhi pembuatan pulp dan kertas, seperti kandungan kimi abahan baku (selulosa, hemiselulosa, lignin dan ekstraktif), anatomi kayu, active alkali dan waktu cooking.

Active alkali merupakan salah satu parameter dalam proses pulping, yang berhubungan langsung dengan intensitas reaksi delignifikasi dan pemutusan rantai karbohidrat (Axelsson, 2004).

Penelitian lain juga menjelaskan tentang laju delignifikasi dan Degradasi karbohidrat telah difokuskan pada pemahaman perilaku spesies kayu tunggal. Studi semacam itu cenderung menentukan tingkat delignifikasi atau laju degradasi karbohidrat tanpa pemeriksaan potensi interaksi yang dihasilkan dari variabel terkait. studi saat ini memberikan evaluasi menyeluruh mengenai degradasi lignin dan karbohidrat selama pembuatan kraft pulping beberapa jenis *hardwood*. Laju delignifikasi *Eucalyptus urograndis*, *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus*, sweet gum, maple, red oak, cotton wood, dan *acacia* diperoleh. Kemudian kinetika kelarutan glucan, xilan dan karbohidrat total selama tahap bulk pada proses kraft pulping juga diteliti. (Santos et al,2015)

Topik	Hasil	Referensi
The effect of alkali charge on Eucalyptus spp. Kraft pulping	Parameter yang dianalisa adalah total yield, screened yield, kappa number, viscosity, kandungan lignin dalam pulp. Dari semua parameter ini dihasilkan hasil yang berbeda pada active alkali charge yang berbeda. Nilai total yield bervariasi antara 65,4 dan 50,6%. Nilai screened yield bervariasi antara 9,2 dan 54,5%.	Gabriela, A.,Carvalho, M., Duarte, F. A. S., Gomes, F., & Sacon, M. 2001. The effect of alkali charge on Eucalyptus spp . kraft pulping.
<i>Kajian Proses Isolasi α – Selulosa dari Limbah Batang Tanaman Manihot esculenta crantz yang Efisien</i>	Limbah ini dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan produk alfa-selulosa yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku industri: pulp, kertas, bahan peledak, membran plastik dan sebagainya. Limbah batang tanaman <i>Manihot esculenta Crantz</i> sebagai bahan baku mengandung serat 65,38% dan kadar α -selulosa 56,82%	Sumada, K., Tamara, P.E., dan Alqani, F. 2011. <i>Kajian Proses Isolasi α – Selulosa dari Limbah Batang Tanaman Manihot esculenta crantz yang Efisien. Jurnal Teknik Kimia Vol.5, No.2: 434-438.</i>
Influence of Sulfidity and Active Alkali Charge on the Properties of Pulp Produced from Eucalyptus camaldulensis	Karakteristik pulp yang diamati adalah screen yield, kappa number, rejects rate dan viskositas. Hasil dari penelitian ini meningkatnya sulfiditas dari 20-40% dan menurunnya active alkali charge dari 25-19% pada kayu memungkinkan untuk meningkatkan yield secara signifikan tetapi juga meningkatkan reject. Pengaruh penurunan active alkali charge lebih besar dibandingkan dengan sulfiditas pada semua kasus.	H.R., . S.N.-A. & . H.A., 2007. Influence of Sulfidity and Active Alkali Charge on the Properties of Pulp Produced from Eucalyptus camaldulensis. Journal of Plant Sciences, 2(6), pp.600–606.

Topik	Hasil	Referensi
Chemical composition and kraft pulping potential of 12 eucalypt species	Dari 12 sampel kayu, didapatkan komposisi kimia pada pulp . Dari semua sampel menunjukkan perbedaan kandungan ekstraktif (6,1-18,9%), lignin (21,6-30,8%) dan holoselulosa (55,4-70,1%). Tingginya variasi komposisi kimia dari pulp yang diproduksi menghasilkan yield (38,9 dan 49,8%) dan derajat delignifikasi (kappa number antara 11,6- 24,2)	Neiva, D., Fernandes, L., Araújo, S., Lourenço, A., Gominho, J., Simões, R., & Pereira, H., 2015. Chemical composition and kraft pulping potential of 12 eucalypt species. <i>Industrial Crops and Products</i> , 66, pp.89–95.
Effect of Cooking Time, Active Alkali Concentration and Refining Process on the Pulp and Papermaking Properties of Buttonwood Residues (<i>Conocarpus erectus</i> L.)	Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi active alkali charge dan waktu pemasakan pada sifat pulp dan kertas yang diproduksi dari buttonwood (<i>Conocarpus erectus</i> L.). Hasilnya menunjukkan bahwa meningkatnya konsentrasi active alkali charge dari 17 ke 23% menghasilkan penurunan nilai kappa number dari 40,6 menjadi 33,22, total yield pulp dari 55,46 menjadi 48,36% dan kandungan lignin dari 6,01 menjadi 4,98%. Bertambahnya waktu cooking dari 60 menit menjadi 120 menit juga menghasilkan penurunan kappa number dari 39,80 menjadi 33,27 dan total yield pulp dari 54,90 menjadi 49,33% dan kandungan lignin dari 5,97 menjadi 4,99%.	Abdel-Aal, M. A. 2013. “Effect of Cooking Time, Active Alkali Concentration and Refining Process on the Pulp and Papermaking Properties of Buttonwood Residues (<i>Conocarpus Erectus</i> L.)” <i>World Applied Sciences Journal</i> 27(1):1–9.
Effect Of Lignin On <i>Acacia Mangium</i> Kraft Pulp Refining Behaviour	Desain penelitian proses kraft pulping pada variasi active alkali charge, temperatur dan waktu cooking yang berbeda didapatkan Total yield pulp dan kappa number mempunyai korelasi yang tinggi. Tingginya yield yang didapatkan berhubungan dengan tingginya kandungan lignin. Pada Sulfitity 20%, temperatur 165° C dan waktu cooking 105 menit pada Active alkali charge 15,5 % dan 20,5%	Rosli, W. D. W. A. N., Mazlan, I., Law, K. N. And Rosli, W. D. W. A. N. (2011) ‘Effect Of Lignin On <i>Acacia Mangium</i> Kraft Pulp Refining Behaviour’, 45, Pp. 643–648.

	<p>didapatkan masing-masing total yield 48,8% dan 45,2%, kappa number 38,9 dan 19,7 %.</p> <p>Active alkali charge 15,5% dan 20,5% dengan temperatur cooking 165° C dan waktu cooking 135 menit didapatkan masing-masing total yield 48,5 % dan 44,8% , kappa number 32,9 dan 15.</p>	
Influence on pulping yield and pulp properties of wood density of Acacia melanoxylon	<p>Densitas kayu dan yield pulp merupakan parameter utama yang menunjukkan produktifitas pohon dan kualitas pulp. Pada kondisi pemasakan kraft pulping yang sama, screen yield pulp yang didapatkan antara 47,0-58,2% dan kappa number 10,9-18,4. Yield pulp dan kappa number tidak berhubungan dengan densitas kayu. Tingginya yield pulp berkaitan dengan rendahnya kappa number dan konsumsi alkali, komposisi kimia bahan baku memainkan peran penting pada proses kraft pulping.</p>	<p>Santos, A., Anjos, O., Amaral, M. E., Gil, N., Pereira, H., & Simões, R. (2012). Influence on pulping yield and pulp properties of wood density of Acacia melanoxylon. <i>Journal of Wood Science</i>, 58(6), 479–486.</p>
The effects of temperature, alkali charge and additives in the oxygen delignification in high kappa number eucalyptus pulp kraft	<p>Kondisi cooking : Active alkali charge 13%, Sulfiditas 25%, temperatur 170, H-factor 580 dan rasio chip kayu dan liquor 1:4. Dengan menggunakan proses kraft didapatkan total yield 62,9% dengan nilai kappa number 65.</p>	<p>Bonfatti Júnior, E.A. & Silva Júnior, F.G. da, 2018. The effects of temperature, alkali charge and additives in the oxygen delignification in high kappa number eucalyptus pulp kraft. <i>Scientia Forestalis</i>, 46(118).</p>
Effect of Temperature and Time on the Kraft Pulping of Egyptian Bagasse	<p>Pada active alkali charge 20%, temperatur 160-165-170-175-180°C) dan waktu 30,60,90,120 dan 150 menit. Analisa kandungan kimia kraft pulping process pada temperatur dan waktu yang bereda ini didapatkan bahwa yield pulp menurun dengan bertambahnya waktu dan naiknya temperatur. Penurunan ini dikarenakan degradasi karbohidrat dan larutnya dan lignin.</p>	<p>Mohamed Bassiouni dan Morsy Ghazy, 2016. Effect of Temperature and Time on the Kraft Pulping of Egyptian Bagasse. <i>International Journal of Science and Research (IJSR)</i>, 5(2), pp.179–184.</p>

Topik	Hasil	Referensi
Influence of cooking condition on pulp properties of acacia auriculiformis in kraft pulping	Menggunakan 300 gr chip dengan rasio chip dan liquor adalah 1:4. Screen yield pulp tertinggi didapatkan pada nilai active alkali 16% dan temperatur yang rendah yaitu 43,6%. Temperatur yang lebih tinggi dan waktu pemasakan yang lebih lama didapatkan penurunan screen yield. Screen yield terendah didapatkan pada active alkali dan temperatur yang teritinggi. Pada waktu pemasakan yang lebih lama nilai active alkali dan temperatur yang lebih tinggi, didapatkan nilai kappa number yang lebih rendah. Variasi kappa number yang paling berbeda adalah pada kondisi temperatur 170 C dengan active alkali 18% dan waktu 120 menit, pada active alkali 16% dan waktu 90 menit. Sedangkan pada waktu yang sama yaitu 90 menit dengan Active alkali 18% pada temperatur 180 C dan active alkali 16% pada temperatur 170 C perbedaan nilai kappa numbernya tidak terlalu signifikan.	Jahan, M.S., Sabina, R. & Rubaiyat, A., 2007. Influence of Cooking Conditions on Pulp Properties of Acacia auriculiformis in Kraft Pulping. JAPAN TAPPI JOURNAL, 61(11), pp.1367–1375.

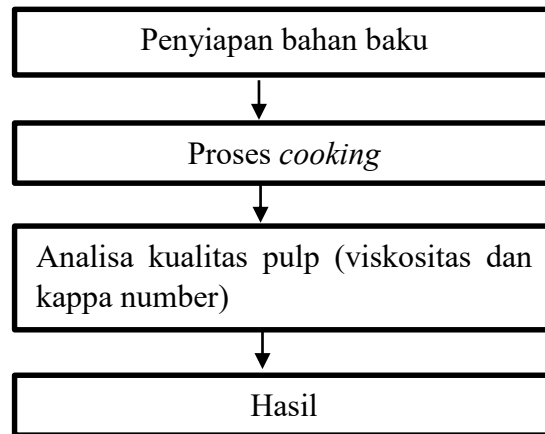
BAB 3

METODA PENELITIAN

3.1. Rancangan Penelitian

Penelitian dilakukan secara experimental di Balai Besar Pulp dan Kertas (BBPK) Bandung dan Laboratorium Teknik Reaksi Kimia, Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penelitian dilakukan mengikuti prosedur sebagai berikut (Gambar 3.1):



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.2. Bahan dan Alat

3.2.1. Bahan yang digunakan pada Proses *Cooking*

Bahan baku pembuatan pulp ini menggunakan beberapa variasi jenis kayu : *Acacia Mangium* (umur 5 tahun), *Eucalyptus Pellita* (umur 5 tahun) dan *Manihot Esculenta Cranzt* (umur 8-10 bulan). Ukuran chip pada proses *kraft pulping* yaitu dengan panjang 10 mm – 30 mm dan ketebalan 5 mm – 8 mm. Kandungan air (*moisture*) kurang dari 25%. Kandungan *active alkali* : 100 g/l – 105 g/l dengan sulfiditas 25% - 28%.

3.2.2. Alat yang digunakan

- a. *Hot air rotary digester* – Haato (6 chamber) : Haato/F1-229, *Manufacture Haato stainless Oy – Finland* dengan volume $6 \times 2.5 \text{ dm}^3$ dan temperatur maksimal 200°C , lebih jelasnya digester ini bisa dilihat pada Gambar 3.2.

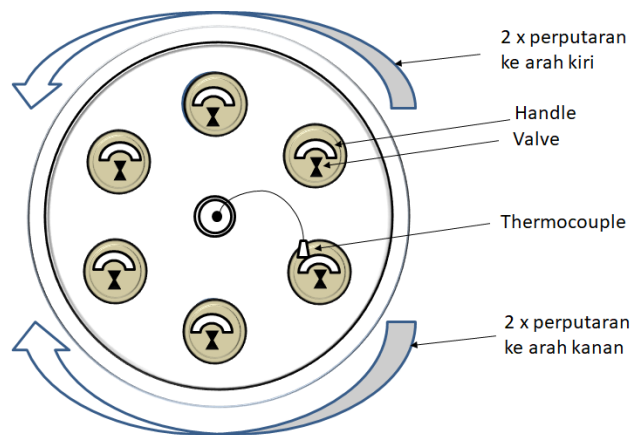


Gambar 3.2. Digester *Haato* dengan 6 tabung (*chambers*), (a) Digester tampak samping, (b) Digester tampak depan, (c) Tabung yang digunakan sebagai tempat sampel selama proses *cooking*.

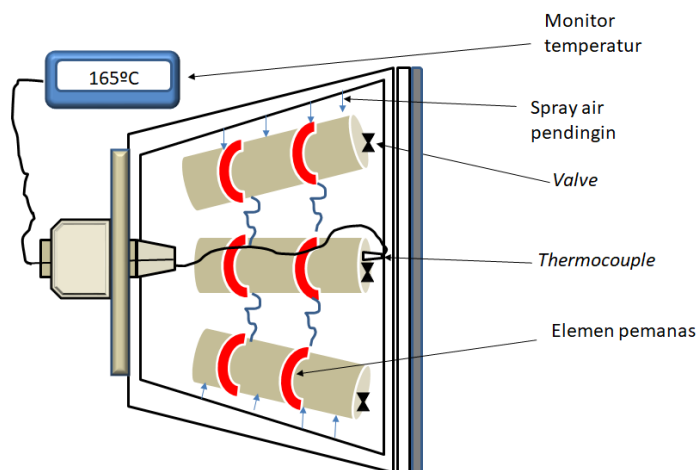
(Sumber Gambar (a), (b) dan (c): Laboratorium Balai Besar Pulp dan Kertas Bandung, 2017)

Skema kerja proses *cooking* menggunakan digester ini adalah : Chips kayu yang sudah ditimbang (*oven dry*) dimasukkan ke dalam tabung, diisikan *white liquor* sesuai dengan konsumsi *active alkali charge*. Chamber ditutup dan dicek hingga tidak ada kebocoran kemudian dipindahkan ke dalam digester. Setelah tabung diletakkan di dalam digester, digester ditutup dan mulai dilakukan proses *cooking* dengan menyalakan digester hingga suhu dan waktu yang sudah ditentukan untuk proses pulping. Setelah temperatur dan waktu pemasakan tercapai, digester dibiarkan dingin terlebih dahulu.

Untuk Skema kerja lebih jelasnya di jelaskan pada Gambar 3.3 dan 3.4 menunjukkan posisi *chambers* di dalam digester



Gambar 3.3 Skema kerja Digester Haato 6 *chambers*

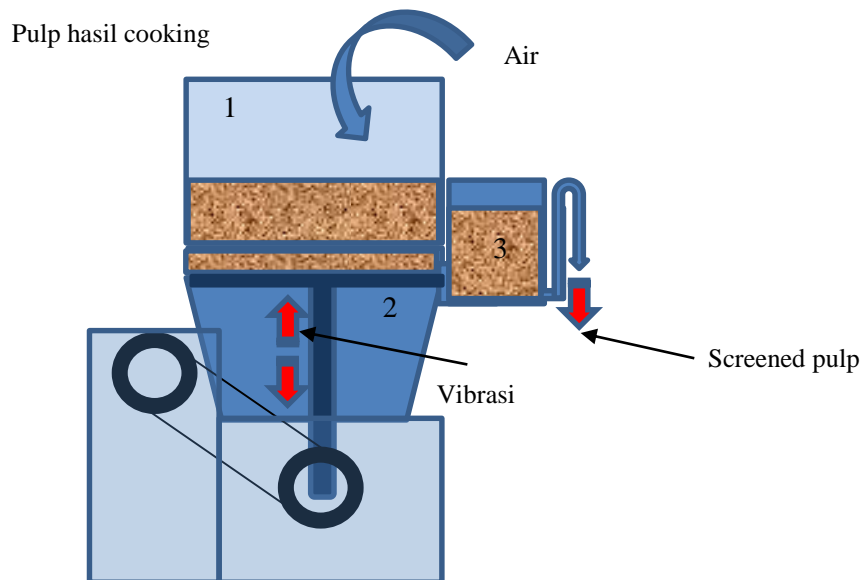


Gambar 3.4 Posisi *Chamber* dalam Digester tampak samping

- b. *Screen Somerville* : 0.15 mm slot, *Type 302*, No. Seri. TA0302.

Pulp yang sudah di *cooking* dan dicuci kemudian di masukkan ke dalam *screen somerville* guna untuk memisahkan *screen pulp* dan *rejects* yang terbentuk. Proses *screening* ini dipisahkan berdasarkan ukuran partikel yang diinginkan. Pulp yang lolos proses *screen* ini merupakan *screened yield pulp* sedangkan yang tertahan di permukaan merupakan *reject*. Cara kerja *screen somerville* ini pertama pulp hasil *cooking* dimasukkan ke dalam bak penampung dan ditambahkan air untuk mempermudah proses *screening*, bagian mesin

screening akan memberikan frekuensi getaran yang sesuai. Pulp yang tidak lolos screening merupakan reject yang tidak memenuhi standar kualitas pulp yang diinginkan. Pulp yang lolos screening kemudian diuji kualitasnya. Lebih lengkapnya Screen somerville bisa dilihat pada Gambar 3.5



Keterangan :

1. Bak penampung material
2. Screen vibrator
3. Bak penampung maerial hasil screening

Gambar 3.5 Screen Somerville

3.3 Variabel Penelitian

3.3.1 Variabel tetap

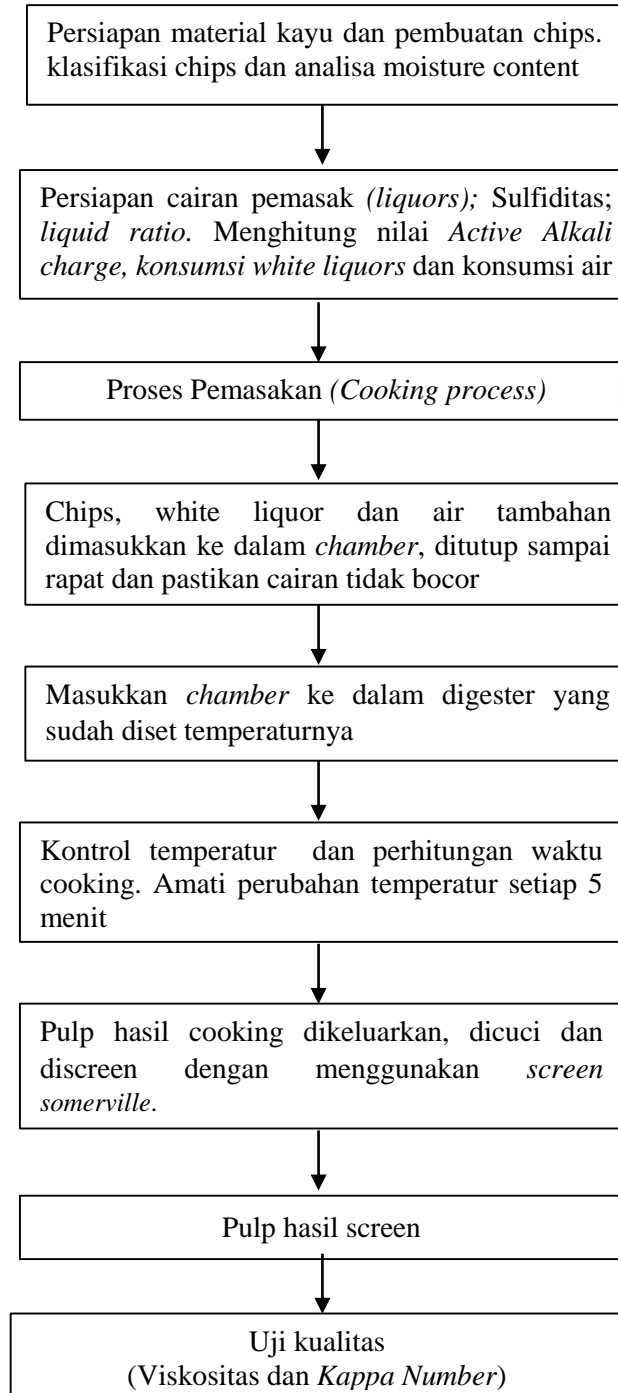
Temperatur : 165°C ; *H-Factor* : 800 ; *Liquid ratio* : 3,5; Sulfiditas 25%

3.3.2 Variabel berubah

Bahan baku : 3 jenis kayu (*acacia mangium*, *eucalyptus pellita* dan *Manihot esculenta crantz*); *Active alkali charge* 16%, 17%, 18%, 19% dan 20%.

3.4 Prosedur Penelitian

Tahap penelitian meliputi Analisa awal basic density dan komponen kimia kayu, proses *cooking* dan analisa *unbleached pulp*.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *active alkali charge* terhadap delignifikasi dan degradasi fiber pada proses pulping dengan menggunakan metode *kraft pulping process*

4.1. Analisa Densitas Kayu

Dari Lampiran C.1 Tabel Analisa basic density kayu dapat dilihat bahwa densitas batang *Manihot Esculenta Crantz* sebesar $0,480 \text{ g/cm}^3$, *Eucalyptus Pellita* $0,483 \text{ g/cm}^3$ dan untuk densitas *Acacia Mangium* sebesar $0,499 \text{ g/cm}^3$. Jika dibandingkan nilai densitas yang didapatkan, kayu *manihot esculenta crantz* memiliki densitas yang hampir sama dengan *Acacia Mangium* dan *Eucalyptus Pellita* sehingga sudah memenuhi syarat untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuatan pulp. Menurut Yahya et al (2010) Rata-rata nilai densitas kayu *acacia mangium* berumur 5 tahun adalah $0,42 \text{ g/cm}^3$. Densitas kayu yang direkomendasikan untuk bahan baku pulp dari kayu jenis *eucalyptus* antara $0,450 - 0,550 \text{ g/cm}^3$ (Foelkel, 2009).

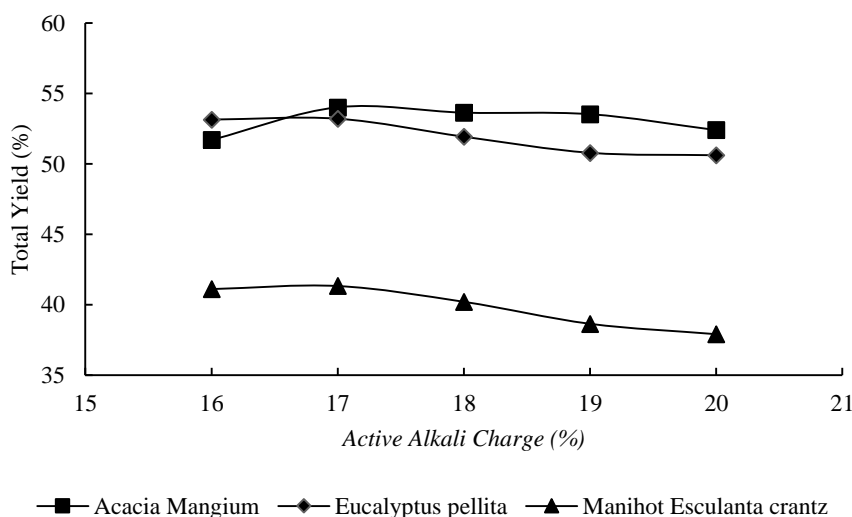
Menurut IAWA berat jenis kayu dibedakan menjadi tiga kelompok yaitu rendah ($<0,40 \text{ g/cm}^3$), sedang ($0,40-0,75 \text{ g/cm}^3$) dan tinggi ($>0,75 \text{ g/cm}^3$). Berat jenis kayu digunakan untuk pulp berkisar antara $0,35-0,65 \text{ g/cm}^3$. Kayu dengan berat jenis tinggi akan menghasilkan randemen pulp yang tinggi, akan tetapi menghabiskan lebih banyak bahan kimia dalam proses pulping sehingga dibutuhkan kayu dengan berat jenis $0,40-0,60 \text{ g/cm}^3$ agar menghasilkan randemen pulp dan kertas yang optimal. Semakin tinggi berat jenis kayu semakin rendah randemen pulp, kematangan pulp (*kappa number*) dan fisik lembaran pulp yang dihasilkan (Haroen, 2006).

4.2. Proses Cooking Chip Kayu

Proses *cooking* ini bertujuan untuk mengubah bahan lignoselulosa menjadi serat yang dikenal sebagai pulp yang digunakan untuk pembuatan kertas. Tujuan utama dari proses *cooking* ini adalah untuk menurunkan kandungan lignin

(delignifikasi) yang dapat diukur dari tinggi rendahnya *kappa number* (KaNo) sesuai dengan standar minimum sebagai pulp reject. *Cooking* dengan kondisi operasi target kappa: 18, rasio antara chips kayu dan cairan pemasak adalah 1:3,5, sulfiditas 25%, nilai *active alkali charge* yang digunakan adalah 16%, 17%, 18%, 19% dan 20% untuk masing-masing sampel kayu dengan nilai *H-factor* 800.

Dari Lampiran C.7 Tabel Hasil *Cooking* Kayu, dapat dilihat perbedaan hasil cooking pada nilai *total yield*, *screened yield*, *kappa number* dan viskositas tergantung pada tingkatan *active alkali charge* yang digunakan.

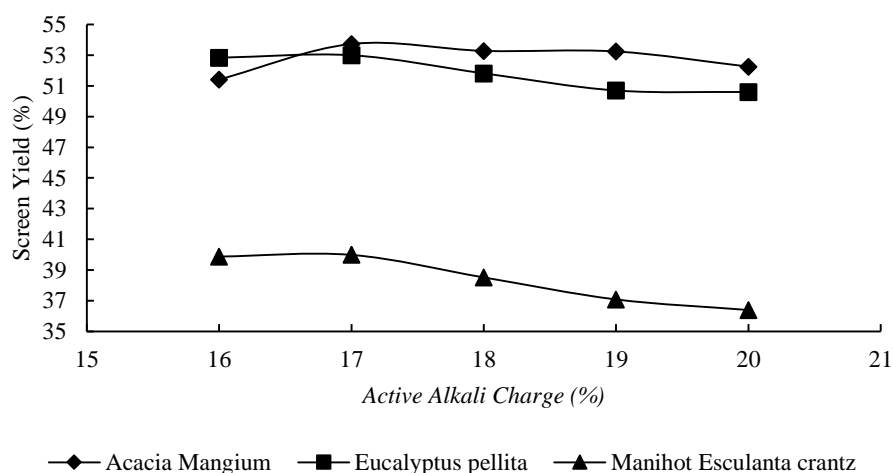


Gambar 4.1 Pengaruh *Active Alkali Charge* Terhadap Total Yield pada kayu *Acacia Mangium*, *Eucalyptus Pellita* dan *Manihot Esculenta Crantz*

Dari Gambar 4.1 nilai total yield paling tinggi untuk *acacia mangium* adalah pada *active alkali charge* 17% yaitu 54,01% dan pada *active alkali charge* 16% nilai total yield lebih rendah yaitu 51,71% sedangkan pada *active alkali charge* 18-20% total yield pada *acacia mangium* kembali menurun yaitu 53,63%, 53,52% dan 52,4%. Pada *Eucalyptus Pellita* juga memiliki kecenderungan yang sama yaitu pada nilai *active alkali charge* 16% total yieldnya 53,14%. Total yieldnya naik pada *active alkali charge* 17% dan kembali turun pada nilai *active alkali charge* 18-20% yaitu 51,92%, 50,775% dan 50,6% karena pada tahap ini cairan pemasak sudah mendegradasi selulosa. Pada nilai *active alkali charge* 16% nilai total yield lebih rendah yaitu 53,14% karena chips kayu pada proses *cooking* masih kekurangan

pelarut untuk proses delignifikasi, sedangkan pada *active alkali charge* 17% merupakan kondisi terbaik proses delignifikasi karena tingginya yield yang terbentuk. Pada *manihot esculenta crantz* juga memiliki kecenderungan yang sama yaitu nilai total yield cenderung menurun dengan kenaikan *active alkali charge*, nilai total yield pada *active alkali charge* 16% didapatkan 41,11% tertinggi didapat pada nilai *active alkali charge* 17% yaitu sebesar 41,33%, pada *active alkali charge* 18%-20% nilai total yied kembali menurun yaitu 40,2%, 38,63% dan 37,89%.

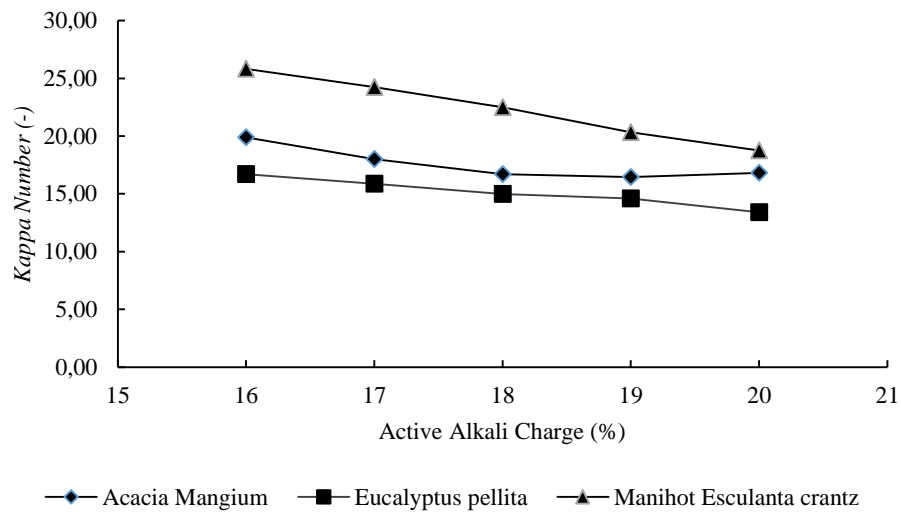
Gabriela *et al.*, (2001) melakukan penelitian yang sama dengan bahan baku *eucalyptus spp* dengan *active alkali charge* 10% - 20% didapatkan kecenderungan penurunan nilai total yield dengan meningkatnya *active alkali charge*.



Gambar 4. 2 Pengaruh *Active Alkali Charge* (%) terhadap *Screen Yield* (%) pada kayu *Acacia Mangium*, *Eucalyptus Pellita* dan *Manihot Esculenta Crantz*.

Meningkatnya *active alkali charge* menyebabkan penurunan screen yield pulp seperti yang terlihat pada Gambar 4.2 semakin tinggi *active alkali charge* yang digunakan selama proses *cooking* semakin rendah yield pulp yang terbentuk. Pada nilai *active alkali charge* 16% didapatkan nilai *screen yield* untuk masing-masing kayu sebesar 51,41% pada *acacia mangium*, 52,84% pada *eucalyptus pellita* dan 39,88% pada *manihot esculenta crantz*. *Screen yield* tertinggi juga didapatkan pada nilai *active alkali charge* 17% yaitu 53,73% pada *acacia mangium*, 53% pada *eucalyptus pellita* dan 39,99% pada *manihot esculenta crantz*. Hal ini disebabkan

oleh meningkatnya laju delignifikasi, banyaknya lignin yang terdelignifikasi menghasilkan pulp dengan kualitas fisik yang lebih baik. Namun, penggunaan *active alkali charge* yang terlalu tinggi juga dapat menyebabkan degradasi serat. Penggunaan *active alkali charge* yang terlalu rendah juga akan menghasilkan lebih banyak *rejects* yang tidak diharapkan dalam pulp. *Reject* disebabkan oleh proses *cooking* yang tidak merata sehingga proses delignifikasi tidak sempurna dan menurunkan kualitas pulp. Oleh karena itu penggunaan *active alkali charge* perlu diperhatikan untuk mendapatkan pulp dengan kualitas yang baik. MacLeod, (2007) menghitung pengaruh meningkatnya *active alkali charge* terhadap penurunan yield pulp dan menyimpulkan bahwa setiap kenaikan 1% *active alkali charge* akan menurunkan 0,15% yield pulp dan penurunan yield semakin tinggi pada *hardwood* dikarenakan tingginya kandungan hemiselulosa yang rentan terhadap alkali. Untuk nilai maksimum screen yield pada *acacia mangium*, *eucalyptus pellita* dan *manihot esculenta crantz* terlihat pada nilai *active alkali charge* 17%. Menurut Santos, et al (2015) karbohidrat, selulosa dan hemiselulosa sangat tidak stabil dalam larutan alkali. Selama pemasakan dengan alkali terjadi pemutusan ikatan glucosidic yang menyebabkan terpisahnya group atau rantai cabang dan rantai pokok karbohidrat. Pemutusan ini menghasilkan bentuk senyawa yang larut dengan berat molekul yang rendah dan mengakibatkan penurunan yield. Pemutusan karbohidrat secara kimia selama proses pulping alkali meliputi beberapa jenis reaksi yang berbeda yang dipengaruhi oleh konsentrasi OH^- tapi tidak tergantung pada adanya ion (S^- dan SH^-) yang digunakan pada proses kraft.



Gambar 4. 3 Pengaruh Active Alkali Charge (%) terhadap *Kappa Number* pada kayu *Acacia Mangium*, *Eucalyptus Pellita* dan *Manihot Esculenta Crantz*

Dalam range normal nilai kappa number yang >20 menggambarkan bahwa pulp tidak dapat di bleaching karena membutuhkan banyak bahan kimia pada proses tersebut. Nilai *kappa number* diharapkan < 20 sesuai dengan standar pada *pulping alkaline* dimana range standar *kappa number* untuk *acacia mangium* sebesar 12-18 (Pulp Making Section, 2006).

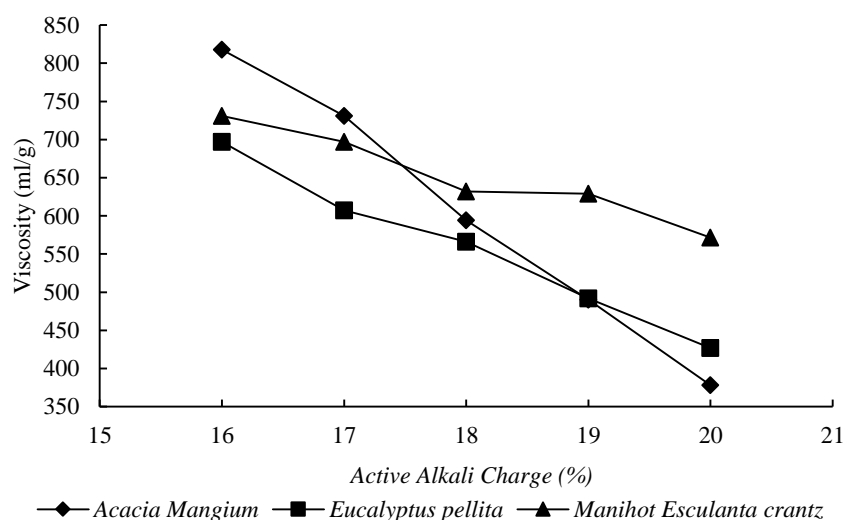
Pulp dengan derajat delignifikasi yang baik ditunjukkan dengan rendahnya nilai *kappa number* yang menunjukkan proses delignifikasi yang sudah komplit. Tingginya *kappa number* menunjukkan masih adanya kadar lignin yang terkandung pada pulp yang dihasilkan setelah proses pemasakan chip, berarti chip kayu yang dimasak belum sepenuhnya masak dan pulp yang dihasilkan belum menjadi serat murni dan masih mengandung zat pengotor selain selulosa dan hemiselulosa. Untuk mendapatkan nilai *kappa number* yang diinginkan, konsentrasi *active alkali* harus diperhatikan. Penggunaan *active alkali* yang berlebih untuk menurunkan nilai *kappa number* dapat merusak serat selulosa artinya bukan hanya lignin yang larut tetapi selulosa juga ikut larut dalam cairan pemasak.

Berdasarkan Gambar 4.3 Pengaruh *Active Alkali Charge* terhadap *Kappa Number*, terlihat nilai *kappa number* semakin menurun seiring dengan meningkatnya *active alkali charge*. Hal tersebut disebabkan karena degradasi lignin

yang semakin besar dengan semakin tingginya *active alkali charge* pada cairan pemasak yang digunakan. Pada tingkatan *active alkali charge* 17- 20% pada *acacia mangium* sudah memenuhi standar nilai *kappa number* yaitu ≤ 18 . Namun pada *active alkali charge* 16% menghasilkan *kappa number* sebesar 19,90 yang masih lebih tinggi dari standar pulp sesuai *pulping alkaline standard* namun masih sesuai dengan range normal standar kualitas pulp yaitu < 20 . Pada *eucalyptus pellita* nilai *kappa number* pada *active alkali charge* 16-20% masih memenuhi standar. Nilai *kappa number* untuk *manihot esculenta crantz* pada *active alkali charge* 16-19% masih cukup tinggi yaitu antara 25,82 dan 20,34, tingginya nilai *kappa number* menunjukkan masih tingginya kandungan lignin pada pulp yang dihasilkan. Sementara jika *kappa number* yang dihasilkan sangat rendah mengindikasikan bukan hanya lignin yang larut dalam pulp, namun juga kandungan selulosa di dalam pulp tersebut sudah rusak yang nantinya akan berpengaruh terhadap kualitas pulp, kesulitan saat pemutihan pulp dan kekuatan pulp yang rendah. Almeida, (2003) mempelajari sifat perbandingan screen yield dan *kappa number*, dilaporkan bahwa untuk nilai *kappa number* yang kurang atau sama dengan 18 secara praktek mempunyai pengaruh yang linear terhadap screen yield pada proses pulping. Untuk nilai *kappa number* sekitar 25 menunjukkan penurunan screen yield dikarenakan tingginya rejects yang dihasilkan, berhubungan dengan rendahnya *active alkali charge* yang digunakan pada proses *cooking*. Dari Lampiran C.9 Tabel Perhitungan *Kappa Number*, dapat dilihat bahwa pada *acia mangium* dengan *kappa number* 18,00 dan 16,69 didapatkan screen yield 53,73 % dan 53,28% sedangkan untuk *eucalyptus pellita* dengan *kappa number* 16,69 didapatkan screen yield sebesar 52,84%, untuk *kappa number* 15,87 didapatkan screen yield sebesar 53%, pada *kappa number* 14,99 didapatkan screen yield sebesar 51,82%, pada *kappa number* 14,6 didapatkan screen yield sebesar 50,7 % dan pada *kappa number* 13,4 didapatkan screen yield sebesar 50,6%. Selain rasio cairan pemasak atau jumlah pemakaian *white liquor*, *kappa number* juga dapat dipengaruhi dengan mengontrol parameter selama proses pemasakan berlangsung seperti *H-Factor* atau waktu pemasakan yang diperpanjang apabila *active alkali charge* yang digunakan rendah atau dengan memperpendek waktu pemasakan dengan *active alkali charge* tinggi. Selain itu juga dipengaruhi oleh kadar air kayu, semakin rendah kadar air kayu

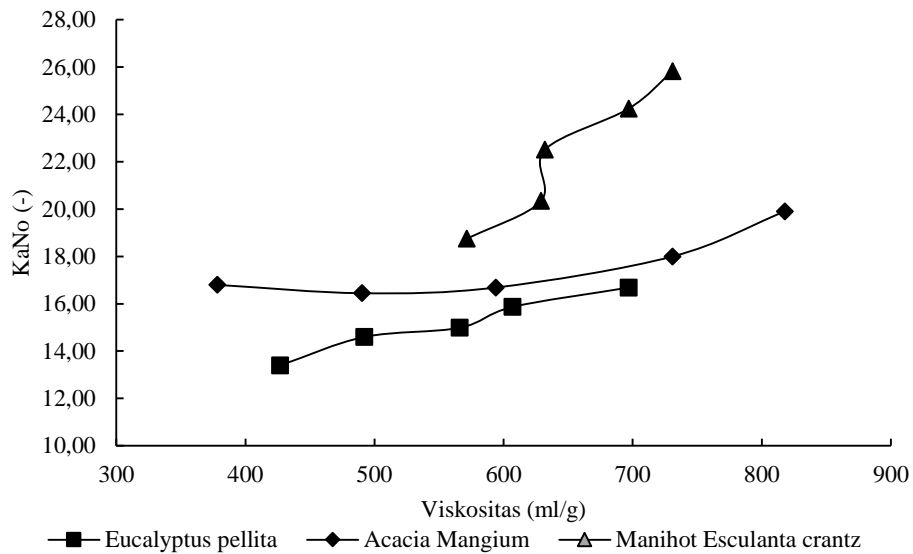
maka semakin mudah melarutkan lignin dan zat ekstraktif (pengotor) dalam pulp, serta efisiensi pencucian dengan pencucian yang dilakukan semaksimal mungkin, maka semakin sedikit lignin dan zat ekstraktif yang terikut dalam rendemen pulp.

Viskositas secara luas digunakan sebagai parameter untuk mengontrol kualitas pulp pada fase yang berbeda pada proses pulping. Parameter viskositas terkait dengan rata-rata derajat polimerisasi dan berat molekul polimer. Pengukuran ini digunakan secara tidak langsung untuk memperkirakan derajat polimerisasi dan mengetahui sejauh mana karbohidrat dipecah selama proses untuk mendapatkan selulosa. Secara umum tingginya viskositas mengindikasikan besarnya ketahanan karbohidrat, oleh karena itu sifat ketahanan fisik yang baik terutama yang tergantung pada ikatan antar serat. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.4 viskositas semakin rendah dengan meningkatnya active alkali charge. Harga viskositas yang tinggi pada *active alkali charge* yang rendah karena kerapatan atau ikatan antar serat yang tetap baik, walaupun selulosa ikut terdegradasi oleh cairan pemasak.



Gambar 4.4 Pengaruh *Active Alkali Charge* (%) terhadap *Viscosity* (ml/g)

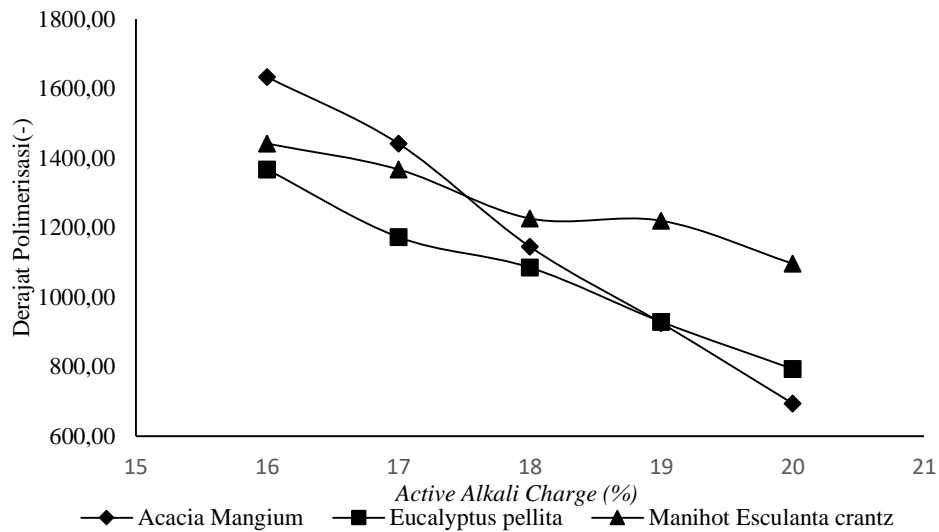
Rendahnya *active alkali charge* akan menghasilkan viskositas yang rendah karena tingginya derajat polimerisasi. Serat selulosa yang terdegradasi oleh cairan pemasak menyebabkan kekuatan serat dan kelarutan pulp menjadi lebih rendah. Viskositas pulp yang tinggi akan menghasilkan pulp dengan kualitas yang lebih baik, khususnya strength atau kekuatan pulp, daya tarik dan daya sobek pulp.



Gambar 4. 5 Pengaruh Viskositas Terhadap KaNo

Viskositas dan *kappa number* digunakan untuk mengetahui kandungan lignin serta degradasi karbohidrat pada proses pulping. Dari grafik pada Gambar 4.5 Dapat dilihat bahwa semakin tinggi viskositas semakin tinggi *kappa number*. Lignin secara ekstensif sudah hilang dan degradasi selulosa meningkat dengan meningkatnya nilai *active alkali charge* yang digunakan pada proses pulping. Lignin telah hilang dengan pemutusan ikatan antara ikatan α - dan β -aryl ether antara unit propana dan selanjutnya pemutusan pada liquor sedangkan degradasi selulosa oleh hidrolisa alkali pada temperatur tinggi. (Li, 2008)

Menurunnya hemiselulosa menyebabkan menurunnya viskositas pulp dikarenakan menurunnya derajat polimerisasi dibandingkan dengan selulosa (Vu et al., 2004). Hilangnya hemiselulosa pada derajat delignifikasi yang rendah dapat menghasilkan viskositas pulp yang lebih tinggi. Menurunnya viskositas *unbleach pulp* lebih dari 20% dapat disebabkan karena meningkatnya kandungan OH^- tidak hanya mendegradasi lignin tetapi pada konsentrasi yang tinggi juga mendegradasi selulosa. Degradasi selulosa oleh alkali dapat berlanjut melalui peeling reaction dan hidrolisa basa yang menyebabkan hilangnya viskositas pulp (Sharma dan Shukula, 2005).



Gambar 4. 6 Pengaruh Active Alkali charge(%) terhadap derajat polimerisasi (-)

Pan G.X., (2004) mengatakan bahwa derajat polimerisasi pada fiber berhubungan dengan yield pulp jika dilihat dari hemiselulosa yang mempengaruhi viskositas pulp. Tingginya active alkali charge akan menghasilkan viskositas yang rendah dikarenakan tingginya derajat polimerisasi seperti yang ditunjukkan pada grafik Gambar 4.6 ikatan antar serat khususnya selulosa terdegradasi oleh liquor menyebabkan kekuatan fiber menjadi rendah dan meningkatnya kelarutan pulp. Proses delignifikasi dan degradasi terjadi selama proses kraft pulping. Derajat polimerisasi tergantung pada jenis kayu, teknologi proses pengolahan dan metode isolasi selulosa. Menurut Zugenmaier, (2008), nilai derajat polimerisasi pada kraft pulping antara 950-1300. Rendahnya berat molekul dibawah tingkat tertentu akan menyebabkan berkurangnya kekuatan pulp.

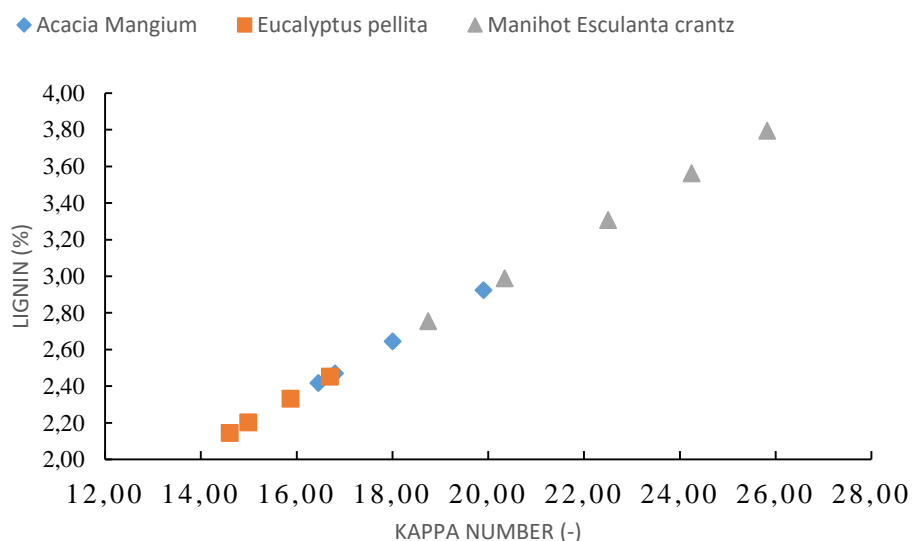
4.3. Analisa Kelarutan NaOH 1%

Bahan-bahan yang terlarut pada NaOH 1% ini merupakan komponen gula rantai pendek seperti komponen dari hemiselulosa atau gula dari ekstraktif (Yunanta, 2014). Kelarutan NaOH 1% untuk masing- masing kayu acacia mangium, eucalyptus pellita dan manihot esculenta crantz masing-masing adalah 18, 19 dan 2,5 %. Kelarutan dalam NaoH 1% ini memberikan gambaran adanya kerusakan kayu yang diakibatkan oleh serangan jamur pelapuk kayu atau terdegradasi oleh cahaya, panas dan oksidasi (Hastuti et al., 2017). Semakin tinggi

kelarutan dalam NaOH 1% menunjukkan tingkat kerusakan kayu juga meningkat dan dapat menurunkan randemen pulp. Semakin bertambah umur pohon juga menyebabkan semakin tingginya kelarutan kayu dalam NaOH 1%.

4.4. Analisa Kandungan lignin dalam pulp

Lignin berfungsi sebagai perekat antar serat, tidak larut dalam air dan bersifat stabil di alam (Watkins, dkk., 2015). Lignin sisa dalam pulp memiliki pengaruh yang kurang baik terhadap warna dan menyebabkan lembaran menjadi kaku (Sugesty, et al., 2015)



Gambar 4.7 Pengaruh Nilai *Kappa Number* terhadap kadar lignin (%) dalam pulp kayu *Acacia Mangium*, *Eucalyptus Pellita* dan *Manihot Esculenta Crantz*

Kadar lignin di dalam pulp digunakan untuk mengetahui berapa persen bahan kimia yang digunakan dan berapa persen kadar lignin yang tertinggal setelah proses pulping selesai. Pulp dan kertas yang baik harus mempunyai kadar lignin yang rendah (<4%) (Martawijaya, A dan Barly, 2009).

Kappa number digunakan untuk menentukan kadar lignin yang masih terdapat di dalam pulp. Dari grafik Gambar 4.7 Pengaruh nilai *kappa number* terhadap lignin (%) dalam pulp, dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai *kappa number* semakin tinggi lignin yang masih terkandung di dalam pulp. Pada kayu *Acacia Mangium* dengan nilai kappa berturut-turut 19,90 , 18,0 , 16,69 , 16,45 dan 16, 8 di dapatkan % lignin masing-masing sebesar 2,93%, 2,65%, 2,45% dan

2,42%. Pada Kayu *Eucalyptus pellita* dengan masing-masing kappa number 16,69 , 15,87 , 14,99 , 14,6 dan 13,4 didapatkan % lignin sebesar 2,45%, 2,33%, 2,20%, 2,15% dan 1,97%. Sedangkan pada kayu *Manihot Esculenta Crantz* dengan kappa number 25,82 , 24,24 , 22,50 , 20,34 dan 18,74 didapatkan masing-masing % lignin 3,80%, 3,56%, 3,31%, 2,99% dan 2,75%. Dari data yang di dapat kandungan lignin di dalam pulp kayu manihot esculenta crantz relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan lignin pada pulp kayu acacia mangium dan eucalyptus pellita.

4.5. Kinetika Proses Delignifikasi *Acacia Mangium*, *Eucalyptus Pellita* dan *Manihot Esculenta Crantz*

$$-\frac{dL}{dt} = k.L$$

$$-\frac{dL}{L} = k. dt$$

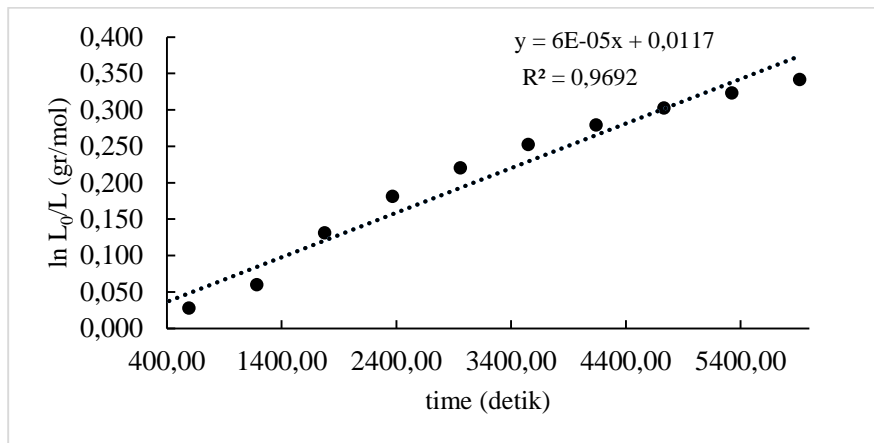
$$-\int \frac{dL}{L} = k \int dt$$

$$-\ln L]_{L_0}^L = k. dt]_{t_0}^t$$

$$-[\ln L - \ln L_0] = k[t_0 - t]$$

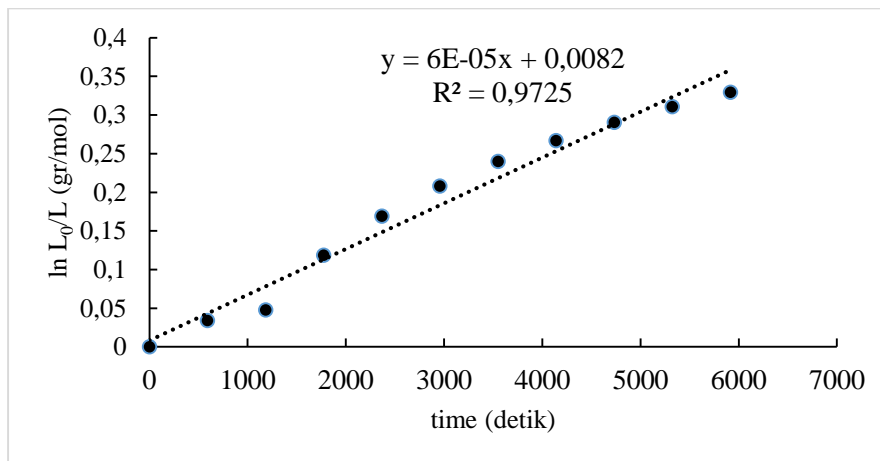
$$\ln \frac{L_0}{L} = k[t_0 - t]$$

Pada proses pembuatan pulp dari kayu *Acacia Mangium*, *Eucalyptus Pellita* dan *Manihot Esculenta Crantz* dengan menggunakan metode kraft pulping. Dari kandungan lignin yang terdapat di dalam pulp dengan variasi *H-factor* yang digunakan, dapat diplot pengaruh waktu terhadap $\ln L_0/L$ seperti pada grafik Gambar 4.8. Plot data waktu terhadap $\ln L_0/L$ pada Kayu *Acacia Mangium* dengan *active alkali charge* 17 % , grafik Gambar 4.9. Plot data waktu terhadap $\ln L_0/L$ pada Kayu *Eucalyptus Pellita* dengan *active alkali charge* 17 % dan grafik Gambar 4.10 Plot data waktu terhadap $\ln L_0/L$ pada Kayu *Manihot Esculenta Crantz* dengan *active alkali charge* 17 %.



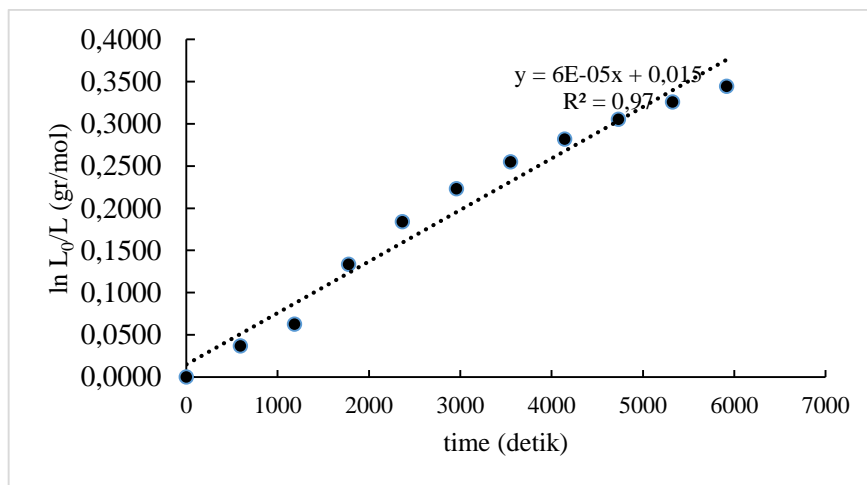
Gambar 4.8 Plot data waktu terhadap $\ln L_0/L$ pada Kayu Acacia Mangium dengan active alkali charge 17 %

Dari grafik Gambar 4.8 menunjukkan bahwa reaksi delignifikasi pada kayu Acacia Mangium mengikuti reaksi orde 1 dengan konstanta laju reaksi (k) sebesar 6×10^{-5} detik⁻¹. Adapun laju pengurangan lignin yang terkandung pada kayu Acacia Mangium dirumuskan berdasarkan persamaan $-r = 6.10^{-5}L$ (mol/L.detik)



Gambar 4.9 Plot data waktu terhadap $\ln L_0/L$ pada Kayu Eucalyptus Pellita dengan active alkali charge 17 %

Dari grafik Gambar 4.9 menunjukkan bahwa reaksi delignifikasi pada kayu Eucalyptus Pellita mengikuti reaksi orde 1 dengan konstanta laju reaksi (k) sebesar 6×10^{-5} detik⁻¹. Adapun laju pengurangan lignin yang terkandung pada kayu Acacia Mangium dirumuskan berdasarkan persamaan $-r = 6.10^{-5}L$ (mol/L.detik)



Gambar 4.10 Plot data waktu terhadap $\ln L_0/L$ pada Kayu Manihot Esculenta Crantz dengan active alkali charge 17 %

Dari grafik Gambar 4.10 menunjukkan bahwa reaksi delignifikasi pada kayu Manihot Esculenta Crantz mengikuti reaksi orde 1 dengan konstanta laju reaksi (k) sebesar $6 \times 10^{-5} \text{ detik}^{-1}$. Adapun laju pengurangan lignin yang terkandung pada kayu Manihot Esculenta Crantz dirumuskan berdasarkan persamaan $-r = 6.10^{-5}L$ (mol/L.detik)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan:

1. Dengan melakukan proses kraft pulping dengan berbagai variasi active alkali charge didapatkan bahwa dengan meningkatnya nilai active alkali charge berpengaruh terhadap % total yield dan % screen yield yang dihasilkan. Meningkatnya *active alkali charge* yang digunakan juga berpengaruh terhadap penurunan viskositas dan *kappa number* yang dihasilkan.
2. Dengan menggunakan variasi *active alkali charge* 16%, 17%, 18%, 19% dan 20% pada masing-masing kayu dapat disimpulkan pada penggunaan *active alkali charge* 16% didapatkan nilai total yield masing-masing sebesar 51,71% untuk *acacia mangium*, 53,14% untuk *eucalyptus pellita* dan 41,11% untuk *manihot esculenta crantz*. Untuk nilai total yield tertinggi didapatkan pada active alkali charge 17% yaitu 54,01% untuk *acacia mangium*, 53,2% untuk *eucalyptus pellita* dan 41,33% untuk *manihot esculenta crantz*. Nilai screen yield yang didapatkan juga memiliki kecenderungan yang sama yaitu pada active alkali charge 16% didapatkan masing-masing 51,41%, 52,84% dan 39,88%. Pada active alkali charge 17% didapatkan nilai screen yield masing-masing sebesar 53,73%, 53% dan 39,99%
3. Dengan melakukan proses pulping dengan berbagai variasi *active alkali charge* pada tiga jenis kayu didapatkan kondisi terbaik dengan % screen yield tertinggi pada masing-masing kayu *Acacia Mangium*, *Eucalyptus Pellita* dan *Manihot Esculenta Crantz* yaitu pada active alkali charge 17% .
4. Adapun laju pengurangan lignin yang terkandung pada kayu *Acacia Mangium*, *Eucalyptus Pellita* dan *Manihot Esculenta Crantz* dirumuskan berdasarkan persamaan $-r = 6.10^{-5}L$ (mol/L.menit)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Aal, M. A. 2013. "Effect of Cooking Time, Active Alkali Concentration and Refining Process on the Pulping and Papermaking Properties of Buttonwood Residues (*Conocarpus Erectus* L.)." *World Applied Sciences Journal* 27(1):1–9.
- Abdul-Kader, R. and Sahri, M.H. 1993 Properties and utilization. *In: Awang, K. and Taylor, D. (eds) Acacia mangium: growing and utilization*, 225–241. MPTS Monograph Series No. 3. Winrock International and Food and Agriculture Organization of the United Nations, Bangkok, Thailand.
- Akgul, M., Y. Copur, and S. Temiz. 2007. A Comparison of Kraft and Kraft Sodium Borohydrate *Brutia* Pine Pulp. *Building and Environment*, 42: 2586–2590.
- Almeida, F. S. 2003. Influência da carga alcalina no processo de polpação lo-solids para madeiras de eucalipto. 115f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)
- Axelsson, 2004. Influence of alkali profiling in birch kraft pulping on QPQP bleachability. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 19(01), pp.037–043
- Bonfatti Júnior, E.A. & Silva Júnior, F.G. da, 2018. The effects of temperature, alkali charge and additives in the oxygen delignification in high kappa number eucalyptus pulp kraft. *Scientia Forestalis*, 46(118).
- Brännvall, E., & Bäckström, M. (2016). Improved impregnation efficiency and pulp yield of softwood kraft pulp by high effective alkali charge in the impregnation stage. *Holzforschung*, 70(11), 1031–1037.
- Carvalho, M. G., Ferreira, P. J., & Figueiredo, M. M. (2001). Cellulose depolymerisation and paper properties in *E . globulus* kraft pulps, 359–368
- Colodette. 2008. New insights on brightness stability of eucalyptus kraft pulp. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 23(01), 102–107.
- Dumanauw, J.F. 2001. *Mengenal Kayu*. Yogyakarta: Kanisius
- Effendi, R. dan Leksono, B. 2009. *Peluang Jenis Pohon Eucalyptus pellita sebagai Kayu Pertukangan*. Prosiding Seminar Nasional MAPEKI XII. Bandung.
- Egas, Ana P.V. et al. 2002. "Experimental Methodology for Heterogeneous Studies in Pulping of Wood." *Industrial and Engineering Chemistry Research* 41(10): 2529–34.
- Egas, Ana P.V. et al. 2002. "Experimental Methodology for Heterogeneous Studies in Pulping of Wood." *Industrial and Engineering Chemistry Research* 41(10): 2529–34.

- Enqvist, Eric. 2006. *Impregnation , Vapor Phase and Methanol As Means of Intensifying the Softwood Kraft Pulping Process*.
- Fatriasari, W. and Iswanto, A. H. 2015. The Kraft Pulp And Paper Properties of Sweet Sorghum Bagasse (*Sorghum bicolor* L Moench), 47(2), pp. 149–159.
- Fengel, D dan Wegener, G, 1995. *Kayu: Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-reaksi. Terjemahan*. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta.
- Fitri, Ramadhan. 2007. Produktifitas Lahan Hutan Tanaman Acacia mangium Willd Di HTI PT Bukit Raya Mudisa . *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*, 7(4), pp.237–249.
- Foelkel, C. 2009. Papermaking Properties of *Eucalyptus* Trees, Woods and Pulp Fibers. from www.eucalyptus.com.br (diakses pada September 2017)
- Gabriela, A., Carvalho, M., Duarte, F. A. S., Gomes, F., & Sacon, M. 2001. The effect of alkali charge on *Eucalyptus* spp . kraft pulping.
- Gullichsen, J., Fogelholm, C.J., 2000. "*Chemical Pulping*," *Finnish Paper Engineers Association and TAPPI*, Jyvaskyla, Finland
- Gunawan, A., Sihotang, D. E. and Thoha, M. Y.,. 2012. “Pengaruh Waktu Pemasakan dan Volume Larutan Pemasak terhadap Viskositas Pulp dari Ampas Tebu” *Jurnal Teknik Kimia Universitas Sriwijaya*, Vol. 18 No.2
- Hardiyanto, E.B. 2003. Growth and genetic improvement of *Eucalyptus pellita* in South Sumatra, Indonesia. dalam. ‘*Eucalypts in Asia*’. (Ed. J.W. Turnbull). ACIAR proceedings.
- Haroen, W.K., 2006. Variabilitas massa jenis kayu daun lebar tropis terhadap karakter serat, kimia dan pulp sulfat. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*, 4 (2), 71-76.
- Hastuti, N., 2017. Komponen Kimia Dan Potensi Penggunaan Lima Jenis Kayu Kurang Dikenal Asal Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 35(1), Pp.15–27
- Hendriks, A.T. and Zeeman, G. 2009. Pretreatments to Enhance the Digestibility of Lignocellulosic Biomass. *Bioresource Technology*, 100, 10-18
- Hermiati, E., Risanto, L., Adly, M., Lubis, R., & Permana, R. (2017). Chemical Characterization of Lignin from Kraft Pulping Black Liquor of *Acacia mangium*, 020005.
- Hillis, W.E. 1987. *Heartwood and Tree Exudates*, Springer-Verlag, Berlin.
- Hilton, O., & Casey, J. P. 1983. Pulp and Paper, Chemistry and Chemical Technology in Two Volumes. *The Journal of Criminal Law, Criminology, and Police Science*, 45(4), 506.
- Hutten, I.M., 2007. Raw Materials for Nonwoven Filter Media. *Handbook of Nonwoven Filter Media*, pp.103–194.
- IAWA Journal, E., 1989. Name. *IAWA Journal*, 10(3), pp.233–233.

- Ibrahim, M., 1998. Clean Fractionation of Biomass - Steam Explosion and Extraction. Faculty of The Virginia Polytechnic Institute and State University
- Jahan, M.S., Sabina, R. & Rubaiyat, A., 2007. Influence of Cooking Conditions on Pulp Properties of *Acacia auriculiformis* in Kraft Pulping. JAPAN TAPPI JOURNAL, 61(11), pp.1367–1375.
- Karlsson, H. 2006 Fibre Guide, Fibre analysis and process applications in the pulp and paper industry. AB Lorentzen & Wetre, Box 4, SE-164 93, KISTA, Sweden, p.120, ISBN 91-631-7899-0
- Kleienrt T.N. & Morton J.R., Electron spin resonance in wood-grinding and wood-pulping. Nature 196(1962)4852 p. 334-336.
- Kocurek, M.J., Otto V. Ingrubber, Al Wong, 1989, *Pulp and Paper manufacture*, The Joint Text Book Committe of Paper Industry, Alkaline Pulping, Vol. 5, TAPPI - CPPA, Canada
- Kurniawan, Asep dan Frescoe B.Y. 2013. “Pengaruh Variasi Campuran *Acacia Mangium* dan *Eucalyptus Pellita* terhadap Kualitas Brownstock Pulp”. Akademi Teknologi Pulp dan Kertas Jalan Raya Dyeuhkolot No. 132. Bandung
- Li, X., Weng, J.-K. & Chapple, C., 2008. Improvement of biomass through lignin modification. The Plant Journal, 54(4), pp.569–581
- Lai, Y. Z., Chapter 10. Chemical Degradation. Wood and Cellulosic Chemistry, 2nd edition, Eds. Hon, D. N. S & Shiraishi, N., Publ. Marcel Dekker, Inc. New York 2001, p.443-512.
- Lamid M., Siti C., Ni Nyoman T. P.N., dan Kusmartono, 2006. *Inokulasi Bakteri*
- Lemmens, R.H.M.J., Soerianegara, I. and Wong, W.C. (eds) 1995 Plant resources of South-east Asia No. 5(2). Timber trees: Minor commercial timbers. Backhuys Publishers, Leiden. 655p.
- MacLeod, M. 2007. The Top Ten Factors in Kraft Pulp Yield. Paperi Ja Puu-Paper and Timber 89(4):1-7
- M.A. Abdel. 2013. Effect of Cooking Time, Active Alkali Concentration and Refining Process on the Pulping and Papermaking Properties of Buttonwood Residues (*Conocarpus erectus* L.). World Aplied Science Journal, 27(1):01-09.
- Martawijaya A., dan Barly. 2009. Keawetan dan Keterawetan Beberapa Jenis Kayu yang Berasal dari Hutan Alam dan Hutan Tanaman. Prosiding Diskusi HTI. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Jakarta
- Ministry of Forestry and National Statistics Agency, 2004. Potensi hutan rakyat Indonesia 2003. Center for Forestry Inventory and Statistics, Ministry of Forestry and the Directorate of Agricultural Statistics, National Statistics Agency, Jakarta, Indonesia.

- Miranda I. & Pereira H., Kinetics of ASAM and kraft pulping of eucalypt wood. *Holzforschung* 56(2002)1 p. 85-90.
- Mohamed Bassiouni dan Morsy Ghazy, 2016. Effect of Temperature and Time on the Kraft Pulping of Egyptian Bagasse. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 5(2), pp.179–184.
- Neiva, D., Fernandes, L., Araújo, S., Lourenço, A., Gominho, J., Simões, R., & Pereira, H., 2015. Chemical composition and kraft pulping potential of 12 eucalypt species. *Industrial Crops and Products*, 66, pp.89–95.
- Oey, D.S. 1964 Berat jenis dari jenis-jenis kayu Indonesia dan pengertian beratnya untuk keperluan praktek. *Forest Products Research and Development Centre*, Bogor, Indonesia.
- Pan, G.X., 2004. Relationship between dissolution of fiber materials and development of pulp strength in alkaline peroxide bleaching of mechanical pulp. *Holzforschung*, 58(4)
- Provenans, T. and Syafii, W. (2006) ‘Sifat Kimia dan Dimensi Serat Kayu Mangium (*Acacia mangium* Willd .) from Three Provenances’, *Journal Tropical Wood Science & Technology*, 4(1), pp. 28–32.
- Pulp Making Section. 2006. *Operattion Manual,, Cooking,, Washing and Screening Pulp 99 Fiberline Modification*. Kvaerner Pulping AB.
- Rahmawati N. 1999. Struktur lignin kayu daun lebar dan pengaruhnya terhadap laju delignifikasi. (Skripsi). Institut Pertanian Bogor.
- Razali ak & kuo hs. 1991. Properties of particleboards manufactured from fast growing plantation species. Pp. 685–691 in in Abod SA *et al.* (Eds.) *Proceedings of a Regional Symposium on Recent Developments in Tree Plantations of Humid/Subhumid Tropics of Asia*. Universiti Putra Malaysia, Serdang.
- Rosli, W. D. W. A. N., Mazlan, I., Law, K. N. And Rosli, W. D. W. A. N. 2011. Effect Of Lignin On Acacia Mangium Kraft Pulp Refining Behaviour, 45, Pp. 643–648.
- Sameshima, K. (2000). Combination treatment of kenaf bast fiber for high viscosity pulp, 364–370.
- Santos, A., Anjos, O., Amaral, M. E., Gil, N., Pereira, H., & Simões, R. (2012). Influence on pulping yield and pulp properties of wood density of *Acacia melanoxylon*. *Journal of Wood Science*, 58(6), 479–486.
- Santos, R.B., Gomide, J.L. & Hart, P.W., 2015. Kraft Pulping of Reduced Metal Content Eucalyptus Wood: Process Impacts. *BioResources*, 10(4).
- Sharma SK, Rao RV, Shukla SR, Kumar P, Sudheendra R, Sujatha M, Dubey YM. 2005. Wood quality of coppiced *Eucalyptus tereticornis* for value addition. *IAWA Journal* 26: 137-147.
- Sjostrom, E. 1995. *Wood Chemistry. Fundamental and Application*. 2nd edition. Academic Press. 293 pp.

- Smook, G. A. (2007). Overview of the pulp and paper industry from a chemical industry perspective. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 45(1), 15–27.
- Smook, G. A. 1992. *Handbook for Pulp & Paper Technologists*. 2nd ed. Vancouver : Angus Wilde Publications
- Sudomo, A. hani, A. dan Suhaendah, E. (2007). Pertumbuhan Semai *Gmelina arborea* Linn dengan Pemberian Mikoriza, Pupuk Organik Diperkaya dan Cuka Kayu. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan*, 1(2), 83-80.
- Sugesty, Susi, Teddy Kardiansyah, and Wieke Pratiwi. 2015. “Potensi Acacia Crassicarpa Sebagai Bahan Baku Pulp Kertas Untuk Hutan Tanaman Industri.” : 21–32.
- Sumada, K., Tamara, P.E., dan Alqani, F. 2011. *Kajian Proses Isolasi α – Selulosa dari Limbah Batang Tanaman Manihot esculenta crantz yang Efisien*. *Jurnal Teknik Kimia* Vol.5, No.2: 434-438.
- Sunarno, 2011. *Catalytic Slurry Cracking Cangkang Sawit Menjadi Crude Bio Fuel dengan Katalis Ni/ZSM-5 dan NiMo/ZSM-5*. Universitas Riau. Riau
- Sutono dan Amarullah. 2011. *Singkong Gajah Berjuang*. Petrogas. Press. 202p.
- Vu, T. H. M., H. Pakkanen, and R. Alen. 2004. Delignification of Bamboo (*Bambusa procera* acher): Part 1. Kraft Pulping and the Subsequent Oxygen Delignification to Pulp with a Low Kappa Number. *Industrial Crops and Product*, 19: 49–27.
- Watkins, D., Nuruddin, M., Hosur, M., Narteh, A.T., Jeelani, S. 2015. Extraction and characterization of lignin from different biomass resources. *Journal of Materials Research of Technology*. 4 (1), 26-32
- Wu, J., Gutierrez, O. A., Jenkins, J. N., McCarty, J. C., & Zhu, J. 2008. Quantitative analysis and QTL mapping for agronomic and fiber traits in an RI population of upland cotton. *Euphytica*, 165(2), pp.231–245.
- Yahya R, Sugiyama J, Silsia D, Grill J. 2010. Some anatomical features of an *Acacia* hybrid, *A. mangium* and *A. auriculiformis* grown in Indonesia with regard to pulp yield and paper strength. *Journal of Tropical Forest Science* 22: 343-351.
- Yunanta, R.R.K., 2014. Sifat Kimia dari Kayu Shorea Retusa, Shorea Macroptera dan Shorea Macrophylla. *Jurnal Penelitian Dipterokarpa*, 8(1), pp.15–24
- Zugenmaier, P. 2008. Crystalline Cellulose and Derivatives: Characterization and Structures. Springer Series. In *Wood Science*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008, 286 s. ISBN 978-3-540-73933-3.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A

A.1 Analisa *Basic Density* Kayu

Analisa *basic density* kayu pada penelitian ini berdasarkan TAPPI T 258 Om-02 dan untuk penyiapan sampel yaitu dengan mengambil masing-masing sampel kayu pada bagian pangkal, tengah dan ujung kayu, dengan ketebalan masing-masing 1 cm. Potongan kayu (disk) direndam hingga jenuh. Disiapkan alat untuk menghitung densitas yaitu timbangan, gelas beaker berisi air dengan volume tertentu, tabung kawat yang berlubang untuk tempat disk. Masing-masing disk dicelupkan ke dalam gelas beaker dan dihitung selisih volume air setelah dicelupkan disk kayu.

$$Density = \frac{D}{a - c}$$

a = berat air + beaker glass

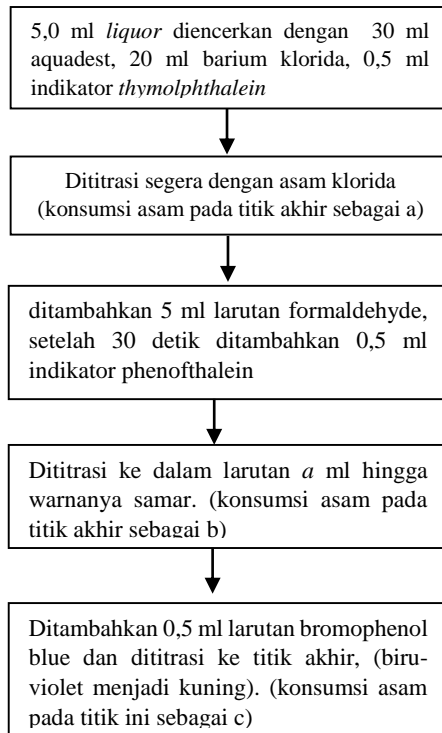
b = berat tabung + disk

c = berat tabung tanpa chips

D = berat chips (b-c)

A.2 Prosedur Analisa Cairan Pemasak (*Liquors*)

Prosedur analisa cairan pemasak (*liquors*) berdasarkan SCAN-N 288



Perhitungan :

$$\text{Effective alkali} : a. \frac{m}{v}$$

$$\text{Active alkali} : b. \frac{m}{v}$$

$$\text{Total alkali} : c. \frac{m}{v}$$

Dimana

a : konsumsi asam ke titik akhir thymolphthalein (ml)

b : konsumsi asam ke titik akhir phenolphthalein (ml)

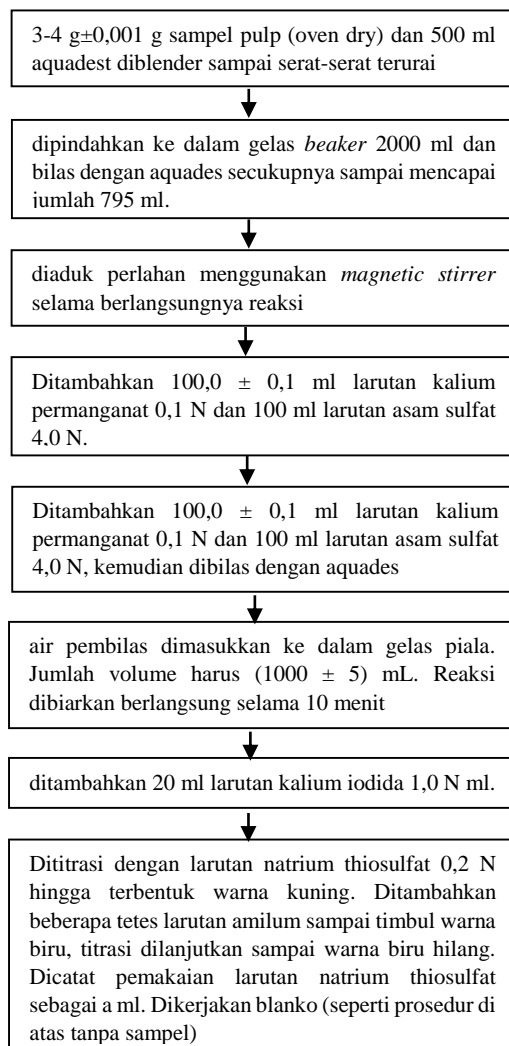
c : konsumsi asam ke titik akhir bromophenol biru (ml)

m : konsentrasi asam hidroklorida (mol/L)

v : volume sampel yang diambil (ml)

A.3 Prosedur Analisa *Kappa Number*

Prosedur analisa *kappa number* berdasarkan TAPPI Test Method :T-236 cm 94



Perhitungan :

$$KaNo = \frac{(a - b) \times F KMNO_4 \times 2 \times f \times F temperatur \times F Na_2S_2O_3}{w}$$

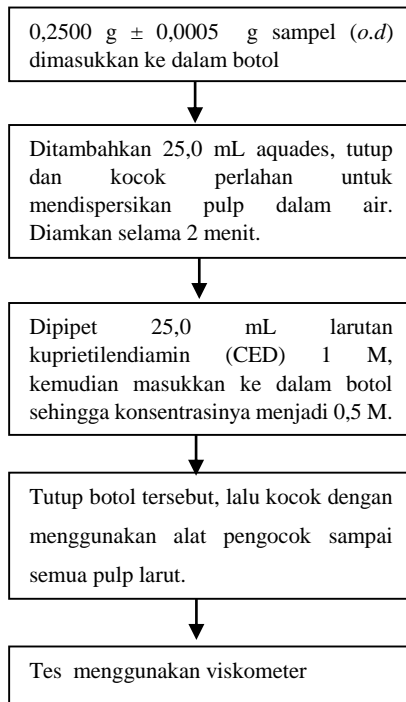
$$f = (a - b) \times F KMNO_4$$

Dimana :

- KaNo : Nilai bilangan kappa
f : Faktor koreksi pada pemakaian 50% kalium permanganat, tergantung pada harga f sesuai C.3 Tabel Faktor Koreksi untuk pemakaian $KMnO_4$
w : Berat sampel (*o.d*) (gr)
 $F KMNO_4$: Faktor $F KMNO_4$ (1,0040)
 $F Na_2S_2O_3$: Faktor $F Na_2S_2O_3$ (1,0040)
a : Larutan natrium thiosulfat yang terpakai dalam titrasi blanko, dinyatakan dalam mililiter (ml)
b : Larutan natrium thiosulfat yang terpakai dalam titrasi sampel, dinyatakan dalam mililiter (ml)
F temperatur : Faktor koreksi temperatur pada saat titrasi. (Sesuai tabel C.4)

A.4 Prosedur Analisa Viskositas

Prosedur analisa viskositas pulp berdasarkan TAPPI Test Method: T-230, 2004



Pengukuran viskositas

1. Letakkan viskometer dalam penangas air bersuhu ($25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) dan dibiarkan paling sedikit lima menit agar suhu larutan di dalam viskometer mencapai $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.
2. Dihisap larutan sampai kaki nomor satu, biarkan larutan mengalir turun untuk membasahi permukaan bagian dalam viskometer.
3. Tentukan efflux time dengan mengalirkan larutan dari atas tanda dan hitung waktu alir dari batas awal ke batas akhir
4. Ulangi pengukuran waktu alir dengan ketelitian 0,2 detik.

CATATAN Gunakan ukuran viskometer yang memberikan waktu alir antara 100 sampai dengan 800 detik.

Viskositas larutan pulp:

$$\text{Efflux time} \times \text{factor kalibrasi tabung} = X$$

$$\eta = \frac{Z}{\text{sampel (oven dried)}}$$

dengan:

X : hasil X dikonversikan sesuai tabel C.6

Y : hasil dari konversi X

Z : $\frac{Y}{\text{sampel}}$

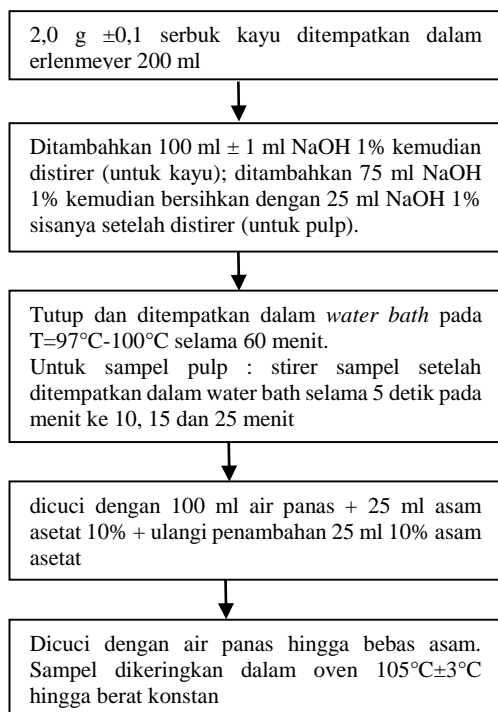
η : viskositas larutan pulp 0,5 % dalam kuprietilendiamin 0,5

C : konstanta viskometer;

Efflux time : waktu alir dinyatakan dalam detik;

A.5 Prosedur Analisa Kelarutan NaOH 1%

Prosedur analisa kelarutan NaOH 1% berdasarkan TAPPI T 212 om-02



Perhitungan :

$$S = \frac{(A - B)}{A} \times 100 \%$$

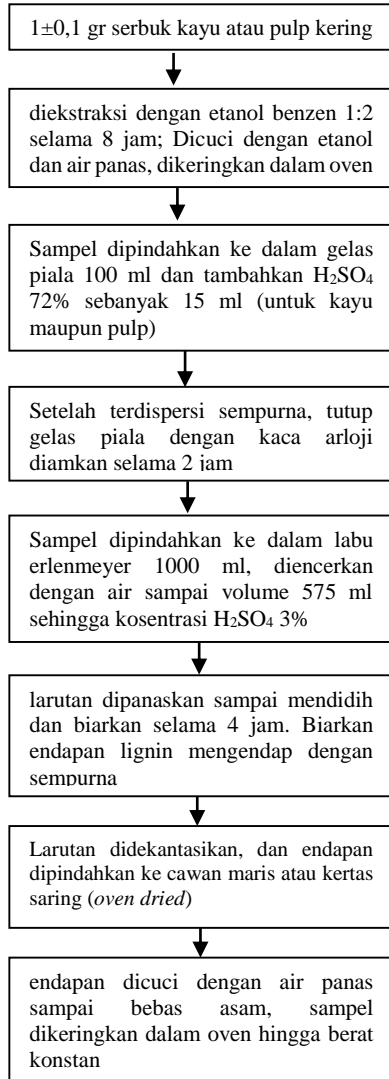
Keterangan :

- S = Kelarutan NaOH 1 %
- A = Berat sampel sebelum ekstraksi (gr)
- B = Berat sampel setelah ekstraksi (gr)

A.6 Prosedur Uji Lignin dalam Kayu dan Pulp

Berdasarkan TAPPI T 212 om-02

a. Prosedur kerja :



b. Kalkulasi :

$$\text{Kadar Lignin} = \frac{A}{B} \times 100\%$$

A= Berat Lignin (gr)

B= Berat sampel (gr)

LAMPIRAN B

B.1 Perhitungan Kandungan Air Sampel (*Moisture Content*)

$$\text{Moisture content} = \frac{\text{berat sampel (air dried)} - \text{berat sampel (oven dried)}}{\text{berat sampel (air dried)}} \\ \frac{100 \text{ gr} - 65 \text{ gr}}{100 \text{ gr}} \times 100\% = 35\%$$

B.2 Perhitungan berat chips yang akan dimasak

Jika berat chips (*oven dried*) = 300 gr, maka

$$\text{Perhitungan berat chips Air Drie} = \frac{300 \text{ gr}}{(100\% - 35\%)} = 461,5 \text{ gr}$$

B.3 Perhitungan White Liquor

$$\text{NaOH} = 97,0 \text{ g/l}$$

$$\underline{\text{Na}_2\text{S}} = 32,4 \text{ g/l}$$

$$\text{Active alkali} = 129,4 \text{ g/l}$$

B.4 Sulfidity

$$\frac{\text{Na}_2\text{S}}{\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}} \times 100\% = \frac{32,4 \text{ g/l}}{97,0 \text{ g/l} + 32,4 \text{ g/l}} \times 100\% = 25,04\%$$

B.5 Perhitungan Active alkali charge 16%

$$\text{Active alkali charge 16\%} = \frac{16\% \times \text{OD chips}}{\text{active alkali (g/l)}} \times 1000 \text{ ml} \\ = \frac{16\% \times 300 \text{ gr}}{129,4 \text{ g/l}} \times 1000 \text{ ml} = 371 \text{ ml}$$

Jadi jumlah konsumsi *active alkali charge* 16% pada proses cooking adalah 371 ml

B.6 Perhitungan Liquid Ratio

1 bagian berat chips: 3,5 bagian berat cairan (cairan terdiri dari white liquors, air dalam chips (*moisture content*) dan penambahan air)

$$\frac{1}{3,5} = \frac{300 \text{ gr}}{371 \text{ ml}(461,5 \text{ gr} - 300 \text{ gr}) + \text{air}} = 517,5 \text{ ml}$$

B.7 Perhitungan *H-Factor*

Tentukan nilai H – Faktor (misal 800)

Perhitungan berdasarkan C.2 Tabel Perhitungan *H-Factor*: $1248,05 \times 5/60 = 104,004$

$(800 - 104,004) \times 60 / 608,3 = 69,1$ menit

Waktu *cooking* = 69,1 menit + 90 menit
= 159,1 menit
= 2 jam, 39 menit

B.8 Perhitungan Total Yield (%) dan screen Screen Yield (%)

Acacia mangium dengan active alkali charge 16%

$$\begin{aligned}\% \text{ Total Yield} &= \frac{B}{A} \times 100\% \\ &= \frac{155,13}{300} \times 100\% \\ &= 51,71 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Screen Yield} &= \frac{B}{A} \times 100\% \\ &= \frac{154,23}{300} \times 100\% \\ &= 51,41 \%\end{aligned}$$

Keterangan : A : Berat chip kayu sebelum ekstraksi (gr)

B : Berat chips setelah ekstraksi (gr).

Catatan : Berat chips pada total yield adalah jumlah screen yield ditambah berat reject yang terbentuk.

B.9 Perhitungan *Kappa Number*(KaNo)

Berat sampel	:	0,8
Volume blank	:	24,3
Faktor Thio	:	1,004
Faktor KMnO ₄	:	1,004
Faktor koreksi temperatur 26° C	:	0,987

$$\begin{aligned}
 f &= (a - b) \times F_{KMNO_4} \\
 &= (24,3 - 15,9) \times 1,004 \\
 &= 30 \text{ (dikonversi dengan nilai di tabel, sehingga didapat 0,958)}
 \end{aligned}$$

$$K = \frac{(a - b) \times F_{KMNO_4} \times 2 \times f \times F_{temperatur} \times F_{Na_2S_2O_3}}{w}$$

$$K = \frac{(24,3 - 15,9) \times 1,0040 \times 2 \times 0,958 \times 0,987 \times 1,0040}{0,8}$$

$$= 19,90$$

B.10 Perhitungan Viskositas Pulp

Pada acacia mangium dengan active alkali charge 16%

$$\text{Efflux time} \times \text{factor kalibrasi tabung} = X$$

$$36,2 \times 0,086 = 3,11 \text{ (Nilai X dikonversi 3,11 adalah 1,391)}$$

$$1,391 \times 50 = 69,53$$

$$\eta = \frac{69,53}{0,085} = 818$$

B.11 Perhitungan derajat polimerisasi

$$[\eta] = KM^\alpha$$

Dimana : K, α = Konstanta Mark-Kuhn-Houwink (K=9,8x10⁻³ dan α =0,9)

[η] = viskositas intrinsik α -Selulosa (32,786)

M = berat molekul α -Selulosa

$$DP = \frac{\text{berat molekul selulosa}}{\text{berat molekul satu unit selulosa}}$$

Perhitungan Derajat Polimerisasi *Acacia Mangium* dengan *active alkali charge* 16%

$$[\eta] = KM^\alpha$$

$$818 = 9,8 \cdot 10^{-3} \times M^{0,9}$$

$$M = 294011,005$$

$$DP = \frac{\textit{berat molekul selulosa}}{\textit{berat molekul satu unit selulosa}}$$

$$DP = \frac{294011,005}{180}$$

$$DP = 1633,39$$

LAMPIRAN C

C.1 Tabel Analisa *basic density* kayu (TAPPI-T258-OM 02)

Sample	Density (g/cm ³)	Rata-rata (g/cm ³)	Standar Deviasi
<i>Acacia Mangium</i>	0,510	0,499	0,0100
	0,499		
	0,489		
	0,509		
	0,490		
<i>Eucalyptus Pellita</i>	0,494	0,483	0,0085
	0,472		
	0,481		
	0,488		
	0,479		
<i>Manihot Esculenta Crantz</i>	0,477	0,480	0,0078
	0,476		
	0,489		
	0,471		
	0,487		

C.2 Tabel Perhitungan *H-Factor*

Waktu Penamatan (menit ke-)	Temperatur (°C)	Konstanta Relative Rate	Rata-rata	Jumlah
0	27	0,0	0,50	0,50
30	100	1,0	2,25	2,75
35	111	3,5	4,40	7,15
40	115	5,3	5,95	13,10
45	117	6,6	8,30	21,40
50	121	10,0	16,30	37,70
55	129	22,6	26,50	64,20
60	132	30,4	45,05	109,25
65	139	59,7	73,30	182,55
70	143	86,9	106,30	288,85
75	147	125,7	191,60	480,45
80	155	257,5	296,10	776,55
85	158	334,7	471,50	1248,05
90	165	608,3		

Nilai konstanta relative rate didapatkan dari C.5 Tabel Konstanta Relative Rate Proses *Cooking*.

C.3 Tabel Faktor Koreksi untuk pemakaian $KMnO_4$

FC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	0,958	0,960	0,962	0,964	0,966	0,968	0,97	0,973	0,975	0,977
40	0,979	0,981	0,983	0,985	0,987	0,989	0,991	0,994	0,996	0,998
50	1,000	1,002	1,004	1,006	1,009	1,011	1,013	1,015	1,017	1,019
60	1,022	1,024	1,026	1,028	1,030	1,033	1,035	1,037	1,039	1,042
70	1,044	1,046	1,048	1,050	1,052	1,055	1,057	1,059	1,061	1,064

(Standard et al. 2000)

C.4 Tabel Faktor koreksi Temperatur

FT	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	1,065	1,052	1,039	1,026	1,013	1,000	0,987	0,974	0,961	0,948
30	0,935	0,922	0,909	0,896	0,883	0,870	-	-	-	-

(Standard et al. 2000)

C.5 Tabel Konstanta Relative Rate Proses Cooking

Temperature (°C)	Relative Rate Constant	Temperature (°C)	Relative Rate Constant	Temperature (°C)	Relative Rate Constant	Temperature (°C)	Relative Rate Constant
100	1,0	125	15,1	150	165,0	175	1382,8
101	1,1	126	16,7	151	180,6	176	1498,1
102	1,3	127	18,5	152	197,4	177	1622,5
103	1,4	128	20,4	153	215,8	178	1756,6
104	1,6	129	22,6	154	235,8	179	1901,1
105	1,8	130	24,9	155	257,5	180	2056,7
106	2,0	131	27,5	156	261,2	181	2224,3
107	2,2	132	30,4	157	306,8	182	2404,8
108	2,5	133	33,5	158	334,7	183	2599,0
109	2,8	134	36,9	159	365,0	184	2807,9
110	3,1	135	40,7	160	397,8	185	3032,6
111	3,5	136	44,8	161	433,4	186	3274,2
112	3,9	137	49,3	162	472,0	187	3533,8
113	4,3	138	54,3	163	513,9	188	3812,8

Temperature (°C)	Relative Rate Constant	Temperature (°C)	Relative Rate Constant	Temperature (°C)	Relative Rate Constant	Temperature (°C)	Relative Rate Constant
114	4,8	139	59,7	164	559,2	189	4112,5
115	5,3	140	65,6	165	608,3	190	4434,2
116	5,9	141	72,1	166	661,5	191	4779,6
117	6,6	142	79,2	167	719,1	192	5150,2
118	7,3	143	86,9	168	781,3	193	5547,7
119	8,1	144	95,4	169	848,7	194	5974,1
120	9,0	145	104,6	170	921,4	195	6431,2
121	10,0	146	114,7	171	1000,1	196	6921,1
122	11,1	147	125,7	172	1085,1	197	7445,9
123	12,3	148	137,7	173	1176,9	198	8008,1
124	13,6	149	150,6	174	1275,9	199	8610,1

C.6 Tabel nilai $[\eta]c$ different values of the viscosity ratio η_{ratio}

η_{ratio}	0,0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
1,0	0,000	0,010	0,020	0,030	0,040	0,049	0,059	0,069	0,078	0,088
1,1	0,097	0,107	0,116	0,125	0,134	0,144	0,153	0,162	0,171	0,180
1,2	0,189	0,198	0,207	0,216	0,224	0,233	0,242	0,250	0,259	0,268
1,3	0,276	0,285	0,293	0,302	0,310	0,318	0,326	0,335	0,343	0,351
1,4	0,359	0,367	0,375	0,383	0,391	0,399	0,407	0,415	0,423	0,431
1,5	0,438	0,446	0,454	0,462	0,469	0,477	0,484	0,492	0,499	0,507
1,6	0,514	0,522	0,529	0,537	0,544	0,551	0,558	0,566	0,573	0,580
1,7	0,587	0,594	0,601	0,608	0,615	0,622	0,629	0,636	0,643	0,650
1,8	0,657	0,664	0,671	0,678	0,684	0,691	0,698	0,705	0,711	0,718
1,9	0,725	0,731	0,738	0,744	0,751	0,757	0,764	0,770	0,777	0,783
2,0	0,790	0,796	0,802	0,809	0,815	0,821	0,827	0,834	0,840	0,846
2,1	0,852	0,858	0,865	0,871	0,877	0,883	0,889	0,895	0,901	0,907
2,2	0,913	0,919	0,925	0,931	0,937	0,943	0,949	0,954	0,960	0,966
2,3	0,972	0,978	0,983	0,989	0,995	1,001	1,006	1,012	1,018	1,023
2,4	1,029	1,035	1,040	1,046	1,051	1,057	1,062	1,068	1,073	1,079
2,5	1,084	1,090	1,095	1,101	1,106	1,111	1,117	1,122	1,127	1,133
2,6	1,138	1,143	1,149	1,154	1,159	1,164	1,170	1,175	1,180	1,185
2,7	1,190	1,196	1,201	1,206	1,211	1,216	1,221	1,226	1,231	1,236
2,8	1,241	1,246	1,251	1,256	1,261	1,266	1,271	1,276	1,281	1,286
2,9	1,291	1,296	1,301	1,306	1,310	1,316	1,320	1,325	1,330	1,335

3,0	1,339	1,344	1,349	1,354	1,358	1,363	1,368	1,373	1,377	1,382
3,1	1,387	1,391	1,396	1,401	1,405	1,410	1,414	1,419	1,424	1,428
3,2	1,433	1,437	1,442	1,446	1,451	1,455	1,460	1,464	1,469	1,473
3,3	1,478	1,482	1,487	1,491	1,496	1,500	1,504	1,509	1,513	1,517
3,4	1,522	1,526	1,531	1,535	1,539	1,544	1,548	1,552	1,556	1,561
3,5	1,565	1,569	1,573	1,578	1,582	1,586	1,590	1,595	1,599	1,603
3,6	1,607	1,611	1,615	1,620	1,624	1,628	1,632	1,636	1,640	1,644
3,7	1,648	1,653	1,657	1,661	1,665	1,669	1,673	1,677	1,681	1,685
3,8	1,689	1,693	1,697	1,701	1,705	1,709	1,713	1,717	1,721	1,725
3,9	1,729	1,732	1,736	1,740	1,744	1,748	1,752	1,756	1,760	1,764
4,0	1,767	1,771	1,775	1,779	1,783	1,787	1,790	1,794	1,798	1,802
4,1	1,806	1,809	1,813	1,817	1,821	1,824	1,828	1,832	1,836	1,839
4,2	1,843	1,847	1,851	1,854	1,858	1,862	1,865	1,869	1,873	1,876
4,3	1,880	1,884	1,887	1,891	1,894	1,898	1,902	1,905	1,909	1,912
4,4	1,916	1,920	1,923	1,927	1,930	1,934	1,937	1,941	1,944	1,948
4,5	1,952	1,955	1,959	1,962	1,966	1,969	1,973	1,976	1,979	1,983
4,6	1,986	1,990	1,993	1,997	2,000	2,004	2,007	2,010	2,014	2,017
4,7	2,021	2,024	2,028	2,031	2,034	2,038	2,041	2,044	2,048	2,051
4,8	1,054	2,058	2,061	2,064	2,068	2,071	2,074	2,078	2,081	2,084
4,9	2,088	2,091	2,094	2,098	2,101	2,104	2,107	2,111	2,114	2,117

C.7 Tabel Hasil *Cooking* Kayu

No	Sampel	Active alkali charge (%)	Total Yield (%)	Screen yield (%)	<i>Kappa Number</i>	Viskositas (ml/g)	M	Derajat polimerisasi
1	<i>Acacia Mangium</i>	16	51,71	51,41	19,90	818	294011,01	1633,39
2	<i>Acacia Mangium</i>	17	54,01	53,73	18,00	731	259478,54	1441,55
3	<i>Acacia Mangium</i>	18	53,63	53,28	16,69	594	206042,10	1144,68
4	<i>Acacia Mangium</i>	19	53,52	53,24	16,45	490,3	166484,24	924,91
5	<i>Acacia Mangium</i>	20	52,4	52,25	16,8	378,3	124805,47	693,36
6	<i>Eucalyptus pellita</i>	16	53,14	52,84	16,69	697	246103,94	1367,24
7	<i>Eucalyptus pellita</i>	17	53,2	53	15,87	607	211058,53	1172,55
8	<i>Eucalyptus pellita</i>	18	51,92	51,82	14,99	566	195279,18	1084,88

No	Sampel	Active alkali charge (%)	Total Yield (%)	Screen yield (%)	Kappa Number	Viskositas (ml/g)	M	Derajat polimerisasi
9	<i>Eucalyptus pellita</i>	19	50,775	50,7	14,6	492	167125,75	928,48
10	<i>Eucalyptus pellita</i>	20	50,6	50,6	13,4	426,8	142706,12	792,81
11	<i>Manihot Esculanta crantz</i>	16	41,11	39,88	25,82	731	259478,54	1441,55
12	<i>Manihot Esculanta crantz</i>	17	41,33	39,99	24,24	697	246103,94	1367,24
13	<i>Manihot Esculanta crantz</i>	18	40,2	38,52	22,50	632	220738,91	1226,33
14	<i>Manihot Esculanta crantz</i>	19	38,63	37,08	20,34	629	219574,98	1219,86
15	<i>Manihot Esculanta crantz</i>	20	37,89	36,39	18,74	571,5	197388,75	1096,60

C.8 Tabel Perhitungan Viskositas

Jenis Sampel	Fc	Eflux time	X	Y	Z	Sampel	Viskositas
<i>Acacia Mangium 16%</i>	0,086	36,2	3,11	1,391	69,53	0,085	818
<i>Acacia Mangium 17%</i>	0,086	32,6	2,8	1,243	62,14	0,085	731
<i>Acacia Mangium 18%</i>	0,086	27,6	2,37	1,010	50,49	0,085	594
<i>Acacia Mangium 19%</i>	0,086	27,1	2,33	0,986	49,30	0,085	580
<i>Acacia Mangium 20%</i>	0,086	30,7	2,64	1,159	57,97	0,085	682
<i>Eucalyptus pellita 16%</i>	0,086	31,3	2,69	1,185	59,25	0,085	697
<i>Eucalyptus pellita 17%</i>	0,086	28,0	2,41	1,032	51,60	0,085	607
<i>Eucalyptus pellita 18%</i>	0,086	26,5	2,28	0,962	48,11	0,085	566
<i>Eucalyptus pellita 19%</i>	0,086	24,9	2,14	0,879	43,95	0,085	517
<i>Eucalyptus pellita 20%</i>	0,086	26,3	2,26	0,949	47,43	0,085	558

Jenis Sampel	Fc	Eflux time	X	Y	Z	Sampel	Viskositas
<i>Manihot Esculanta crantz 16%</i>	0,086	32,6	2,8	1,243	62,14	0,085	731
<i>Manihot Esculanta crantz 17%</i>	0,086	31,3	2,69	1,185	59,25	0,085	697
<i>Manihot Esculanta crantz 18%</i>	0,086	28,8	2,48	1,074	53,72	0,085	632
<i>Manihot Esculanta crantz 19%</i>	0,086	28,7	2,47	1,069	53,47	0,085	629
<i>Manihot Esculanta crantz 20%</i>	0,086	31,3	2,69	1,185	59,25	0,085	697

C.9 Tabel Perhitungan *Kappa Number*

Jenis Sampel	Active alkali charge (%)	w (gram)	b (ml)	f	Nilai f dari tabel	<i>Kappa Number</i>
<i>Acacia Mangium</i>	16	0,8	15,9	30	0,958	19,90
<i>Acacia Mangium</i>	17	1,0	15,0	37	0,973	18,00
<i>Acacia Mangium</i>	18	1,2	14,0	41	0,981	16,69
<i>Acacia Mangium</i>	19	1,5	11,9	50	1,000	16,45
<i>Acacia Mangium</i>	20	1,7	10,2	57	1,015	16,80
<i>Eucalyptus pellita</i>	16	0,8	17,3	30	0,958	16,69
<i>Eucalyptus pellita</i>	17	1,0	16,0	33	0,964	15,87
<i>Eucalyptus pellita</i>	18	1,2	15,0	37	0,973	14,99
<i>Eucalyptus pellita</i>	19	1,5	13,2	45	0,989	14,60
<i>Eucalyptus pellita</i>	20	1,7	12,7	46	0,991	13,40
<i>Manihot Esculanta crantz</i>	16	0,8	13,8	43	0,985	25,82
<i>Manihot Esculanta crantz</i>	17	1,0	12,1	49	0,998	24,24
<i>Manihot Esculanta crantz</i>	18	1,2	10,9	54	1,009	22,50

Jenis Sampel	Active alkali charge (%)	w (gram)	b (ml)	f	Nilai f dari tabel	Kappa Number
<i>Manihot Esculanta crantz</i>	19	1,5	9,3	60	1,022	20,34
<i>Manihot Esculanta crantz</i>	20	1,7	8,7	63	1,028	18,74

C.10 Tabel Perhitungan Kandungan Lignin (%) dalam Pulp

No	Jenis Contoh	Active alkali charge (%)	Bilangan Kappa	% Lignin
1	Acacia Mangium	16	19,90	2,93
2	Acacia Mangium	17	18,00	2,65
3	Acacia Mangium	18	16,69	2,45
4	Acacia Mangium	19	16,45	2,42
5	Acacia Mangium	20	16,8	2,47
6	Eucalyptus pellita	16	16,69	2,45
7	Eucalyptus pellita	17	15,87	2,33
8	Eucalyptus pellita	18	14,99	2,20
9	Eucalyptus pellita	19	14,6	2,15
10	Eucalyptus pellita	20	13,4	1,97
11	Manihot Esculanta crantz	16	25,82	3,80
12	Manihot Esculanta crantz	17	24,24	3,56
13	Manihot Esculanta crantz	18	22,50	3,31
14	Manihot Esculanta crantz	19	20,34	2,99
15	Manihot Esculanta crantz	20	18,74	2,75

C.11 Tabel waktu (t) dan Lignin pada kayu *Acacia Mangium*, *Eucalyptus Pellita* dan *Manihot Esculenta Crantz* pada active alkali charge 17% untuk menghitung kinetika proses delignifikasi

Berat molekul lignin = 1513,58 gr/mol

Volume cairan pemasak = 0,394 L

Berat lignin pada kayu *Acacia Mangium* = 38,1257 gr

Berat lignin pada kayu *Eucalyptus Pellita* = 38,9424 gr

Berat lignin pada kayu *Manihot Esculenta Crantz* = 32,2335 gr

H- factor	t (detik)	L (mol/L)	$\ln \frac{L_0}{L}$
<i>Acacia Mangium</i>			
0	0,00	0,00253	0,000
100	592	0,00246	0,028
200	1183,46	0,00238	0,060
300	1775,08	0,00222	0,131
400	2366,70	0,00211	0,182
500	2958,31	0,00203	0,221
600	3549,93	0,00197	0,253
H- factor	t (detik)	L (mol/L)	$\ln \frac{L_0}{L}$
700	4141,55	0,00191	0,279
800	4733,17	0,00187	0,303
900	5324,79	0,00183	0,323
1000	5916,60	0,00180	0,342
<i>Eucalyptus Pellita</i>			
0	0,00	0,00214	0
100	592	0,00207	0,034112
200	1183,46	0,00204	0,047755
300	1775,08	0,00190	0,118711
400	2366,70	0,00181	0,169056
500	2958,31	0,00174	0,208106
600	3549,93	0,00168	0,240012
700	4141,55	0,00164	0,266988
800	4733,17	0,00160	0,290356
900	5324,79	0,00157	0,310968
1000	5916,60	0,00154	0,329406
<i>Manihot Esculenta Crantz</i>			
0	0	0,002784	0,0000
100	591,6	0,002683	0,0368
200	1183,458	0,002615	0,0626
300	1775,077	0,002436	0,1335
400	2366,695	0,002316	0,1839
500	2958,314	0,002227	0,2229
600	3549,933	0,002157	0,2548
700	4141,552	0,002100	0,2818
800	4733,17	0,002052	0,3052
900	5324,789	0,002010	0,3258
1000	5916,6	0,001973	0,3442

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Vebria Ardina, lahir di Kemantan Hilir, 06 Februari 1993, merupakan anak pertama dari dua bersaudara, buah hati dari pasangan Bapak Syafruddin dan Ibu Yunarti. Penulis memulai pendidikan formal di SD 179III Kemantan Hilir pada tahun 1999-2004, SMP Negeri 4 Kerinci pada tahun 2004-2007, SMA Negeri 1 Kerinci pada tahun 2007-2010 dan menempuh pendidikan S1 Pendidikan Kimia di Universitas Jambi tahun 2010-2014. Pada tahun 2016-2018 penulis melanjutkan pendidikan pascasarjana di Teknik Kimia FTI-ITS. Penulis telah menyelesaikan tesis di Laboratorium Teknik Reaksi Kimia di bawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Danawati Hari Prajitno, M.Pd. dan Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA. dengan judul “Pengaruh *Active Alkali Charge* terhadap *Delignifikasi dan Degradasi Fiber* pada Proses *Pulping*”.

e-mail : vebriardina@gmail.com