



SKRIPSI – TK 141581

**PENGARUH TEKANAN OKSIGEN TERHADAP
DELIGNIFIKASI PADA PROSES PULPING**

Oleh :

Josua Goklas Butar Butar

NRP. 02211440000086

Pradana Setyo Darminto

NRP. 02211440000140

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA

NIP. 1950 04 28 1979 03 1002

Ir. Ignatius Gunardi, M.T.

NIP. 1955 09 21 1984 03 1001

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



FINAL PROJECT – TK 141581

**EFFECT OF PRESSURIZED OXYGEN TO THE
DELIGNIFICATION IN PULPING PROCESS**

Proposed by:

Josua Goklas Butar Butar

NRP. 02211440000086

Pradana Setyo Darminto

NRP. 02211440000140

Advisor

Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA

NIP. 1950 04 28 1979 03 1002

Ir. Ignatius Gunardi, M.T.

NIP. 1955 09 21 1984 03 1001

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA**

2018

LEMBAR PENGESAHAN

Pengaruh Tekanan Oksigen Terhadap Delignifikasi Pada Proses Pulping

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Pada Program Studi S-1
Departemen Teknik Kimia
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh :

Josua Goklas Butar B
Pradana Setyo Darminto

(02211440000086)

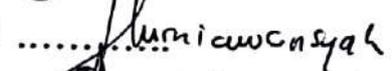
(02211440000140)

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA
(Pembimbing I)
2. Ir. Ignatius Gunardi, M.T.
(Pembimbing II)
3. Firman Kurniawansyah, S.T., M.Eng.Sc., Ph
(Penguji I)
4. Dr. Lailatul Qadariyah, S.T., M.T.
(Penguji II)











Surabaya,
Juli 2018

PENGARUH TEKANAN OKSIGEN TERHADAP DELIGNIFIKASI PADA PROSES PULPING

Oleh : Josua Goklas Butar Butar (0221144000086)
Pradana Setyo Darminto (02211440000140)
Pembimbing 1 : Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA
Pembimbing 2 : Ir. Ignatius Gunardi, MT.

ABSTRAK

Delignifikasi merupakan proses penghilangan lignin pada material yang memiliki lignoselulosa, artinya hasil dari proses ini berupa selulosa. Untuk mempercepat reaksi penghilangan lignin tanpa menambah jumlah zat pemutih yang digunakan, maka ditambahkan oksigen sebagai oksidator. Proses ini disebut Medium Consistency Oxygen Delignification (MCO₂) process. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh tekanan oksigen terhadap delignifikasi pada pulping. Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu berjenis hardwood, yaitu Acacia mangium dan kayu berjenis softwood yaitu Manihot esculenta crantz. Alur penelitian ini meliputi proses penambahan oksigen pada pulp sampai tahap pemisahan sampel untuk kemudian dihitung besarnya Kappa number. Dalam penelitian ini, digunakan variabel tetap meliputi jumlah bahan baku (4 gram), katalis NaOH (4,6,8 mL) dan waktu reaksi

20,40,80 menit, sedangkan untuk variabel bebas meliputi tekanan oksigen sebesar 1 dan 5 bar dan suhu operasi 70,80 dan 90°C. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil terbaik pada variasi tekanan 5 bar, suhu 80 C dan waktu 80 menit untuk kedua macam sampel, dengan Kappa number sebesar 8,03 untuk sampel Acacia mangium dan 10,61 untuk sampel Manihot esculenta crantz.

Kata kunci : *delignifikasi, pulping, kappa number, MCO₂ process*

EFFECT OF PRESSURIZED OXYGEN TO THE DELIGNIFICATION IN PULPING PROCESS

By : Josua Goklas Butar Butar (02211440000086)
Pradana Setyo Darminto (02211440000140)
Advisor 1 : Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA
Advisor 2 : Ir. Ignatius Gunardi, MT.

ABSTRACT

Delignification is a process of lignin removal in a material that has lignocellulose, which means the result of the process is cellulose. To increase the lignin removal reaction rate without the addition of bleaching agent, the addition of oxygen as an oxidating agent is needed. This process is called as Medium Consistency Oxygen Delignification (MCO₂) process. The purpose of this research is discovering the effect of pressurized oxygen to the delignification. The specimen of this research are Acacia mangium as a hardwood variant and Manihot esculenta crantz as a softwood variant. Step of the research are the addition of pressurized oxygen at the pulp until sample separation for later to be counted the value of its Kappa number. At this research it is stated the dependent variables are the amount of specimen (4 gram), NaOH (4,6,8 mL). and reaction time (20,40,80 minutes), while the independent variables are pressurized oxygen at 1, 5 bar and temperature of the reaction at 70,80,90°C. Based on the

research that has been done, it is found the best result on the variation of pressure at 5 bar, temperature at 80 C and time at 80 minutes for both of the specimen, with the value of Kappa number are 8,03 for Acacia mangium and 10,61 for Manihot esculenta crantz.

Keywords : *delignification, pulping, kappa number, MCO₂ process*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT karena atas berkat Rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Proposal Skripsi “*Pengaruh Tekanan Oksigen Terhadap Delignifikasi pada Proses Pulping*” yang merupakan salah satu syarat kelulusan bagi mahasiswa Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.

Keberhasilan penulisan Tugas Akhir Skripsi ini tidak lepas dari dorongan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA dan Ir. Ignatius Gunardi, M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir Skripsi atas bimbingan dan saran yang telah diberikan.
2. Bapak Juwari, S.T, M.Eng, Ph.D, selaku Kepala Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
3. Ibu Dr. Lailatul Qadariah, S.T., M.T., selaku Koordinator Program Studi S1 Departemen Teknik Kimia ITS.
4. Bapak Firman Kurniawansyah S.T., M.Eng.Sc., Ph.D dan Ibu Dr. Lailatul Qadariah S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Tugas Akhir Skripsi atas koreksi dan saran yang telah diberikan
5. Orang Tua dan keluarga kami yang telah banyak memberikan dukungan baik moral maupun spiritual tanpa henti.
6. Teman seperjuangan di Laboratorium Teknik Reaksi Kimia yang telah berjuang bersama dalam menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi.
7. Teman-teman Teknik Kimia ITS angkatan 2014 (K54) yang telah banyak membantu sejak tahun pertama perkuliahan.

8. Semua pihak yang telah membantu penyelesaian Proposal Skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhirnya, kami memohon maaf atas segala kekurangan yang terjadi selama proses penyusunan tugas ini. Semoga Tugas Akhir Skripsi ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi Penulis dan Pembaca khususnya.

Surabaya, Juli 2018

Penyusun

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang	3
I.2 Rumusan Masalah.....	3
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1 Pulp.....	5
II.2 Bahan Baku Pulp	5
II.3 Syarat Tanaman Bahan Baku Pembuat Pulp	6
II.3.1 <i>Acacia Mangium</i>	8
II.3.2 <i>Manihot Esculenta Crantz</i>	9
II.4 Komponen Kimia Kayu.....	9

II.4.1 Selulosa.....	9
II.4.2 Hemiselulosa	10
II.4.3 Lignin	11
II.4.4 Zat Ekstraktif	13
II.5 Proses <i>Pulping</i>	13
II.5.1 <i>Mechanical Pulping</i>	14
II.5.2 <i>Thermo-Mechanical Pulp</i>	14
II.5.3 <i>Chemical Pulping</i>	14
II.6 Proses Delignifikasi	16
II.6.1 Delignifikasi Asam.....	17
II.6.2 Delignifikasi Oksigen	17
II.7 <i>Kappa Number</i>	18
II.8 Penelitian Terdahulu.....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
III.1 Bahan dan Alat	21
III.1.1 Bahan.....	21
III.1.2 Alat.....	21
III.1.2.1 Chamber dengan <i>waterbath</i>	21
III.1.2.1 Reaktor	22
III.2 Parameter yang Digunakan	22

III.2.1 Parameter Tetap	22
III.2.2 Parameter Berubah	23
III.3 Parameter yang Dianalisa	23
III.3.1 Bilangan Kappa (KaNo).....	23
III.4 Diagram Alir Penelitian.....	23
III.4.1 Proses MCO2	23
III.5 Prosedur Penelitian.....	24
III.5.1 Prosedur Analisa bilangan Kappa	24
III.6 Teknik Analisis Data dan Penyimpulan	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
IV.1 Pengaruh Waktu Terhadap Delignifikasi	29
IV.2 Pengaruh Suhu Terhadap Delignifikasi.....	31
IV.3 Pengaruh Tekanan Terhadap Delignifikasi	33
IV.4 Analisis <i>Kappa Number</i>	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	41
V.1 Kesimpulan.....	41
V.2 Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA.....	xii
APPENDIKS	A-1
LAMPIRAN	B-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Selulosa.....	10
Gambar 2.2 Struktur Hemielulosa	11
Gambar 2.3 Struktur Lignin.....	12
Gambar 2.4 Reaksi lignin dengan gugus hidroksil dari NaOH .	16
Gambar 3.1 Chamber dengan <i>Waterbath</i>	21
Gambar 3.2 Reaktor.....	22
Gambar 4.1 Grafik <i>Kappa Number</i> vs Waktu dengan Variasi Suhu 70°C dan Tekanan 1 bar pada sampel <i>Acacia Mangium</i> dan <i>Manihot Esculenta Crantz</i>	29
Gambar 4.2 Grafik <i>Kappa Number</i> vs Suhu di menit ke 20 dan Tekanan 1 bar pada sampel <i>Acacia Mangium</i> dan <i>Manihot Esculenta Crantz</i>	31
Gambar 4.3 Grafik <i>Kappa Number</i> vs Waktu dengan Variasi Suhu 80°C dan Tekanan 1 bar pada sampel <i>Acacia Mangium</i> dan <i>Manihot Esculenta Crantz</i>	33
Gambar 4.4 Grafik <i>Kappa Number</i> vs Waktu dengan Variasi Suhu 80°C dan Tekanan 5 bar pada sampel <i>Acacia Mangium</i> dan <i>Manihot Esculenta Crantz</i>	33
Gambar 4.5 Grafik <i>Kappa Number</i> vs Suhu di menit ke 40 dan Tekanan 1 bar pada sampel <i>Acacia Mangium</i> dan <i>Manihot Esculenta Crantz</i>	35

Gambar 4.6 Grafik *Kappa Number* vs Suhu di menit ke 40 dan Tekanan 5 bar pada sampel *Acacia Mangium* dan *Manihot Esculenta Crantz*..... 35

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persyaratan Sifat Kayu untuk Bahan Baku Pulp	6
Tabel 2.2 Klasifikasi panang Serat Menurut IAWA.....	6
Tabel 2.3 Komponen <i>Hardwood</i> dan <i>Softwood</i>	7
Tabel 2.4 Kondisi Operasi Proses MCO2.....	18
Tabel 2.5 Penelitian Terdahulu.....	19
Tabel 3.1 Faktor ‘p’ koreksi perbedaan pemakaian presentase permanganat.....	27
Tabel 4.1 Hasil Analisis Kappa Number Sampel Acacia Mangium dan Manihot Esculenta Crantz pada Tekanan 1 bar	38
Tabel 4.2 Hasil Analisis Kappa Number Sampel Acacia Mangium dan Manihot Esculenta Crantz pada Tekanan 5 bar	39

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Delignifikasi merupakan salah satu proses dalam pembuatan *pulp* atau bubur kertas. Delignifikasi merupakan proses penghilangan lignin pada material yang memiliki lignoselulosa, yang artinya hasil dari proses ini berupa selulosa dengan kemurnian yang cukup tinggi (Kerr et al., 1975). Secara umum proses pembuatan *pulp* dibagi menjadi tiga jenis yaitu mekanis, semikimia, dan kimia (Casey, 1980). Dari ketiga proses tersebut, proses kimia memberikan hasil yang terbaik. Proses sulfat (*kraft*) merupakan proses kimia yang paling sering digunakan, karena merupakan penyempurnaan proses kimia yang pernah ada sebelumnya (Susilo, 2002). Kata sulfat pada proses sulfat mengacu pada agen pemasak yang paling aktif, sedangkan yang lainnya menggunakan sodium hidroksida dan sodium sulfat sebagai agen aktifnya.

Proses *kraft* lebih baik dibanding proses soda dan sulfit pada bagian produksi *pulp*, *yield*, kualitas, dan ongkos produksi (Casey, 1980). Secara garis besar, proses *kraft* dibagi menjadi 6 bagian, yaitu : persiapan bahan baku, *cooking*, *washing*, *screening*, *bleaching*, dan pembuatan lembaran *pulp* (Pardede, 2009). Proses *bleaching* merupakan lanjutan dari proses *cooking*, yang bertujuan untuk memperbaiki derajat putih dan kemurnian *pulp*. Lignin yang masih tersisa pada proses *cooking* harus dihilangkan atau diputihkan, biasanya digunakan zat kimia ClO_2 untuk pemutihan ini, namun hal ini dapat mempengaruhi serat yang dihasilkan. Oleh karena itu, dilakukan penambahan oksigen sebagai oksidator untuk menurunkan *kappa number* dan mempercepat reaksi penghilangan lignin tanpa mengurangi hasil yang diinginkan. *Kappa number* adalah angka yang menunjukkan kandungan lignin yang tersisa dalam *pulp*. Proses ini biasa disebut sebagai *Oxygen Delignification* atau *Medium Consistency Oxygen Delignification (MCO₂) process* (Paryono, 2011).

Penelitian ini berfokus pada *MCO₂ process* yaitu proses penghilangan lignin yang masih tersisa dari proses *cooking*, sebelum masuk ke proses *bleaching* menggunakan oksigen dan alkali. Pada tahap ini digunakan oksigen dalam larutan alkali untuk meningkatkan daya oksidasi oksigen terhadap lignin. Oksigen pada dasarnya bersifat kurang reaktif namun dalam larutan tertentu seperti NaOH akan bersifat sangat reaktif dan dalam proses pemutihan dapat mendegradasi lignin sebanyak 30-50% dari lignin total yang masih terkandung dalam pulp coklat (Paryono, 2011). Delignifikasi menggunakan *MCO₂ process* lebih optimal dalam menurunkan *kappa number* dibanding dengan melakukan proses *cooking* lebih lama. Metode ini memiliki beberapa kelebihan diantaranya mampu menurunkan *kappa number* sampai 50% untuk jenis *hardwood*, mengurangi jumlah zat kimia yang digunakan untuk pemutihan, serta mengurangi zat organik terlarut dalam *mill effluent* (van Heiningen, 2007).

Jenis kayu yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Acacia mangium* dan *Eucalyptus*. Kedua kayu ini merupakan jenis kayu berdaun lebar (*hardwood*). *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*) dengan panjang serat 900 μm - 1600 μm . Serat pendek ini memberikan kontribusi dalam pembentukan formasi kertas yang baik yang banyak digunakan untuk produksi *fine paper*. Jenis kayu *Acacia mangium* mengandung 52.12 % α -selulosa, 29.81 % lignin, pentosan 16.69 %, ekstraktif tinggi dan abu sedang (Malik dkk. 1999). Sedangkan untuk jenis *Eucalyptus* mengandung 54,85 % α -selulosa, 29,61 % lignin, ekstraktif tinggi dan abu sedang (Fatimah dkk. 2013). Berdasarkan hasil analisa laboratorium terhadap kandungan kimia kedua jenis kayu tersebut, Siagian dkk. (1999) menyatakan bahwa jenis kayu tersebut baik digunakan sebagai bahan baku industri *pulp*.

I.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini, antara lain :

1. Bagaimana kondisi terbaik proses pulping dengan variasi tekanan oksigen.
2. Bagaimana pola kecenderungan delignifikasi pada proses pulping

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah, sebagai berikut :

1. Mempelajari kondisi terbaik proses pulping dengan variasi tekanan oksigen
2. Mempelajari pola kecenderungan delignifikasi pada proses pulping.

I.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini, diantaranya adalah :

1. Memberi wawasan baru bagi penulis dan masyarakat mengenai proses MCO_2 pada pulping
2. Mengurangi jumlah zat kimia berbahaya yang terkandung dalam limbah.pulp

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pulp

Pulp atau bubur kertas adalah hasil dari serat-serat selulosa dari kayu atau non-kayu yang diproses dengan cara melarutkan lignin semaksimal mungkin. Tujuan utama dari proses pulping adalah mendapatkan serat selulosa yang diindikasikan dengan nilai rendemen yang tinggi dengan kandungan lignin seminimal mungkin. Pada proses pulping lignin akan terdegradasi oleh larutan pemasak menjadi molekul yang lebih kecil. Peristiwa ini yang dikenal dengan delignifikasi (Saenah, 2002)

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

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

FAO (1980) dalam Syafei dan Siregar (2006)

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 (<i>Short</i>)	Teramat pendek (<i>Extremely very short</i>)	0-500
	Sangat pendek (<i>Very short</i>)	500-700
	Cukup pendek (<i>Fairly short</i>)	700-900
Sedang (<i>Medium</i>)		900-1.600
Panjang (<i>Long</i>)	Cukup Panjang (<i>Fairly long</i>)	1.600-2.200
	Sangat panjang (<i>Very long</i>)	2.200-3.000
	Teramat panjang (<i>extremely very long</i>)	>3.000

Tanaman kayu adalah sumber bahan baku yang paling banyak digunakan dan tersedia cukup melimpah di alam. Menurut ilmu botani, kayu digolongkan menjadi dua bagian besar, yaitu *gymnospermae* yang biasa disebut kayu daun jarum (*softwood*) dan *angiospermae* atau kayu daun lebar (*hardwood*).

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)

2.3.1. *Acacia Mangium*

Sekitar 1,3 juta ha digunakan untuk tanaman acacia mangium sebagai bahan baku pulp (Ministry of Forestry, 2003). Menurut Gledhill (2008), klasifikasi jenis kayu ini diuraikan sebagai berikut :

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

Ciri tanaman ini adalah bentuk batangnya bulat lurus, bercabang banyak (simpodial), berkulit tebal agak kasar, dan kadang beralur kecil dengan warna cokelat 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. 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 *hardwood* serat pendek. Rata-rata panjang serat tidak lebih dari 1 mm (1000µm) dan rata-rata ketebalan serat antara 3-4µm (Wu et al, 1988).

2.3.2. *Manihot Esculenta Crantz*

Manihot esculenta crantz, lebih dikenal sebagai singkong adalah tanaman yang bisa dibudidayakan dan tahan terhadap cuaca ekstrim. Klasifikasi jenis kayu ini diuraikan sebagai berikut :

<i>Kingdom</i>	: <i>Plantae</i>
<i>Divisi</i>	: <i>Magnoliophyta</i>
<i>Kelas</i>	: <i>Magnoliopsida</i>
<i>Ordo</i>	: <i>Euphorbiales</i>
<i>Famili</i>	: <i>Euphorbiaceae</i>
<i>Genus</i>	: <i>Manihot</i>
<i>Spesies</i>	: <i>Manihot esculenta Crantz</i>

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

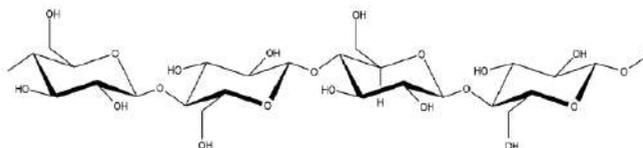
2.4. Komponen Kimia Kayu

2.4.1. Selulosa

Selulosa adalah bagian utama dari dinding sel kayu. Selulosa adalah suatu polimer karbohidrat yang kompleks yang memiliki persentase komposisi yang sama dengan tepung (kanji) dimana nilai glukosa dapat ditentukan dengan hidrolisis

menggunakan asam. 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.

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).



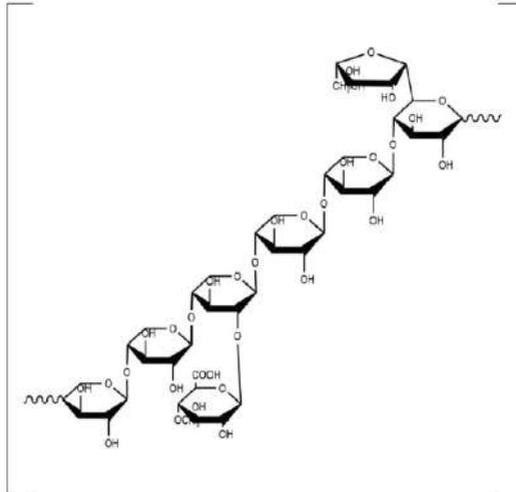
Gambar 2.1 Struktur Selulosa

2.4.2. 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 *dkk.*, 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 2.2 Struktur Hemiselulosa (Sunarno, 2011)

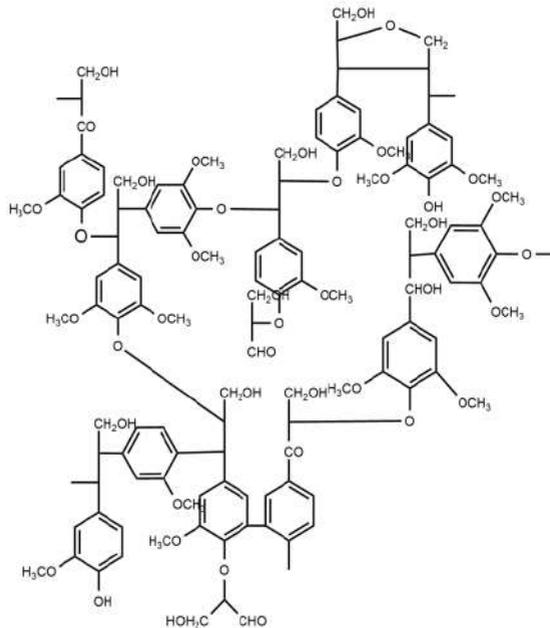
Hemiselulosa yang terkandung pada *hardwood* utamanya adalah xilan (15-30%) yang terdiri atas unit-unit xilosa yang dihubungkan oleh ikatan β -(1,4)-glikosida dengan percabangan berupa unit asam 4-O-*methylglucuronic* dan ikatan α -(1,2)-glukosida. Gugus O-asetil terkadang menggantikan gugus OH pada posisi C2 dan C3. Pada *softwood* kandungan hemiselulosa terbesar adalah galaktoglukomanan (15-20%) xilan dan (7-10%) gugus asetil (Ibrahim, 1998).

2.4.3. 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. Dinding sel juga mengandung lignin. Dalam dinding sel, lignin bersama hemiselulosa membentuk matriks dimana mikrofibril selulosa disusun. (Mimms, 1993)

Lignin memberikan pengaruh yang kurang baik terhadap pulp, yaitu warna maupun sifat fisik pulp, lamanya waktu penggilingan pulp berbanding terbalik dengan jumlah lignin yang dikandung oleh pulp. Apabila pulp mengandung kadar lignin tinggi akan sukar digiling dan menghasilkan lembaran dengan kekuatan rendah (Rahmawati, 1999). Hali ini yang menyebabkan lignin harus dipisahkan dari pulp. Struktur lignin dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.3 Struktur Lignin (Sunarno,2011)

2.4.4. Zat Ekstraktif

Hillis (1987) mendefinisikan zat ekstraktif sebagai senyawa-senyawa yang dapat diekstrak dari kayu atau kulit dengan pelarut polar dan non polar. Zat ekstraktif ini bukan merupakan bagian struktural dinding sel kayu, tetapi sebagai zat pengisi rongga sel. Zat ekstraktif terdiri dari bermacam-macam bahan yang tidak termasuk bagian dari dinding sel. Komponen ini memiliki nilai yang penting karena menyebabkan kayu tahan terhadap serangan jamur dan serangga, memberi bau, rasa dan warna pada kayu.

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, selain itu kandungan ekstraktif yang tinggi akan menyebabkan timbulnya noda hitam (*pitch*) pada lembaran pulp yang dihasilkan.

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 perenkim jari-jari. Pada lamela tengah juga terdapat zat ekstraktif dengan kadar yang lebih rendah jika dibandingkan dengan interseluler dan dinding sel trakeid serta libriform.

2.5. 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.

2.5.1. Mechanical Pulping

Menurut Karlsson, (2006) prinsip dari proses mechanical pulping adalah memisahkan fiber dari komponen lain dengan menggunakan alat mekanik. Dua hal yang mendasari pembentukan pulping dengan proses mekanik yaitu proses *groundwood* dan proses refining, adapun pulp yang terbentuk dari proses ini disebut dengan *Stone Ground Wood (SGW)*, *Refiner Mechanical Pulp (RMP)* dan *Thermo-Mechanical Pulp (TMP)*. Keuntungan yang didapat dari proses *mechanical pulping* ini selain menghasilkan rendemen yang tinggi (lebih dari 95%) juga menghasilkan opacity yang tinggi. Pada prinsipnya pulp yang terbentuk dari proses ini lebih lemah jika dibandingkan dengan pulp dari proses chemical, karena fiber yang menyusun lebih pendek dan lebih kaku sehingga mengurangi kekuatan ikatan satu sama lainnya (Karlsson, 2006)

2.5.2. Thermo-Mechanical Pulping

Jenis proses pulping ini (*Thermo-Mechanical Pulp*) merupakan tipe yang paling umum dari mechanical pulp dan merupakan modifikasi dari *Refiner Mechanical Pulp (RMP)*. Dari proses *Thermo Mechanical Pulping* dapat diketahui bahwa proses *steaming* dapat mengurangi pengaruh terhadap chips dan dapat menghasilkan pulp dengan persentase panjang serat lebih tinggi dan kandungan shive lebih sedikit jika dibandingkan dengan pulp dari proses *Refiner Mechanical Pulp (RMP)*.

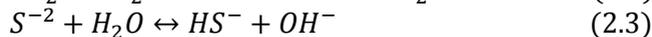
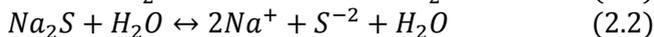
2.5.3. Chemical Pulping

Menurut Karlsson, (2006) 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

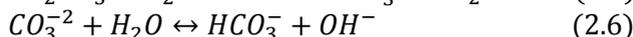
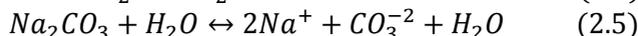
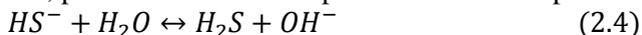
relative rendah jika dibandingkan dengan mechanical pulping. Persentase hasil yang diperoleh dari proses ini biasanya menghasilkan 40% sampai dengan 70%. Proses *chemical pulping* ini mempunyai dua prosedur yaitu,

a. Proses Kraft

Proses kraft ini pada prinsipnya mereaksikan bahan mentah untuk pulp (Kayu/chips) dengan larutan soda yang terdiri dari NaOH dan Na₂S. Larutan kraft pulping disebut liquor yang merupakan larutan basa kuat (pH~14) sebagian besar mengandung NaOH dan Na₂S dan juga mengandung sedikit Na₂CO₃, Na₂SO₄, Na₂S₂O₃ dan NaCl. Agen aktif pada kraft pulping liquor ini adalah ion OH⁻ dan HS⁻ yang dibentuk oleh hidrolisa NaOH dan Na₂S dengan persamaan :



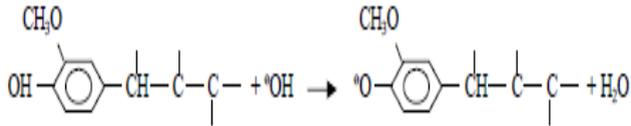
Selain itu, persamaan berikut berperan dalam cairan pemasak :



Pada proses ini jenis kayu yang digunakan dapat berasal dari berbagai jenis kayu. Keuntungan yang diperoleh dengan proses ini adalah proses recovery bahan kimia yang digunakan relatif tinggi dan pulp yang dihasilkan mempunyai kekuatan yang tinggi. Tetapi selain menghasilkan kekuatan yang tinggi, pulp pada tahap *unbleached* dari proses ini memiliki warna coklat. Pada tahap *unbleached* proses ini menghasilkan 65% sampai dengan 75%, sementara pada tahap *bleaching* proses dapat menghasilkan 43% sampai dengan 45%.

Pada proses soda dan kraft bahan baku di dalam digester yang berisi larutan soda (NaOH). Selama berlangsungnya proses pemasakan polimer lignin akan terdegradasi dan kemudian larut di dalam air (Damat, 1989). Larutnya lignin ini disebabkan oleh terjadinya transfer ion hidrogen dari gugus hidroksil pada lignin

ke ion hidroksil (Gillingan, 1974). Reaksi antara lignin dengan gugus hidroksil dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.4 Reaksi Lignin dengan Gugus Hidroksil dari NaOH

b. Proses Sulfit

Proses ini merupakan proses pulping dengan mereaksikan sam sulphite dan proses ini baik diterapkan untuk softwood maupun hard wood. Pulp yang dihasilkan dari proses ini mempunyai prosentase produksi 48 % sampai dengan 51%. Tetapi hal yang perlu diperhatikan adalah pulp yang dihasilkan lebih lemah jika dibanding dengan kraft pulp. Keuntungan dari proses ini adalah pulp yang dihasilkan mempunyai warna yang lebih cerah dibanding dengan kraft pulp.

2.6. Proses Delignifikasi

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, 1980).

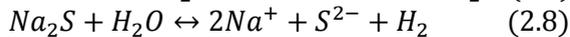
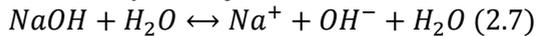
Reaksi penghilangan lignin saat pemasakan *pulp* dapat dikelompokkan atas tiga tahap, yaitu :

1. *Initial delignifikasi*, yaitu reaksi awal lignin dengan bahan kimia terutama pada fase impregnasi (masuknya bahan kimia ke dalam *chip*), terjadi pada temperatur dibawah 140⁰C dan menghasilkan lignin terlarut 20-25 %
2. *Bulk delignifikasi*, yaitu reaksi utama lignin dengan bahan kimia dimana kecepatan reaksi delignifikasi akan meningkat dengan kenaikan temperatur (diatas 140⁰C), menghasilkan lignin terlarut 70-80 %
3. *Residual delignifikasi*, yaitu reaksi sisa lignin dengan bahan kimia. Reaksi ini berlangsung lambat dan pada tahap ini lignin sudah terlarut 90-95 %

Dalam proses pembuatan *pulp* putih, kadar lignin yang tinggi dapat menyebabkan tingginya pemakaian bahan kimia pemutih. Selain itu kandungan lignin yang tinggi dapat menyebabkan kekuatan fisik menjadi rendah

2.6.1. Delignifikasi Asam

Salah satu proses delignifikasi asam adalah delignifikasi alkali- kraft pulping. 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 (160⁰C-180⁰ C) selama 1-2 jam.

2.6.2. Delignifikasi Oksigen

Medium Consistency Oxygen Delignification (MCO₂) disebut juga sebagai *oxygen delignification* karena bahan aktif yang digunakan untuk delignifikasi pulp adalah oksigen dan

alkali. Prinsip dari metode ini adalah oksigen pada kondisi alkaline, temperatur, dan tekanan akan bereaksi dengan pulp yang masih mengandung lignin. Oksigen dikonversikan menjadi sejumlah ion dan komponen radikal seperti O_2 , HO^- , dan lain-lain. Perpindahan massa merupakan bagian yang penting pada proses delignifikasi ini. Gas oksigen adalah zat yang kelarutannya rendah di dalam cairan sodium hidroksida pada temperatur tinggi. Ion HO^- meminimumkan lapisan air. Pada skala industri, digunakan *shear mixers* untuk menambah kontak antara serat dan gas (Pardede, 2009).

Proses MCO_2 dapat dioperasikan baik dalam single atau multiple stage. Pemilihan jumlah stage didasarkan pada pengurangan kappa number yang diinginkan. Untuk jenis softwood, tipe single stage dapat mengurangi kappa number kurang dari 50%, sedangkan untuk jenis hardwood, dibutuhkan multiple stage agar dapat mengurangi kappa number di atas 35%. (van Heiningen, 2007).

Tabel 2.5 Kondisi operasi proses MCO_2

Parameter	First stage	Second stage
Suhu (C)	80-85	90-105
Tekanan (bar)	7-10	3-5
Retention time (min)	20-40	60-80

2.7. *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 (Saleh, A, 2009). Kappa number kemudian ditentukan dengan jumlah 0,1 N larutan $KMnO_4$ yang dikonsumsi oleh 1 gr pulp dalam waktu 10 menit dengan suhu 25 C. Kappa number ini sangat berguna untuk menentukan kadar lignin dalam pulp. Larutan

kimia yang digunakan, diantaranya 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 pentiter (larutan standar) dan indikator starch 1% berfungsi sebagai indikasi berakhirnya proses titrasi (TAPPI, 1999)

Pada skala industri, telah dipasang sensor kappa number untuk melihat nilai kappa number. Sebenarnya kappa number on-line mengukur sampel dengan menggunakan teknik optik berdasarkan absorpsi sinar UV. Kemampuan lainnya adalah mengukur parameter lain seperti konsistensi, temperatur dan pH yang dikenali oleh alat dan akan menyalakan alarm jika hasil yang diinginkan menyimpang dari standar.

2.8. Penelitian Terdahulu

Judul	Hasil	Peneliti
Kajian Proses Isolasi α – Selulosa dari Limbah Batang Tanaman Manihot Esculenta Crantz yang Efisien	Limah ini dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan produk alfa-selulosa yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku industri : pulp, kertas, bahan peledak, membran plastik dan sebagainya.	(Sumada, dkk.2011).
Pengaruh Penambahan Oksigen Terhadap Derajat Putih Pada Tahap Ekstraksi Oksidasi di Unit Pencucian	Penambahan oksigen pada tahap Ekstraksi-oksidas dapat meningkatkan derajat putih karena proses oksidasi dapat menghilangkan lignin dan dapat menurunkan	(Pardede, 2009)

	bilangan kappa sehingga dapat diperoleh derajat putih akhir 89-90%	
Pengaruh Pemutihan Oksigen Dua Tahap Terhadap Kualitas Pulp Acacia mangium	Pemutihan oksigen dua tahap tanpa proses pencucian dengan variasi penambahan NaOH 100 : 0 dan 80 : 20 memberikan penurunan kappa number 46,73 % dan 44,33%	(Paryono 2011).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan skala laboratorium dengan beracuan kondisi proses di lapangan.

III.1 Bahan dan Alat

III.1.1 Bahan

1. Sampel kayu *Manihot E. Crantz*
2. Sampel kayu *Acacia magnium*
3. NaOH
4. Oksigen
5. Aquadest

III.1.2 Alat

III.1.2.1. Chamber dengan *waterbath*



Spesifikasi:

Jumlah	: 2x3 tube
Max Putaran	: 40 rpm
Voltage chamber	: 115 V/8 A
Temperatur max.	: 100 °C

Gambar 3.1 Chamber dengan *waterbath*

III.1.2.2. Reaktor



Gambar 3.2 Reaktor

Spesifikasi:

Tipe	: <i>Batch</i>
Tinggi	: 10 cm
Diameter	: 3 cm
Volume	: 73 ml
Max. Tekanan	: 20 atm

III.2 Parameter yang Digunakan

III.2.1 Parameter Tetap

Bahan baku : Sampel kayu *Eucalyptus* dan sampel kayu *Acacia magnium*

III.2.2 Parameter Berubah

1. Konsumsi NaOH
2. Temperatur
3. Waktu reaksi
4. Tekanan oksigen

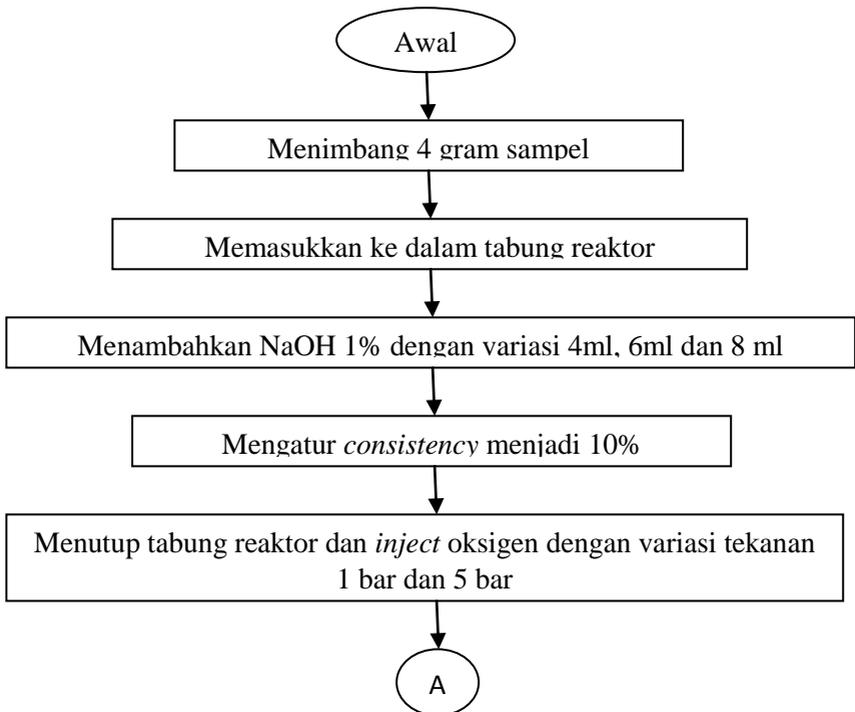
III.3 Parameter yang Dianalisa

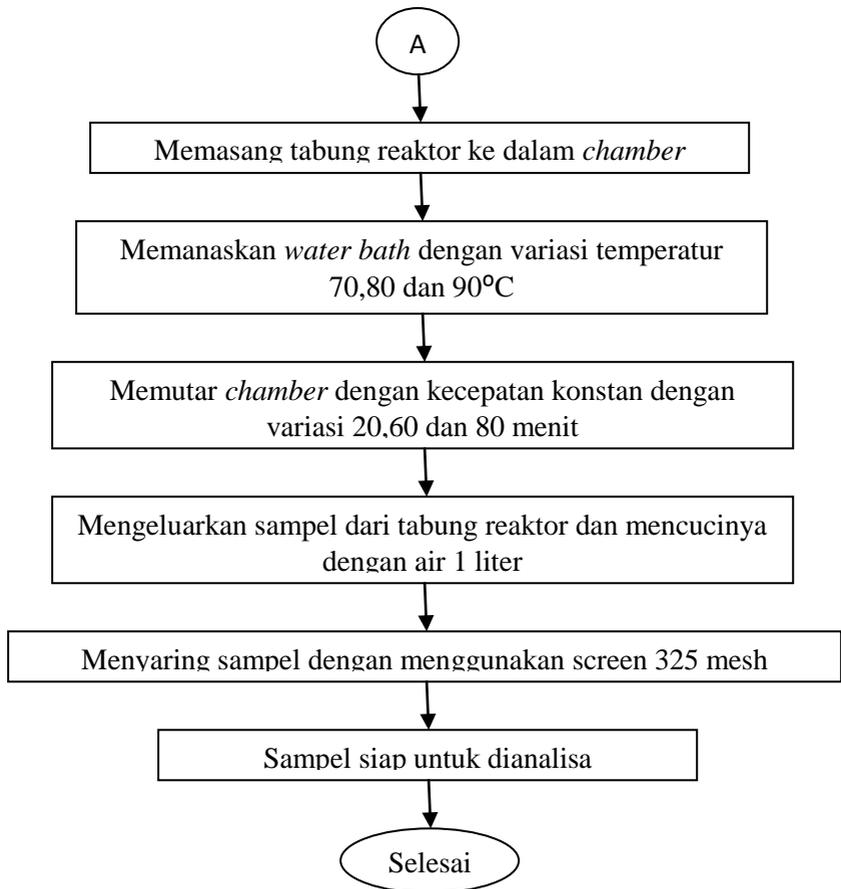
III.3.1 Bilangan Kappa ($KaNo$)

Berdasarkan TAPPI Test Method : T-236 cm 94, 1999

III.4 Diagram Alir Penelitian

III.4.1 Proses Delignifikasi MCO₂





III.5 Prosedur Penelitian

III.5.1 Prosedur Analisa bilangan Kappa

Berdasarkan TAPPI Test Method : T-236 cm 94, 1999

a. Prinsip uji

Pulp terurai direaksikan dengan sejumlah larutan kalium permanganat (KMnO_4). Jumlah pulp yang direaksikan akan mengkonsumsi 50 % kalium permanganat pada

akhir reaksi. Reaksi dilanjutkan dengan menambahkan larutan kalium iodida (KI) dan iod yang bebas dititrasi dengan larutan natrium thiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$). Angka yang dihasilkan dikoreksi secara tepat dengan 50 % konsumsi sisa kalium permanganat. Kondisikan contoh uji dalam udara terbuka dekat timbangan tidak kurang dari 20 menit sebelum melakukan penimbangan.

b. Prosedur

1. Sampel uji dikondisikan dalam udara terbuka dekat timbangan tidak kurang dari 20 menit sebelum melakukan penimbangan.
2. Ditimbang 3 g atau 4 g sampel dengan ketelitian 0,001 g, dimasukkan ke dalam gelas piala. Ditambahkan 500 mL air suling, kemudian diuraikan dengan disintegrator atau blender sampai serat-serat terurai. Banyaknya sampel kira-kira akan memakai 50 % larutan kalium permanganat. Pemakaian kalium permanganat harus diantara 30 % dan 70 %. Pada saat yang sama lakukan penentuan kadar air menurut SNI 7070, *Cara uji kadar air pulp dan kayu dengan metode pemanasan oven.*
3. Sampel yang telah terurai dipindahkan ke dalam gelas piala 2000 mL dan bilas gelas piala dengan air suling secukupnya sampai mencapai jumlah 795 mL. Suhu air suling harus $(25,0 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$.
4. Gelas piala diletakkan dalam penangas air bersuhu $(25,0 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$ dan diaduk perlahan menggunakan *magnetic stirrer* selama berlangsungnya reaksi.
5. Dipipet $(100,0 \pm 0,1)$ mL larutan kalium permanganat $(0,1000 \pm 0,0005)$ N dan 100 mL larutan asam sulfat 4,0 N masukkan ke dalam gelas piala 250 mL. Gelas piala diletakkan di dalam penangas air $25 ^\circ\text{C}$.
6. Ditambahkan campuran larutan kalium permanganat dan asam sulfat pada butir 5 ke dalam gelas piala yang berisi sampel. Bilas gelas piala dengan air suling

- jangan lebih dari 5 mL, air pembilas dimasukkan ke dalam gelas piala. Jumlah volume harus (1000 ± 5) mL. Reaksi dibiarkan berlangsung selama 10 menit
7. Setelah 10 menit, ditambahkan larutan kalium iodida 1,0 N sebanyak 20 mL.
 8. Dititrasi dengan larutan natrium tiosulfat 0,2 N setelah terbentuk iodium bebas (timbul warna kuning). Ditambahkan beberapa tetes larutan amilum sebagai indikator, sampai timbul warna biru, titrasi dilanjutkan sampai warna biru hilang. Dicatat pemakaian larutan natrium tiosulfat sebagai a mL.
 9. Dikerjakan blanko seperti pada butir 5.4.2 sampai dengan butir 5.4.8 tanpa menggunakan pulp. Catat pemakaian larutan natrium tiosulfat dalam titrasi blanko sebagai b mL.
- c. Perhitungan

$$K = \frac{p \times f}{w}$$

$$p = \frac{(b - a)N}{0,1}$$

Dimana :

- K : Nilai bilangan kappa
 f : Faktor koreksi pada pemakaian 50% kalium permanganat, tergantung pada harga p sesuai tabel 1
 w : Berat contoh kering oven, dinyatakan dalam gram (g);
 p : Larutan kalium permanganat yang terpakai oleh contoh pulp, dinyatakan dalam mililiter (mL);
 b : Larutan natrium tiosulfat yang terpakai dalam titrasi blanko, dinyatakan dalam mililiter (mL);
 a : Larutan natrium tiosulfat yang terpakai dalam titrasi contoh,
 dinyatakan dalam mililiter (mL);
 N : Normalitas larutan natrium tiosulfat.

Tabel 3.4. Faktor “p” koreksi perbedaan pemakaian persentase permanganat

p	+	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30		0,958	0,960	0,962	0,964	0,966	0,968	0,970	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									

CATATAN 1 Faktor dalam tabel adalah berdasarkan persamaan :

$$\text{Log } K = \log \left(\frac{p}{w} \right) + 0,00093(p - 50)$$

CATATAN 2 Koreksi untuk suhu reaksi. Jika perlu dipergunakan penangas air, tentukan suhu reaksi setelah reaksi berlangsung selama 5 menit, ini diperkirakan suhu reaksi rata-rata selama pengujian. Jika suhu tidak lebih dari 30 °C atau tidak kurang dari 20 °C, koreksi bilangan Kappa sebagai berikut :

$$K = [1 + 0,013(25 - t)] \frac{p \times f}{w}$$

t adalah suhu reaksi sebenarnya, dinyatakan dalam °C

III.6 Teknik Analisa Data dan Penyimpulan

Unbleach pulp yang telah melalui proses *cooking* sebagai sampel didelignifikasi dengan menggunakan metode MCO₂, dianalisa *kappa number*, penyusutan yang terjadi dan selektivitasnya.

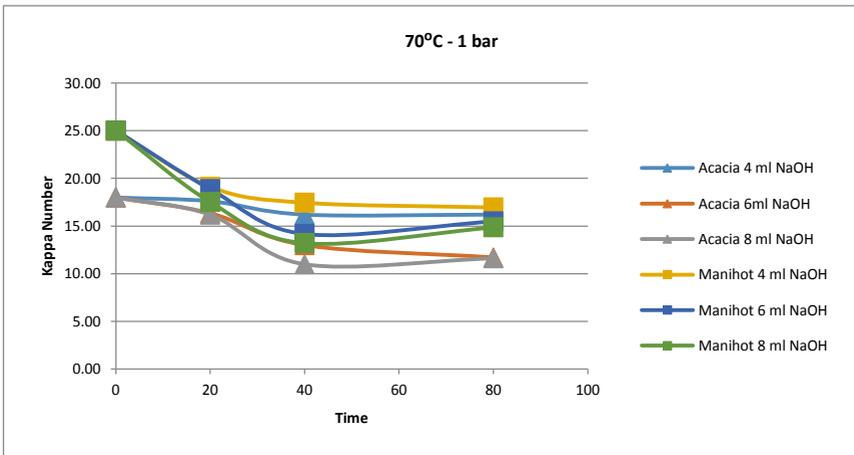
$$\text{Selektivitas} = \frac{\Delta \text{Kappa Number}}{\Delta \text{Penyusutan}} \times 100\%$$

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh tekanan oksigen terhadap delignifikasi pada proses pulping. Oksigen pada dasarnya bersifat kurang reaktif namun dalam larutan tertentu seperti NaOH akan bersifat sangat reaktif, sehingga tepat digunakan untuk proses *pulping* (Paryono, 2011). Penghilangan lignin menggunakan oksigen diperlukan untuk menghilangkan sisa lignin dari tahap *pra-bleaching*. Dengan mengurangi lignin akan dihasilkan bubur kayu yang lebih putih. Senyawa lignin akan lepas dan dihilangkan dengan pencucian dan ekstraksi. Oksigen delignifikasi akan mengurangi jumlah klorin yang dibutuhkan dalam proses *bleaching* (Pardede, 2009).

4.1. Pengaruh Waktu Terhadap Delignifikasi



Gambar 4.1. Grafik *Kappa Number* vs Waktu dengan Variasi Suhu 70°C dan Tekanan 1 bar pada sampel *Acacia mangium* dan *Manihot esculenta crantz*

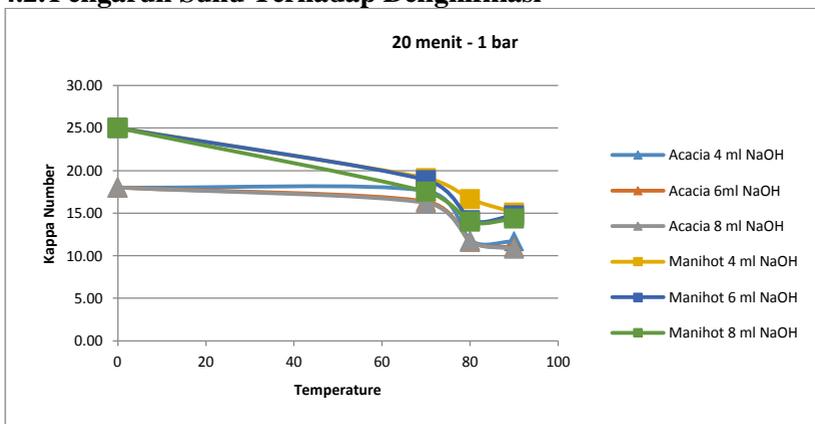
Berdasarkan data yang telah diplotkan pada Gambar 4.1 terlihat bahwa rata-rata hasil mengalami penurunan *Kappa Number* seiring dengan bertambahnya waktu, dan dosis NaOH yang ditambahkan. Azhary H., et al. (2011) menyebutkan bahwa dengan konsentrasi larutan NaOH yang semakin besar, maka jumlah lignin yang bereaksi dengan larutan pemasak ini juga semakin banyak, sehingga dapat menurunkan kandungan lignin dalam kayu, akan tetapi hal ini juga dapat merusak komponen selulosa dalam kayu, sehingga pemakaiannya dibatasi. Penelitian ini menggunakan dua jenis sampel kayu yaitu kayu berjenis *hardwood* atau kayu berbatang besar dan kayu berjenis *softwood*. *Acacia mangium* dipilih sebagai sampel kayu berjenis *hardwood*, sedangkan *Manihot esculenta crantz* dipilih sebagai sampel kayu berjenis *softwood*.

Yandha, D (2014) menyebutkan bahwa lamanya waktu reaksi akan menyebabkan reaksi hidrolisis lignin semakin meningkat, yang ditengarai dengan menurunnya *Kappa Number*. Namun semakin lama waktu reaksi juga dapat menyebabkan selulosa terdegradasi sehingga menurunkan kualitas pulp. Lama waktu reaksi yang optimum untuk proses delignifikasi adalah sekitar 60-120 menit dengan kandungan lignin konstan setelah rentang waktu tersebut. Untuk waktu di atas 5 jam lah yang dapat mengurangi kandungan selulosa dalam kayu. Pada sampel kayu *Acacia mangium* yang mula-mula memiliki *Kappa Number* sebesar 18, mengalami perubahan nilai pada penambahan NaOH 4 ml, menjadi 17,61 saat 20 menit, 13,49 saat 40 menit dan 11,88 saat 80 menit. Pada penambahan NaOH 6 ml, *Kappa Number* mengalami perubahan menjadi 16,35 saat 20 menit, 12,99 saat 40 menit dan 11,7 saat 80 menit. Pada penambahan NaOH 8 ml, *Kappa Number* mengalami perubahan menjadi 16,19 saat 20 menit, 10,99 saat 40 menit dan 11,62 pada 80 menit. Berdasarkan hasil yang telah dipaparkan, kecenderungan berbeda terjadi pada penambahan NaOH 8 ml di rentang waktu 80 menit, sehingga perlu diadakan adanya penelitian berlanjut dan analisis untuk membuktikan kebenarannya..

Untuk sampel kayu *Manihot esculenta crantz*, yang memiliki *Kappa Number* awal sebesar 25 mengalami perubahan nilai pada penambahan NaOH 4 ml, menjadi 19,11 saat 20 menit, 17,45 saat 40 menit dan 16,95 saat 80 menit. Pada penambahan NaOH 6 ml, *Kappa Number* mengalami perubahan menjadi 18,87 saat 20 menit, 14,17 saat 40 menit dan 15,49 saat 80 menit. Pada penambahan NaOH 8 ml, *Kappa Number* mengalami perubahan menjadi 17,52 saat 20 menit, 13,22 saat 40 menit dan 14,87 saat 80 menit. Berdasarkan hasil yang telah dipaparkan terdapat dua kecenderungan berbeda pada penambahan dosis NaOH 6 dan 8 ml di waktu 80 menit, sehingga diperlukan penelitian berlanjut dan analisis untuk membuktikan kebenarannya.

Data di atas menampilkan 1 dari 6 hasil penelitian yang telah dilakukan untuk perbandingan waktu vs *Kappa Number*. Berdasarkan hasil yang ada, diketahui bahwa kecenderungan yang sama juga dialami pada variabel-variabel lainnya (suhu 80, 90°C pada tekanan 1 dan 5 bar), yaitu penurunan yang cukup signifikan pada menit ke 20 dibanding pada menit ke 40 dan 80, artinya laju delignifikasi pada menit ke 20 ini adalah yang tercepat dibanding lainnya. Untuk data hasil penelitian yang lebih lengkap dapat dilihat di **LAMPIRAN**.

4.2. Pengaruh Suhu Terhadap Delignifikasi



Gambar 4.2. Grafik *Kappa Number* vs Suhu di menit ke 20 dan Tekanan 1 bar pada sampel *Acacia mangium* dan *Manihot esculenta crantz*

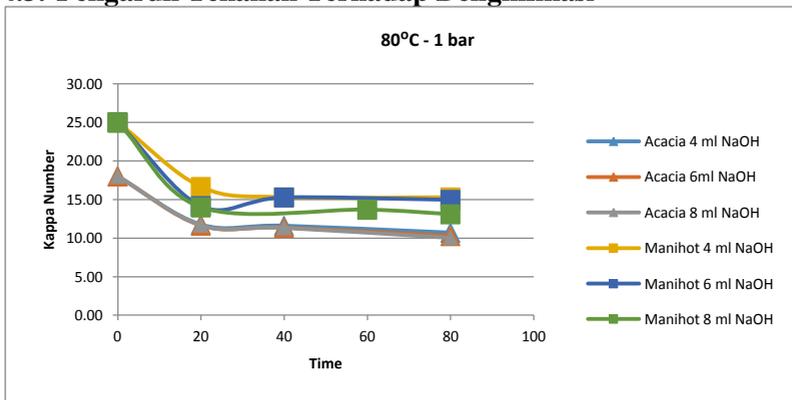
Gambar 4.2 menunjukkan hubungan antara suhu reaksi dengan *Kappa Number*, dengan data yang dicantumkan adalah pada saat 20 menit dan tekanan 1 bar. Azhary, H. et al (2011) menyebutkan bahwa suhu reaksi berhubungan dengan laju delignifikasi. Suhu yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya pemecahan makromolekul yang semakin banyak, sehingga lignin yang terlarut semakin banyak. Namun jika suhu di atas 160°C, dapat menyebabkan terjadinya degradasi selulosa. Untuk sampel *Acacia mangium* dengan *Kappa Number* awal sebesar 18 mengalami perubahan nilai pada penambahan NaOH 4 ml, menjadi 11,75 saat 70°C, 11,6 saat 80°C dan 10,7 saat 90°C. Pada penambahan NaOH 6 ml, *Kappa Number* mengalami perubahan menjadi 11,62 saat 70°C, 11,36 saat 80°C dan 10,27 saat 90°C. Pada penambahan NaOH 8 ml, *Kappa Number* mengalami perubahan menjadi saat 70°C, 11,33 saat 80°C dan 10,04 saat 90°C. Hasil yang didapatkan sesuai dengan referensi yang telah dijelaskan pada uraian di atas.

Untuk sampel *Manihot esculenta crantz* dengan *Kappa Number* awal sebesar 25 mengalami perubahan nilai pada penambahan NaOH 4 ml, menjadi 16,64 saat 70°C, 16,79 saat 80°C dan 15,25 saat 90°C. Pada penambahan NaOH 6 ml, *Kappa Number* mengalami perubahan menjadi 14,16 saat 70°C, 15,28 saat 80°C dan 14,97 saat 90°C. Pada penambahan NaOH 8 ml, *Kappa Number* mengalami perubahan menjadi 13,99 saat 70°C, 13,69 saat 80°C dan 13,1 saat 90°C.

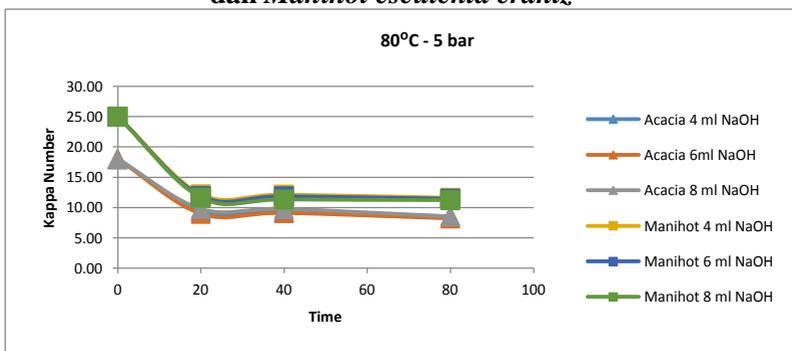
Data di atas menampilkan 1 dari 6 hasil penelitian yang telah dilakukan untuk perbandingan suhu vs *Kappa Number*. Berdasarkan hasil yang ada, diketahui bahwa mayoritas variabel memiliki kecenderungan yang sama yaitu semakin tinggi suhu reaksi yang digunakan maka *Kappa Number* yang didapatkan akan semakin kecil artinya laju delignifikasi berbanding lurus

dengan suhu reaksi. Untuk data hasil penelitian yang lebih lengkap dapat dilihat di **LAMPIRAN**.

4.3. Pengaruh Tekanan Terhadap Delignifikasi



Gambar 4.3. Grafik Kappa Number vs Waktu dengan Variasi Suhu 80 C dan Tekanan 1 bar pada Sampel *Acacia mangium* dan *Manihot esculenta crantz*



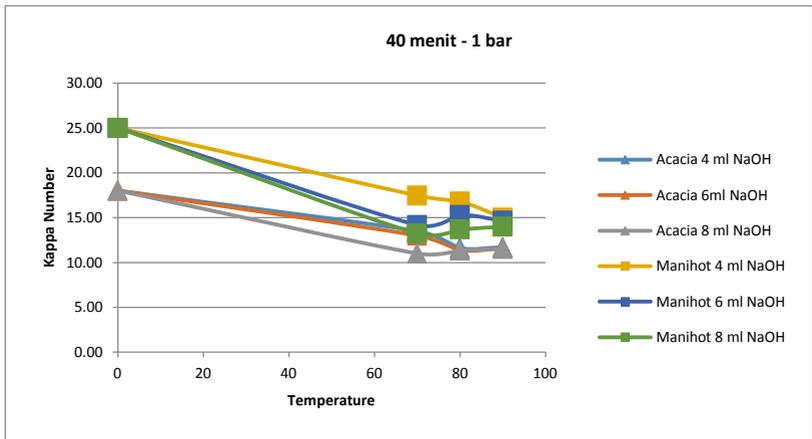
Gambar 4.4. Grafik Kappa Number vs Waktu dengan Variasi Suhu 80 C dan Tekanan 5 bar pada Sampel *Acacia mangium* dan *Manihot esculenta crantz*

Gambar 4.3 dan 4.4 menunjukkan perbandingan antara hasil delignifikasi pada tekanan 1 dan 5 bar saat variabel suhu

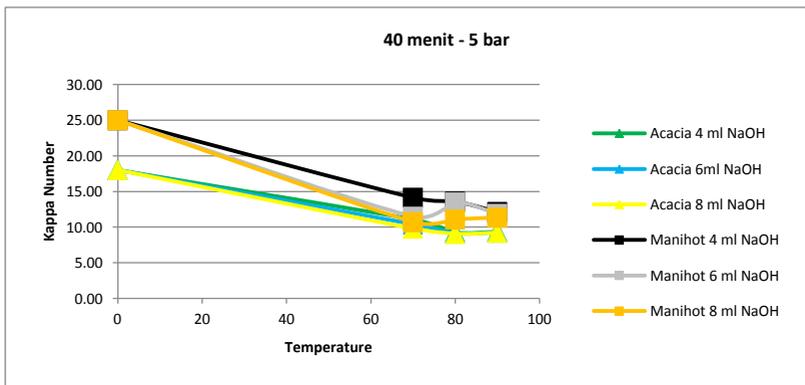
80°C. Pada bagian ini digunakan dua variasi tekanan oksigen yang berbeda, yaitu 1 dan 5 bar, sehingga dapat dibandingkan mana variasi yang memberikan hasil lebih baik. Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa penurunan *Kappa Number* jauh lebih signifikan apabila dibandingkan dengan Gambar 4.3, yaitu saat tekanan oksigen sebesar 1 bar. Besarnya nilai tekanan oksigen ini berpengaruh pada laju delignifikasi, yaitu besarnya tekanan yang ditambahkan berbanding lurus dengan laju delignifikasi yang dihasilkan (Paryono, 2011). Untuk variasi tekanan oksigenn 1 bar, pada sampel kayu *Acacia mangium* yang mula-mula memiliki *Kappa Number* sebesar 18, mengalami perubahan nilai pada penambahan NaOH 4 ml, menjadi 14,09 saat 20 menit, 11,08 saat 40 menit dan 9,45 saat 80 menit. Pada penambahan NaOH 6 ml, *Kappa Number* mengalami perubahan menjadi 13,08 saat 20 menit, 10,39 saat 40 menit dan 9,36 saat 80 menit. Pada penambahan NaOH 8 ml, *Kappa Number* mengalami perubahan menjadi 12,11 saat 20 menit, 9,79 saat 40 menit dan 8,99 saat 80 menit.

Untuk sampel kayu *Manihot esculenta crantz*, yang memiliki *Kappa Number* awal sebesar 25 mengalami perubahan nilai pada penambahan NaOH 4 ml, menjadi 15,48 saat 20 menit, 14,13 saat 40 menit dan 13,73 saat 80 menit. Pada penambahan NaOH 6 ml, *Kappa Number* mengalami perubahan menjadi 15,28 saat 20 menit, 11,48 saat 40 menit dan 12,55 saat 80 menit. Pada penambahan NaOH 8 ml, *Kappa Number* mengalami perubahan menjadi 14,19 saat 20 menit, 10,71 saat 40 menit dan 12,04 saat 80 menit. Berdasarkan hasil yang telah dipaparkan terdapat dua kecenderungan berbeda pada penambahan dosis NaOH 6 dan 8 ml saat waktu 80 menit, sehingga diperlukan penelitian berlanjut untuk membuktikan kebenarannya.

Jika dibandingkan dengan hasil pada variasi tekanan 1 bar, dapat dilihat bahwa pada variasi tekanan 5 bar, penurunan *Kappa Number* dengan acuan waktu ini lebih signifikan pada tekanan 5 bar, sesuai dengan referensi yang telah dicantumkan di atas.



Gambar 4.5. Grafik *Kappa Number* vs Suhu di menit ke 40 dan Tekanan 1 bar pada Sampel *Acacia mangium* dan *Manihot esculenta crantz*



Gambar 4.6. Grafik *Kappa Number* vs Suhu di menit ke 40 dan Tekanan 5 bar pada Sampel *Acacia mangium* dan *Manihot esculenta crantz*

Gambar 4.5 dan 4.6 menunjukkan perbandingan antara hasil delignifikasi pada tekanan 1 dan 5 bar saat rentang waktu 40 menit. Untuk variasi tekanan oksigen 1 bar, pada sampel kayu *Acacia mangium* yang mula-mula memiliki *Kappa Number* sebesar 18, mengalami perubahan nilai pada penambahan NaOH 4 ml menjadi 13,49 saat 70°C, 11,6 saat 80°C dan 11,7 saat 90°C. Pada penambahan NaOH 6 ml, *Kappa Number* mengalami perubahan menjadi 12,99 saat 70°C, 11,58 saat 80°C dan 11,36 saat 90°C. Pada penambahan NaOH 8 ml, *Kappa Number* mengalami perubahan menjadi 10,99 saat 70°C, 11,51 saat 80°C dan 11,33 saat 90°C.

Untuk sampel kayu *Manihot esculenta crantz*, yang memiliki *Kappa Number* awal sebesar 25 mengalami perubahan nilai pada penambahan NaOH 4 ml, menjadi 17,45 saat 70°C, 16,49 saat 80°C dan 14,99 saat 90°C. Pada penambahan NaOH 6 ml, *Kappa Number* mengalami perubahan menjadi 14,17 saat 70°C, 14,28 saat 80°C dan 13,99 saat 90°C. Pada penambahan NaOH 8 ml, *Kappa Number* mengalami perubahan menjadi 13,22 saat 70°C, 13,69 saat 80°C dan 14 saat 90 °C. Hasil yang sedikit berbeda terjadi pada penambahan NaOH 8 ml, dimana *Kappa Number* justru berbanding terbalik dengan penambahan suhu, sehingga perlu adanya penelitian serta analisa lanjutan untuk mengetahui kecenderungan ini.

Hasil yang didapat dari kedua grafik yang ditampilkan di atas memiliki kecenderungan yang sama, yaitu penurunan *Kappa Number* yang paling signifikan adalah pada saat suhu 70°C. Namun, jika dibandingkan dengan hasil pada variasi tekanan 1 bar, dapat dilihat bahwa pada variasi tekanan 5 bar, kecenderungan penurunan *Kappa Number* dengan acuan suhu ini lebih signifikan pada tekanan 5 bar, sesuai dengan referensi yang telah dicantumkan di atas, bahwa besarnya nilai tekanan oksigen ini berpengaruh pada laju delignifikasi. Besarnya tekanan yang ditambahkan akan berbanding lurus dengan laju delignifikasi

yang dihasilkan. Untuk data hasil penelitian selengkapnya dapat dilihat di **LAMPIRAN**.

4.4. Analisis 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 (Saleh A, 2009). Setelah beberapa waktu, permanganat bereaksi dengan pulp yang ditentukan dengan metode titrasi. Metode yang digunakan untuk pengujian *Kappa number* ini berdasarkan TAPPI Test Method : T-236 cm 94, 1999.

Pulp terurai direaksikan dengan sejumlah larutan kalium permanganat (KMnO_4). Jumlah pulp yang direaksikan akan mengkonsumsi 50 % kalium permanganat pada akhir reaksi. Reaksi dilanjutkan dengan menambahkan larutan kalium iodida (KI) dan iod yang bebas dititrasi dengan larutan natrium thiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$). Angka yang dihasilkan dikoreksi secara tepat dengan 50 % konsumsi sisa kalium permanganat. Kondisikan contoh uji dalam udara terbuka dekat timbangan tidak kurang dari 20 menit sebelum melakukan penimbangan (TAPPI Test Method; T-236 cm 94,1999). Data hasil analisis Kappa number ditampilkan dalam bentuk tabel di bawah ini.

Tabel 4.1. Hasil Analisis *Kappa Number* Sampel *Acacia mangium* dan *Manihot esculenta crantz* pada Tekanan 1 bar

No	Sample	Temperature (°C)	Time (menit)	ΔK	Residual Lignin (%)	DD(%)
1	Acacia Mangium	70	40	7.01	1.62	38.944
2	Acacia Mangium	80	80	7.96	1.48	44.222
3	Acacia Mangium	90	80	7.54	1.54	41.889
4	Manihot E. Crantz	70	40	11.78	1.94	47.120
5	Manihot E. Crantz	80	80	11.90	1.93	47.600
6	Manihot E. Crantz	90	80	11.14	2.04	44.560

Tabel 4.2. Hasil Analisis *Kappa Number* Sampel *Acacia mangium* dan *Manihot esculenta crantz* pada Tekanan 5 bar

No	Sample	Temperature (°C)	Time (menit)	ΔK	Residual Lignin (%)	DD(%)
1	Acacia Mangium	70	80	9.01	1.32	50.056
2	Acacia Mangium	80	80	9.97	1.18	55.389
3	Acacia Mangium	90	80	9.63	1.23	53.500
4	Manihot E. Crantz	70	40	14.29	1.57	57.167
5	Manihot E. Crantz	80	80	14.39	1.56	57.556
6	Manihot E. Crantz	90	80	13.77	1.65	55.094

Data di atas menunjukkan hasil terbaik untuk tiap sampel pada masing-masing suhu dan tekanan. Untuk hasil keseluruhan dapat dilihat di **APPENDIKS**. Berdasarkan data hasil analisis di atas, terlihat bahwa kondisi optimum untuk delignifikasi sampel *Acacia mangium* dan *Manihot esculenta crantz* adalah pada tekanan 5 bar, dengan hasil *Kappa Number* sebesar 8,03 untuk *Acacia mangium* dan 10,61 untuk *Manihot esculenta crantz*. Menurut Ragauskas (2009), kondisi ideal untuk delignifikasi sampel *Acacia mangium* adalah pada suhu sekitar 90°C dengan waktu 120 menit, sedangkan untuk sampel *Manihot esculenta crantz*, kondisi idealnya pada suhu 128°C dengan waktu 60 menit (Widodo, L et al, 2013)

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

V.1 Kesimpulan

1. Kondisi terbaik dari delignifikasi dengan tekanan oksigen untuk sampel *Acacia mangium* adalah pada kondisi operasi 5 bar, 80 C dan 80 menit dengan *Kappa number* sebesar 8,03 sedangkan hasil terbaik untuk sampel *Manihot esculenta crantz* adalah pada kondisi operasi 5 bar, 80 C dan 80 menit dengan *Kappa number* sebesar 10,61.
2. Delignifikasi untuk sampel *Acacia mangium* dan *Manihot esculenta crantz* cenderung mengalami penurunan *Kappa number* yang cukup signifikan pada saat $t = 20$ menit dibandingkan pada variabel waktu lainnya.

V.2 Saran

1. Perlu adanya penelitian lanjutan untuk mengetahui kinetika yang terjadi pada proses delignifikasi menggunakan metode MCO₂.
2. Memperbaiki reaktor, karena sering mengalami kebocoran, sehingga injeksi oksigen sering gagal yang menghambat jalannya penelitian.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

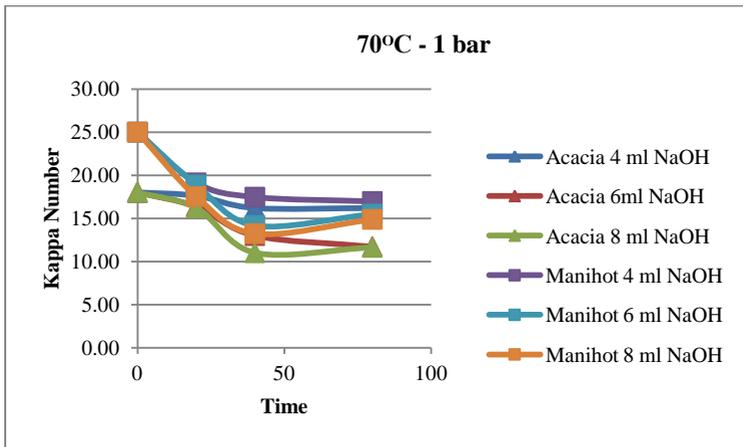
DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, D. 2009. *Kadar Lignin dan Tipe Monomer Penyusun Lignin pada Kayu Akasia*. Bogor : IPB.
- Azhary, H. et al. 2011. *Pembuatan Pulp Dari Batang Rosella Dengan Proses Soda*. Jurnal Teknik Kimia, No. 3, Vol. 17
- Casey, J.P. 1980. *Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology. Third Edition, Vol. 1.A*. New York : Wiley-Interscience Publisher Inc.
- Damat. 1989. *Isolasi Lignin dari Larutan Sisa Pemasak Pabrik Pulp dengan menggunakan H₂SO₄ dan HCl*. Fakultas Teknologi Pertanian. IPB. Bogor
- Fatimah, S. 2003. *Korelasi Kanonik Antara Sifat Dasar Kayu dengan Sifat Pulp Sulfat*. Bogor : IPB.
- Fengel, D. and Wegner, G. 1984. *Kayu (Kimia, Ultrastruktur, dan Reaksi-reaksi)*. Yogyakarta : UGM Press. Terjemahan dari : *Wood (Chemistry, Ultrastructure and Reactions)*.
- Karlsson, H. 2006. *Fibre Analysis and Process Applications in The Pulp and Paper Industry, a handbook*, Lorentzen & Wettre, Sweden.
- Kerr, A.J. 1975. *The Kinetics of Kraft Pulping and Batch Digester Control. Vol. 59 No.5*. United Stated : McGraw Hill.

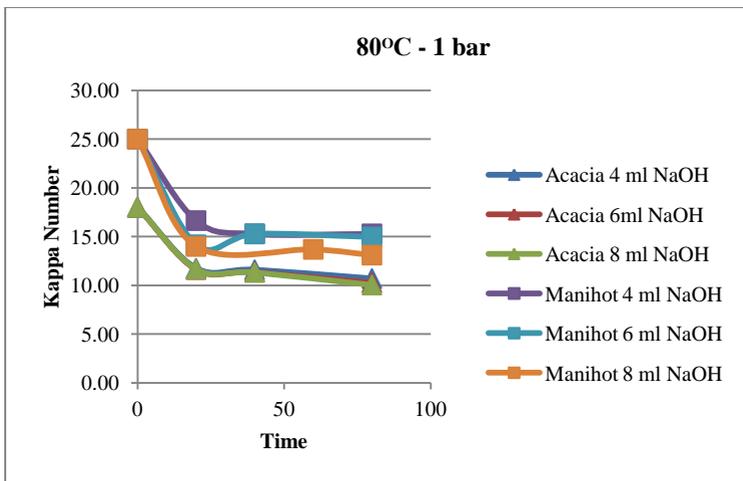
- Malik, J. dkk. 1999. *Sari Hasil Penelitian Acacia mangium*. Jakarta : Erlangga
- Martawijaya, A. dkk. 1981. *Atlas Kayu Indonesia Jilid 1*. Bogor : Balai Penelitian dan Pengembangan Departemen Kehutanan.
- Pardede, N. 2009. *Pengaruh Penambahan Oksigen Terhadap Derajat Putih Pada Tahap Ekstraksi Oksidasi di Unit Pencucian*. Medan : USU Repository
- Paryono. 2011. *Pengaruh Pemutihan Oksigen Dua Tahap Terhadap Kualitas Pulp Acacia mangium*. Bandung : Balai Pustaka Pulp dan Kertas
- Ragauskas, 2009. *The Chemistry and Pulping of Acacia*
- Rahmawati N. 1999. *Struktur Lignin Kayu Daun Lebar dan Pengaruhnya Terhadap Laju Delignifikasi*. Institut Pertanian Bogor
- Saenah, 2002. *Pengaruh Dosis Soda terhadap Karakteristik Pulp Abaca dan Pulp Kenaf Pulping Soda- Antaquinon*. Universitas Brawijaya. Malang.
- Saleh, A. et al. 2009. *Pengaruh Konsentrasi Pelarut, Temperatur dan Waktu Pemasakan Pada Pembuatan Pulp Dari Sabut Kelapa Muda*. Jurnal Teknik Kimia Vol. 16 No. 3
- Siagian, R.M., dkk. 1999. *Pengaruh Prahidrolisis Terhadap Kualitas Pulp Rayon Acacia mangium wild*. Buletin Penelitian Hasil Hutan

- Siagian, R.M., dkk. 1999. *Pemanfaatan Kayu Acacia mangium wild Sebagai Bahan Baku Pulp Kertas Koran*. Buletin Penelitian Hasil Hutan
- Sjostrom, E. 1995. *Kimia Kayu Edisi 2 : Dasar-dasar Penggunaan*. Yogyakarta : UGM Press.
- Susilo, J. 2002. *Modelling Oxygen Delignification in Pulp Processing Operations*. Jakarta : UI Press.
- Tasman, J.E., and Berzins, V. 1957. *The Permanganate Consumption of Pulp Materials*. Canada : Pulp and Paper Magazine.
- Van Heiningeen, A. 2007. *State of Knowledge of Oxygen Delignification*. USA : University of Maine.
- Widodo, L. U. et al. 2013. *Pemisahan Alpha-Selulosa Dari Limbah Batang Ubi Kayu Menggunakan Larutan Natrium Hidroksida*. Jurnal Teknik Kimia Vol. 7 No. 2
- Yandha, D. 2014. *Pengaruh Rasio Cairan Pemasak AA Charge Pada Proses Pembuatan Pulp Kayu Sungkai Terhadap Kualitas Pulp Yang Belum Diputihkan*. Politeknik Negeri Sriwijaya.

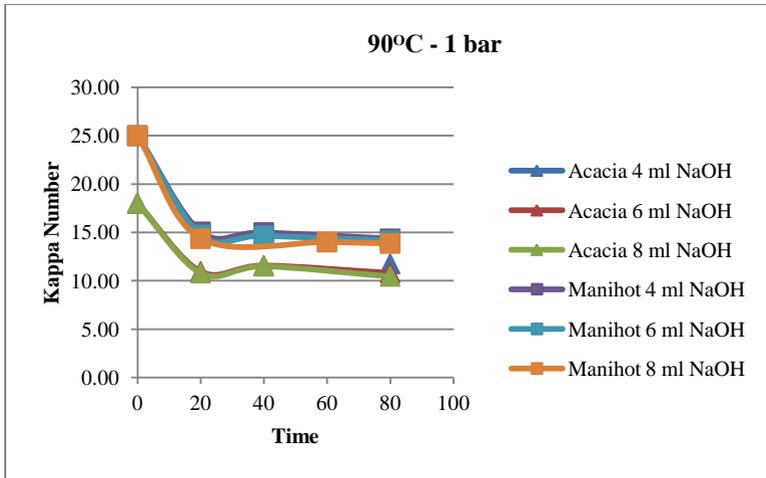
LAMPIRAN



(a)



(b)



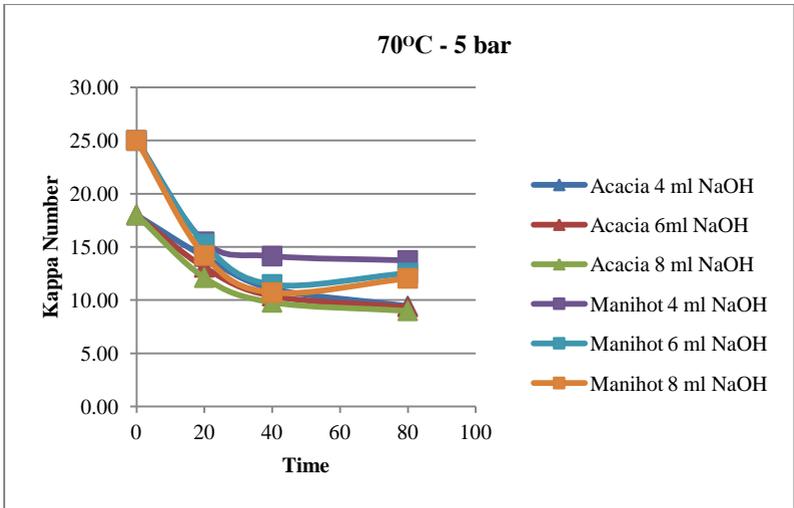
(c)

Keterangan Gambar :

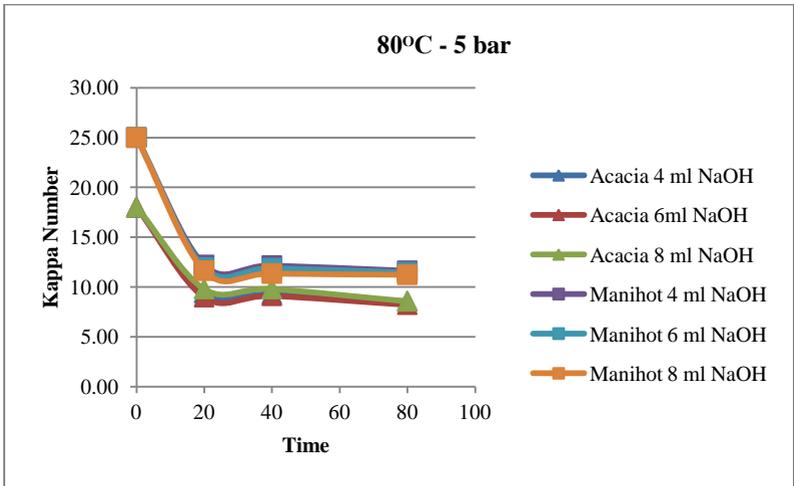
Gambar (a) : **Grafik *Kappa Number* vs Waktu dengan Variasi Suhu 70°C dan Tekanan 1 bar pada sampel *Acacia mangium* dan *Manihot esculenta crantz***

Gambar (b) : **Grafik *Kappa Number* vs Waktu dengan Variasi Suhu 80°C dan Tekanan 1 bar pada sampel *Acacia mangium* dan *Manihot esculenta crantz***

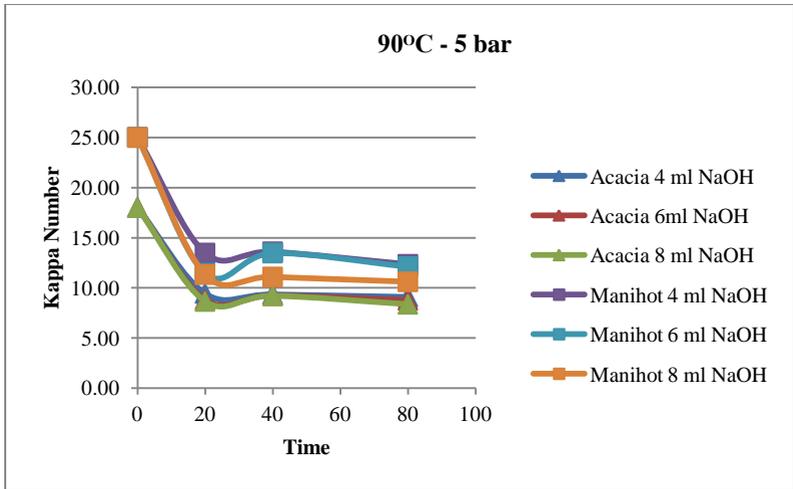
Gambar (c) : **Grafik *Kappa Number* vs Waktu dengan Variasi Suhu 90°C dan Tekanan 1 bar pada sampel *Acacia mangium* dan *Manihot esculenta crantz***



(d)



(e)



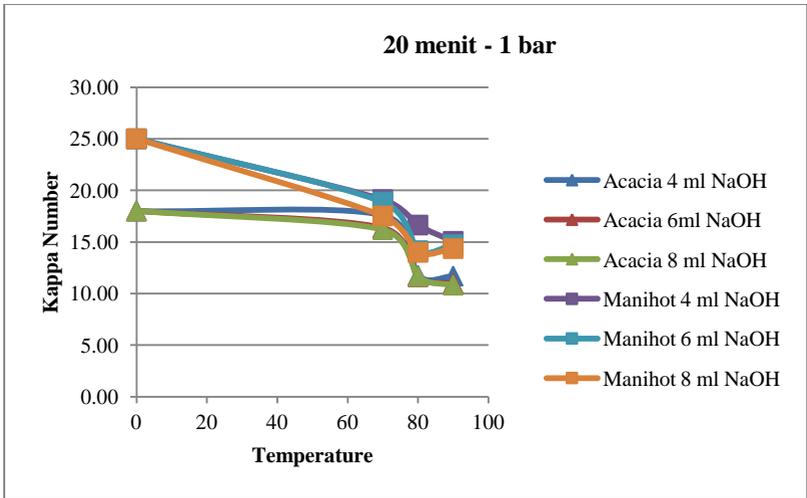
(e)

Keterangan Gambar :

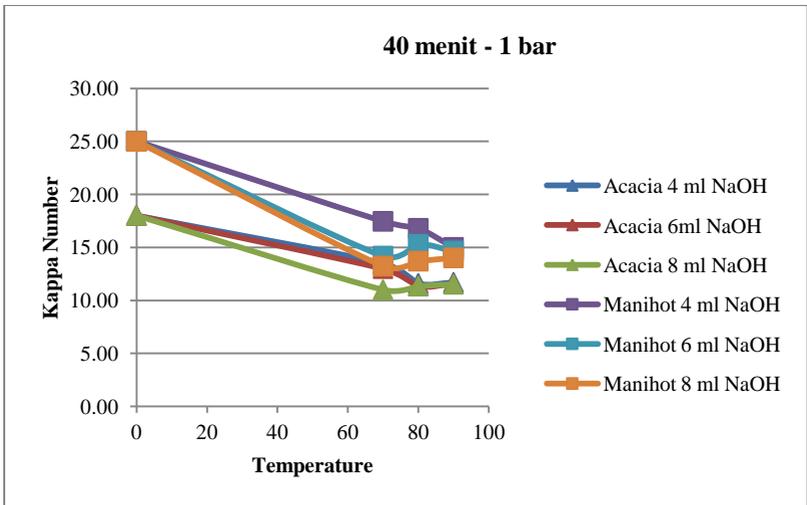
Gambar (d) : **Grafik *Kappa Number* vs Waktu dengan Variasi Suhu 70°C dan Tekanan 5 bar pada sampel *Acacia mangium* dan *Manihot esculenta crantz***

Gambar (e) : **Grafik *Kappa Number* vs Waktu dengan Variasi Suhu 80°C dan Tekanan 5 bar pada sampel *Acacia mangium* dan *Manihot esculenta crantz***

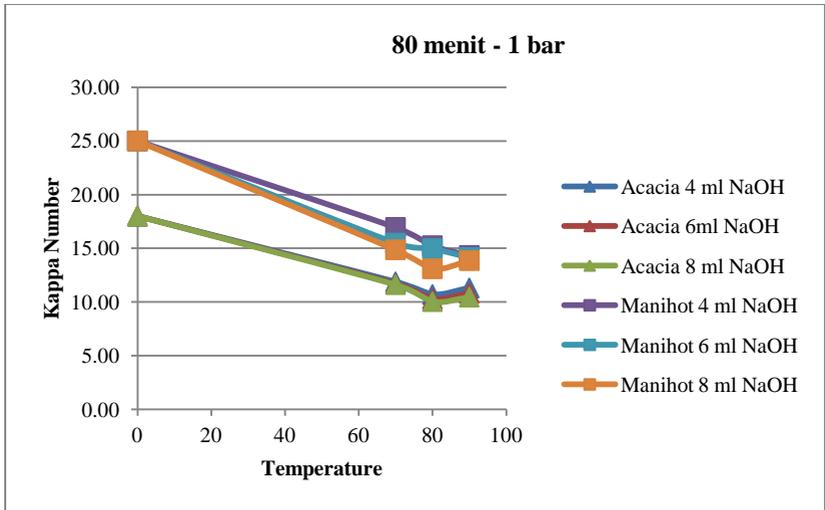
Gambar (f) : **Grafik *Kappa Number* vs Waktu dengan Variasi Suhu 80°C dan Tekanan 5 bar pada sampel *Acacia mangium* dan *Manihot esculenta crantz***



(g)



(h)



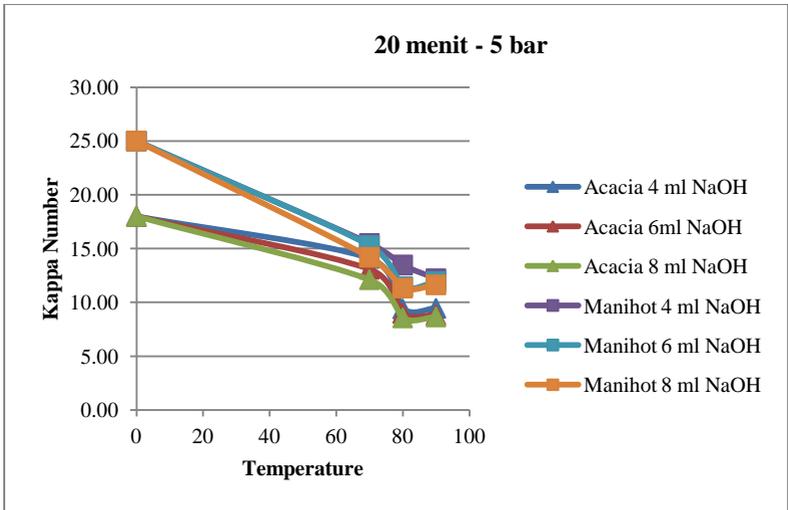
(i)

Keterangan Gambar :

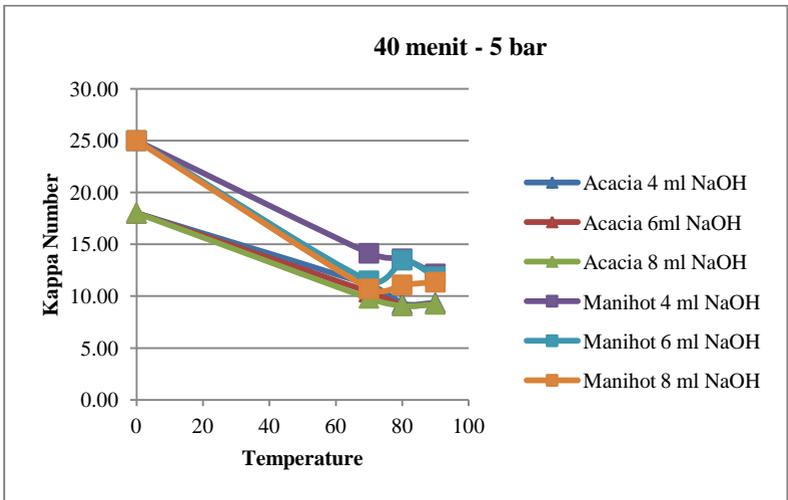
Gambar (g) : **Grafik *Kappa Number* vs Suhu di menit ke 20 dan Tekanan 1 bar pada sampel *Acacia mangium* dan *Manihot esculenta crantz***

Gambar (h) : **Grafik *Kappa Number* vs Suhu di menit ke 40 dan Tekanan 1 bar pada sampel *Acacia mangium* dan *Manihot esculenta crantz***

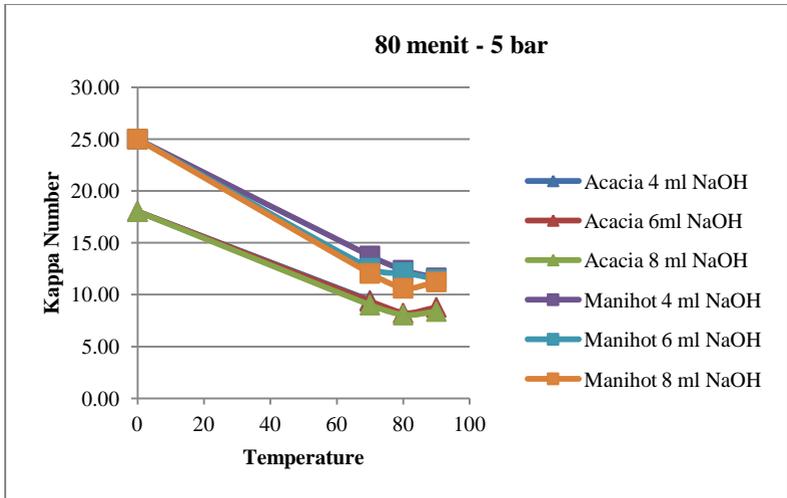
Gambar (i) : **Grafik *Kappa Number* vs Suhu di menit ke 80 dan Tekanan 1 bar pada sampel *Acacia mangium* dan *Manihot esculenta crantz***



(j)



(k)



(l)

Keterangan Gambar :

Gambar (j) : **Grafik *Kappa Number* vs Suhu di menit ke 20 dan Tekanan 5 bar pada sampel *Acacia mangium* dan *Manihot esculenta crantz***

Gambar (k) : **Grafik *Kappa Number* vs Suhu di menit ke 40 dan Tekanan 5 bar pada sampel *Acacia mangium* dan *Manihot esculenta crantz***

Gambar (l) : **Grafik *Kappa Number* vs Suhu di menit ke 80 dan Tekanan 5 bar pada sampel *Acacia mangium* dan *Manihot esculenta crantz***

BIODATA PENULIS



Josua Goklas Butar Butar, lahir di Ngawi, 23 Desember 1995. Merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal yang dimulai di SDK St. YOSEF Ngawi (2002-2008), dilanjutkan sekolah menengah pertama di SMPN 2 Ngawi (2008-2011), kemudian dilanjutkan pendidikan menengah atas di SMAS CAHAYA Medan (2011–2014). Penulis melanjutkan pendidikan pada jenjang perguruan tinggi di S1 Teknik

Kimia di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pada akhir studi penulis memilih laboratorium Teknik Reaksi Kimia untuk menyelesaikan tugas akhir dan skripsi. Bersama partner dan dibawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA dan Ir. Ignatius Gunardi, M.T. penulis berhasil menyelesaikan Tugas Pra-Desain Pabrik berjudul “Pra Desain Pabrik Gliserol Monooleat” dan skripsi berjudul “Pengaruh Tekanan Oksigen Terhadap Delignifikasi Pada Proses Pulping”. Penulis berhasil menyelesaikan pendidikan tingginya pada tahun 2018.

Email: josuagoklas2312@gmail.com

BIODATA PENULIS



Pradana Setyo Darminto, lahir di Tulungagung, 24 Agustus 1995. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal yang dimulai di SDN 1 Kampungdalem Tulungagung (2002-2008), dilanjutkan sekolah menengah pertama di SMPN 1 Tulungagung (2008-2011), kemudian dilanjutkan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Boyolangu Tulungagung (2011–2014). Penulis melanjutkan pendidikan pada jenjang perguruan tinggi di S1 Teknik Kimia di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pada akhir studi penulis memilih laboratorium Teknik Reaksi Kimia untuk menyelesaikan tugas akhir dan skripsi. Bersama partner dan dibawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA dan Ir. Ignatius Gunardi, M.T. penulis berhasil menyelesaikan Tugas Pra-Desain Pabrik berjudul “Pra Desain Pabrik Gliserol Monooleat” dan skripsi berjudul “Pengaruh Tekanan Oksigen Terhadap Delignifikasi Pada Proses Pulping”. Penulis berhasil menyelesaikan pendidikan tingginya pada tahun 2018.

Email: donidarminto@gmail.com