

**KESAN PEMUKULAN DAN PENGADUNAN PULPA TERHADAP SIFAT  
GENTIAN DAN KERTAS EFB**

**oleh**

**MOHD ASRO BIN RAMLI**

**Tesis yang diserahkan untuk memenuhi keperluan bagi  
Ijazah Sarjana Sains**

**JAN 2009**

*“Kepada isteri tersayang Aishah dan anak-anak yang dikasihi Anis, Arif serta Aina – galakan dan kasih sayang mereka menjadi sumber inspirasi untuk terus yakin dan konsisten.”*

## PENGHARGAAN

Bismilahirrahmanirrahim...

Alhamdulillahirabbilalamin, dengan rasa rendah diri saya panjatkan setinggi-tinggi kesyukuran ke hadrat Illahi, kerana dengan izin dan limpah kurniaNya maka akhirnya dapatlah saya menyempurnakan projek penyelidikan pada peringkat Ijazah Sarjana ini dengan jayanya.

Ucapan penghargaan yang tak terhingga saya titipkan kepada Penyelia Utama projek ini Profesor Wan Rosli Wan Daud yang telah memberi tunjuk ajar dan pengetahuan baru dari awal hingga ke akhir projek ini. Terima kasih di atas segala nasihat dan panduan yang telah diberikan serta saya mohon halal segala ilmu yang telah disampaikan semoga dapat memberi manfaat kepada insan di muka bumi ini.

Terima kasih juga saya sampaikan kepada pensyarah-pensyarah yang sudi meluangkan masa dan memberi tunjuk ajar yang tak ternilai termasuklah Dr. Mazlan Ibrahim, Dr. Leh Cheu Peng, Dr. Arniza Ghazali dan Dr. Rushdan Ibrahim.

Jutaan terima kasih saya hулurkan kepada pembantu-pembantu makmal yang banyak membantu dalam menyediakan peralatan dan pengendalian alatan terutamanya En. Abu Mangsor Mat Sari, En Azlisufrizal Bunizar dan Penolong-penolong Pegawai Sains yang banyak membantu saya menghadapi saat-saat buntu ketika pertembungan tanggungjawab dan masalah penyelidikan iaitu En. Azizan Che Adnan, En. Joseph Hemadry serta En. Ahmad Khairuddin.

Tidak lupa saya kepada jasa kedua ibubapa yang tidak jemu-jemu memberi harapan dan dorongan serta doa untuk mencapai kesejahteraan dunia dan akhirat. Kasih sayang yang dicurahkan selama ini tidak akan saya lupakan sepanjang hayat ini. Hanya Allah jua yang dapat membalas semuanya.

Kepada sahabat-sahabat yang banyak membantu dan berkongsi pengetahuan saya amat hargai di atas pertolongan kalian terutama saudara Mohd Firdaus Yhaya, Amzar, Ilimi Khairani dan Pn. Zian Hairani serta rakan-rakan seperjuangan lain. Semoga persahabatan yang terjalin akan kekal selamanya.

Akhir kata, sekalung penghargaan kepada pemeriksa dalaman dan pemeriksa luaran tesis ini dan sesiapa sahaja yang terlibat secara langsung dan tidak langsung sepanjang saya menjalankan projek penyelidikan ini. Pengalaman yang telah diperolehi akan saya manfaatkan sebaik mungkin supaya pengetahuan ini tidak dibiarkan begitu sahaja. Semoga usaha saya selama ini mendapat keredhaan dan keberkatan daripada Allah Taala. Amin.

## ISI KANDUNGAN

<b>TAJUK</b>	<b>MUKA SURAT</b>
<b>PENGHARGAAN</b>	iii
<b>ISI KANDUNGAN</b>	v
<b>SENARAI RAJAH</b>	x
<b>SENARAI JADUAL</b>	xv
<b>SENARAI SINGKATAN DAN SIMBOL</b>	xvi
<b>ABSTRAK</b>	xix
<b>ABSTRACT</b>	xxi
<b>BAB1      PENGENALAN</b>	1
1.1    Latar belakang	1
1.2    Justifikasi	4
1.3    Objektif Penyelidikan	5
<b>BAB 2      TINJAUAN LITERATUR</b>	6
2.1    Kelapa Sawit	6
2.1.1 Industri Kelapa Sawit	7
2.1.2 Lignoselulosik Kelapa Sawit	9
2.2    Kimia Gentian Bahan Lignoselulosik	11
2.2.1 Selulosa	13
2.2.2 Hemiselulosa	18
2.2.3 Lignin	20
2.3    Pemulpaan	22
2.3.1 Pemulpaan Alkali	25

	2.3.1 (a)	Pemulpaan Kraft	26
	2.3.1 (b)	Pemulpaan Soda	29
	2.3.2	Penggunaan Antrakuinon	30
	2.3.2 (a)	Mekanisme Tindak balas Antrakuinon	31
	2.3.3	Pemulpaan Termomekanikal	35
	2.3.4	Kesan Parameter Faktor- Faktor Pemulpaan	37
	2.3.3 (a)	Suhu	37
	2.3.3 (b)	Masa	37
	2.3.3 (c)	Alkali	38
	2.4	Pemukulan dan Pemukul	39
	2.4.1	Kesan Pemukulan Terhadap Pulpa	42
<b>BAB 3</b>		<b>EKSPERIMEN</b>	46
	3.1	Penyediaan Bahan Mentah	46
	3.2	Pemulpaan	47
	3.2.1	Penyediaan Likor Pemulpaan	49
	3.2.2	Penghadaman Gentian	49
	3.2.3	Peleraian Pulpa	50
	3.3	Penentuan Hasil Pemulpaan	51
	3.4	Pembuatan Kertas	53
	3.4.1	Penyediaan Stok Pulpa	53
	3.4.2	Penyepaian Pulpa	53

3.4.3	Kebebasan	55
3.4.4	Pemukulan Pulpa	56
3.4.5	Penentuan Berat Kertas	57
3.4.6	Penghasilan Kertas	58
3.4.7	Penamaan Sampel Kertas	61
3.5	Penentuan Sifat-sifat Pulpa	62
3.5.1	Nombor Kappa	62
3.6	Pengujian Sifat-sifat Kertas	64
3.6.1	Sifat-sifat Gentian	64
3.6.1 (a)	<i>Panjang Gentian</i>	64
3.6.2	Pemotongan Kertas	65
3.6.3	Sifat – Sifat Mekanikal	66
3.6.3 (a)	<i>Kekuatan Tensil</i>	66
3.6.3 (b)	<i>Rintangan Koyakan</i>	66
3.6.3 (c)	<i>Ketahanan Lipatan</i>	67
3.6.3 (d)	<i>Kekuatan Pecahan</i>	68
3.6.4	Sifat-sifat Optikal	69
3.6.4 (a)	<i>Kecerahan</i>	69
3.6.4 (b)	<i>Kelegapan</i>	70
<b>BAB 4</b>	<b>KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>	71
4.1	Sifat – sifat Pulpa	71
4.1.1	Kebebasan	71
4.1.1 (a)	<i>Pulpa Tak Terolah</i>	71

4.1.1 (b)	<i>Pulpa Terolah</i>	72
4.1.2	Panjang Gentian	76
4.1.2 (a)	<i>Pulpa Tak Terolah</i>	76
4.1.2 (b)	<i>Pulpa Terolah</i>	77
4.2	Sifat – sifat Mekanikal Kertas	81
4.2.1	Indeks Tensil	81
4.2.1 (a)	<i>Pulpa Tak Terolah</i>	82
4.2.1 (b)	<i>Pulpa Terolah</i>	84
4.2.1 (c)	<i>Kesan Pengadunan</i>	87
4.2.2	Kekuatan Pecahan	90
4.2.2 (a)	<i>Pulpa Tak Terolah</i>	90
4.2.2 (b)	<i>Pulpa Terolah</i>	92
4.2.2 (c)	<i>Kesan Pengadunan</i>	92
4.2.3	Ketahanan Lipatan	96
4.2.3 (a)	<i>Pulpa Tak Terolah</i>	96
4.2.3 (b)	<i>Pulpa Terolah</i>	97
4.2.3 (c)	<i>Kesan Pengadunan</i>	99
4.2.4	Rintangannya Koyakan	101
4.2.4 (a)	<i>Pulpa Tak Terolah</i>	101
4.2.4 (b)	<i>Pulpa Terolah</i>	102
4.2.4 (c)	<i>Kesan Pengadunan</i>	103

4.2.5	Perhubungan Indeks Tensil –	
	Koyakan	105
4.2.5 (a)	<i>Pulpa Tak Terolah</i>	105
4.2.5 (b)	<i>Pulpa Terolah</i>	107
4.2.6	Perhubungan Indeks Koyakan –	
	Pecahan	108
4.2.6 (a)	<i>Pulpa Tak Terolah</i>	108
4.2.6 (b)	<i>Pulpa Terolah</i>	109
4.3	Sifat – Sifat Optikal Kertas	110
4.3.1	Kecerahan	110
4.3.1 (a)	<i>Pulpa Tak Terolah</i>	110
4.3.1 (b)	<i>Pulpa Terolah</i>	111
4.3.1 (c)	<i>Kesan Pengadunan</i>	113
4.3.2	Kelegapan	115
4.3.2 (a)	<i>Pulpa Tak Terolah</i>	116
4.3.2 (b)	<i>Pulpa Terolah</i>	117
4.3.2 (c)	<i>Kesan Pengadunan</i>	119
BAB 5	KESIMPULAN DAN CADANGAN	122
5.1	Kesimpulan	122
5.2	Cadangan	124
	RUJUKAN	125
	LAMPIRAN	131

## SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKASURAT
1.1	Permintaan untuk produk kertas dan bod	2
2.1	Struktur rantai selulosa	14
2.2	Skematik pembentukan kawasan kristal dan amorfus rantai	16
2.3	Struktur gentian kayu	17
2.4	Monomer-monomer hemiselulosa	18
2.5	Monomer-monomer lignin	20
2.6	Pembentukan lignin	21
2.7	Penurunan elektrokimia dalam pemulpaan AQ	32
2.8	Proses pengoksidaan dalam pemulpaan AQ	33
2.9	Tindak balas katalik AQ	34
2.10	Penyingkiran AQ dalam pemulpaan	35
2.11	PFI mill, gulungan, dan perumah	42

2.12	Mekanisme cadangan untuk bagaimana pemfibrilan dalaman dihasilkan oleh tindakan mampatan. Pemampatan pada kawasan A meratakan dan memampatkan gentian menyebabkan pemecahan struktur lamela dinding sel pada lipatan pada kawasan B, menyebabkan pemecahan sambung-silang antara mikrofibril	45
3.1	Pengukur Kandungan Lembapan ( <i>Electrical Moisture Meter Analyser</i> )	46
3.2	Carta alir pemulpaan Soda dan Kraft di makmal	48
3.3	Penghadam( <i>Computerised Pulping Unit</i> )	50
3.4	Peleraai Pulpa ( <i>Hydra Pulper</i> )	51
3.5	Penskrin ( <i>Sommerville Fractionator</i> )	52
3.6	Penyepai ( <i>Disintegrator</i> )	54
3.7	Pemukul PFI Mill	57
3.8	Mesin Penghasilan Kertas ( <i>Handsheet machine</i> )	59
3.9	Proses penghasilan kertas daripada pulpa bukan kayu	61
3.10	Pengukur Panjang Gentian FAS 3000	64
3.11	Cara-cara Pemetongan Kertas Makmal	65
3.12	Penguji Kekuatan Tensil ( <i>Tensile Strength Tester</i> )	66
3.13	Penguji Koyakan ( <i>Elmendorf Tearing Tester</i> )	67

3.14	Penguji Ketahanan Lipatan ( <i>Folding Endurance Tester</i> )	68
3.15	Penguji Kekuatan Pecah ( <i>Bursting Strength Tester</i> )	69
3.16	Penguji Kecerahan dan Kelegapan ( <i>Brighness and Opacity Tester</i> )	70
4.1	Perubahan morfologi gentian dengan peningkatan proses pemukulan	75
4.2	Pemfibrilan luaran	79
4.3	Kekuatan tensil kertas pulpa tak terolah	83
4.4	Kekuatan tensil kertas pulpa tak terolah dan terolah	85
4.5	Perubahan kekuatan tensil daripada EF kepada E(b)F(b)	89
4.6	Perubahan kekuatan tensil daripada EA kepada E(b)A(b)	89
4.7	Kekuatan pecahan kertas pulpa tak terolah	91
4.8	Kekuatan pecahan kertas pulpa tak terolah dan terolah	94
4.9	Perubahan kekuatan pecahan daripada EF kepada E(b)F(b).	94
4.10	Perubahan kekuatan pecahan daripada EA kepada E(b)A(b)	95
4.11	Kekuatan lipatan kertas pulpa tak terpukul	97

4.12	Kekuatan lipatan kertas pulpa tak terpukul dan terpukul	99
4.13	Perubahan kekuatan lipatan daripada EF kepada E(b)F(b)	100
4.14	Perubahan kekuatan lipatan daripada EA kepada E(b)A(b)	101
4.15	Kekuatan koyakan kertas pulpa tak terolah	102
4.16	Kekuatan koyakan kertas pulpa tak terolah dan terolah	104
4.17	Perubahan kekuatan koyakan kertas daripada EF ke E(b)F(b)	104
4.18	Perubahan kekuatan koyakan kertas daripada EA ke E(b)A(b)	105
4.19	Perhubungan indeks tensil melawan indeks koyakan pulpa tak terpukul	106
4.20	Perhubungan indeks tensil melawan indeks koyakan	107
4.21	Perhubungan indeks koyakan melawan indeks pecahan	108
4.22	Perhubungan indeks koyakan melawan indeks pecahan	109
4.23	Kecerahan pulpa tak terolah	111
4.24	Kecerahan pulpa tak terolah dan terolah	113
4.25	Perubahan kecerahan daripada EF kepada E(b)F(b)	114

4.26	Perubahan kecerahan daripada EA kepada E(b)A(b)	115
4.27	Kelegapan pulpa tak terolah	117
4.28	Kelegapan pulpa tak terolah dan terolah	118
4.29	Perubahan kelegapan daripada EF ke E(b)F(b)	120
4.30	Perubahan kelegapan daripada EA ke E(b)A(b)	121

## SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKASURAT
2.1	Kawasan penanaman kelapa sawit di Malaysia	9
2.2	Antara kegunaan sisa-sisa industri dan ladang kelapa sawit pada masa ini	11
2.3	Nilai purata berpemberat darjah pempolimeran	14
2.4	Jenis-jenis pulpa dan kegunaannya	23
2.5	Peralatan pemukulan pulpa di makmal	40
3.1	Jenis-jenis gentian dan jenis pemulpaan yang digunakan	47
3.2	Peraturan pengadunan pulpa teradun berasaskan berat 24 gram.	54
4.1	Kesan pemukulan ke atas nilai kebebasan CSF	73
4.2	Nilai kebebasan dan Model Bauer McNett untuk beberapa jenis pulpa	76
4.2	Panjang Gentian Untuk Gentian Tak Terolah dan Terolah	79
4.3	Komposisi kimia untuk beberapa jenis gentian sebelum pemulpaan	84

## SENARAI SINGKATAN DAN SIMBOL

A	-	<i>Acacia mangium</i>
AEMS	-	Alkaline Earth Metal Solvent
AFL	-	Average fibre length
AHQ	-	Antrahidrokuinon
AQ	-	Antrakuinon
BOD	-	Biochemical oxygen demand (keperluan oksigen biokimia)
CSF	-	Canadian Standard Freeness (Kebebasan Piawai Kanada)
DP	-	Degree of polymerization (Darjah pempolimeran)
EFB / E	-	Empty fruit bunch (Tandan buah kosong kelapa sawit)
Fr	-	Freeness (kebebasan)
GC	-	Gas Chromatography (Kromatografi gas)
LWA	-	Length weighted average (Purata panjang berpemberat)
MDF	-	Medium Density Fibreboard (Bod gentian berketumpatan sederhana)

MPOPC	-	Malaysian Palm Oil Promotion Council (Majlis Promosi Minyak Kelapa Sawit Malaysia)
MTBE	-	Methyl tertier butyl ether (Metil tersier butil eter)
OPF / F	-	Oil palm frond (pelepah kelapa sawit)
PKKB (SGW)	-	Pemulpaan kayu kisar batu (stone groundwood)
PKKK	-	Pemulpaan kemikayu kisar
PKKT	-	Pemulpaan kayu kisar tekanan
PKTM	-	Pemulpaan kimia termomekanik
POME	-	Palm Oil Mill Effluent (Sisa Kilang Minyak Kelapa Sawit)
PPM	-	Pemulpaan penghalus mekanik
PSKSN	-	Pemulpaan semikimia sulfat neutral
PTM (TMP)	-	Pemulpaan termomekanikal (Termomechanical pulping)
RBA	-	relative bonded area (kawasan terikat relatif)
R.H	-	relative humidity (kelembapan bandingan)
RMP	-	refiner mechanical pulping (pemulpaan mekanikal penghalus)
S.M.	-	Sebelum Masihi
T	-	Termomekanikal

THF	-	Tetrahydrofuran (Tetrahidrofuran)
cm <sup>2</sup>	-	sentimeter persegi
g	-	gram
kg	-	kilogram
kPa	-	kiloPascal
m	-	minit
m <sup>2</sup>	-	meter persegi
mL	-	mililiter
mm	-	milimeter
MgO	-	Magnesium oksida
NaOH	-	Natrium hidroksida
Na <sub>2</sub> S	-	Natrium sulfida
nm	-	nanometer
OH <sup>-</sup>	-	Ion hidroksil
psig	-	per square inch gravity
SH <sup>-</sup>	-	Ion hidrosulfida
t	-	time (masa)
α	-	alfa
°C	-	Darjah Celcius

# KESAN PEMUKULAN DAN PENGADUNAN PULPA TERHADAP SIFAT GENTIAN DAN KERTAS EFB

## ABSTRAK

Kesan pengadunan dan pengolahan terhadap sifat-sifat gentian, mekanikal dan optikal pulpa telah dikaji dengan melakukan perbandingan di antara jenis-jenis pulpa iaitu pelepah kelapa sawit (OPF), tandan buah kelapa sawit kosong (EFB), *Acacia mangium* dan kayu lembut (jenis pine). Kesan pengadunan pulpa memberi kesan yang positif terhadap peningkatan kekuatan kertas dengan penggantian gentian-gentian individu yang kuat terhadap gentian-gentian yang lemah. Penambahan pulpa serendah 20% boleh memberi keputusan yang memberangsangkan. Kesan pengolahan yang dilakukan terhadap pulpa OPF, EFB dan *Acacia mangium* dengan melalui proses pemukulan masing-masing 3000, 4000 dan 7000 pusingan memberi faedah yang besar terhadap kekuatan mekanikal dengan menghasilkan gentian yang lebih rebah dan mempunyai luas permukaan spesifik yang lebih tinggi. Peningkatan kekuatan tensil bagi pulpa pelepah kelapa sawit adalah sehingga 56.5%, pulpa tandan kelapa sawit kosong sebanyak 33.8% dan pulpa kayu *Acacia mangium* sebanyak 62.5%. Peningkatan dalam kekuatan kepecahan juga adalah signifikan iaitu di antara 48.3% hingga 71.2%. Pulpa pelepah kelapa sawit mempunyai kekuatan tensil yang tinggi iaitu 50 Nm/g dan pulpa tandan kelapa sawit kosong adalah 40 Nm/g. Kekuatan kepecahan bagi pulpa pelepah dan tandan kelapa sawit kosong masing-masing adalah 3.4 kPa.m<sup>2</sup>/g dan 2.4 kPa.m<sup>2</sup>/g. Kedua-dua

pulpa ini mempunyai prestasi yang lebih baik berbanding pulpa kayu dalam sifat-sifat gentian dan mekanikal.

# THE EFFECTS OF BEATING AND BLENDING ON EFB FIBER AND PAPER PROPERTIES

## ABSTRACT

The blending and treatment (beating) of pulps derived from oil palm frond (OPF), empty fruit bunch (EFB), *Acacia mangium* and soft wood (pine type) were investigated as means of modifying the mechanical, optical, and fibers characteristics of the resulting paper. The strength of paper produced from weaker pulps was significantly increased by blending with as little as 20% of the stronger OPF and EFB pulps. Beating the pulps for OPF, EFB and *Acacia mangium* respectively 3000, 4000 and 7000 rotations was shown to vastly improve the papers' mechanical strength by producing fibers which are more collapsible and have higher specific areas. The tensile strength of paper made from beaten pulps increased by 56.5% for oil palm frond pulps, 33.8% for empty fruit bunch pulps and 62.5% for *Acacia mangium* wood pulps compared to their unbeaten equivalents. Beaten oil palm frond pulps and empty fruit bunch pulps produced papers with tensile strengths as high as  $50 \text{ Nmg}^{-1}$  and  $40 \text{ Nmg}^{-1}$  respectively. The increase in burst strength due to beating was also significant between 48.3% to 71.2%. The burst strength for oil palm frond and empty fruit bunch pulps were  $5.3 \text{ kPa.m}^2/\text{g}$  and  $3.6 \text{ kPa.m}^2/\text{g}$  respectively. These two pulps performed better than the wood pulps in terms of fiber and mechanical properties.

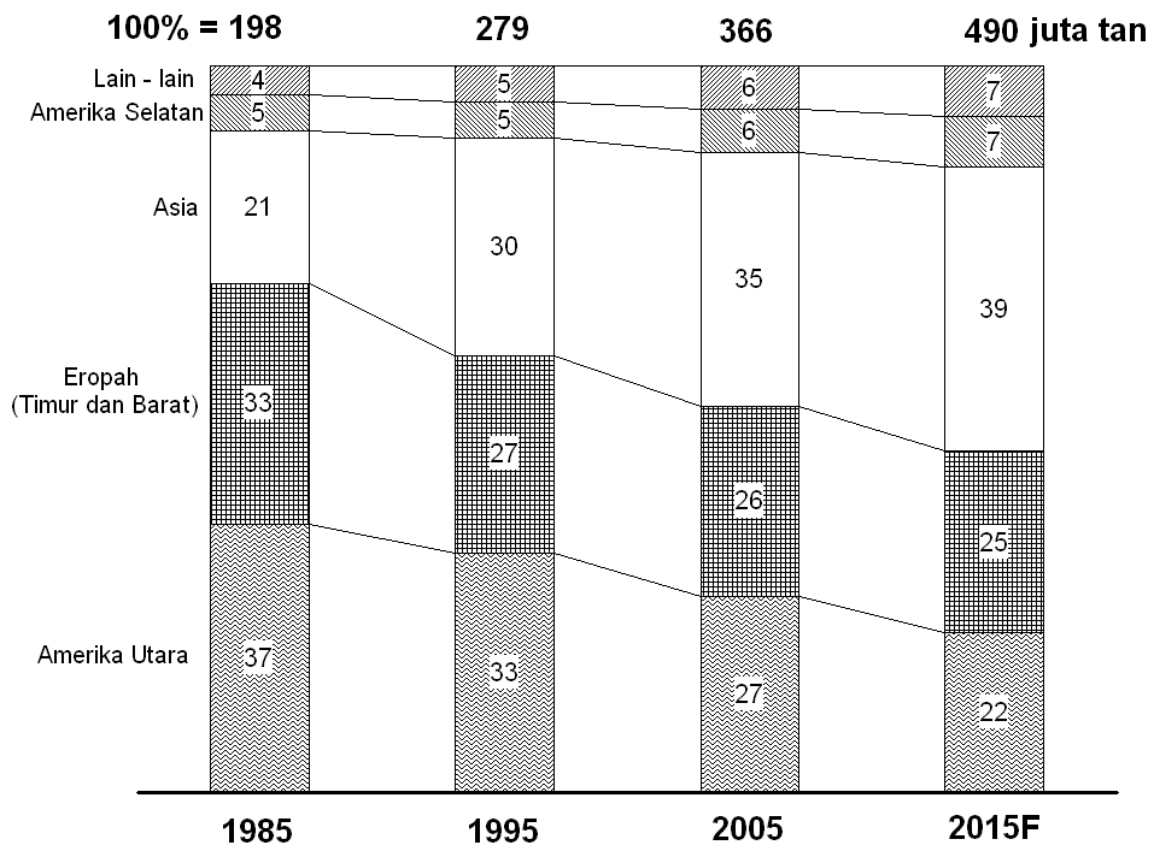
## **BAB 1      PENGENALAN**

### **1.1    Latar Belakang**

Kertas mempunyai sejarah yang panjang dalam ketamadunan manusia. Kewujudan bahan bertulis adalah selari dengan pembangunan masyarakat. Orang Mesir telah mencipta kertas papirus pada 3000 S.M. Sekitar 200 S.M., kertas kulit daripada kulit kambing telah dibangunkan. Penghasilan kertas dikreditkan kepada Ts'ai Lun dari China pada tahun 105 di bawah Maharaja Hoti (Biermann, 1993). Dalam tempoh 20 tahun beliau menghasilkan kertas daripada kulit mulberi yang dirawat dengan kapur, buluh, dan kain. Orang China menganggap bahawa kertas adalah penemuan penting dan ini adalah rahsia yang dijaga rapi selama lima kurun sehinggalah teknologi ini sampai ke Barat. Orang Arab telah menawan bandar di China yang mempunyai kilang kertas pada awal tahun 700 dan dari situ mereka menghasilkan industri pembuatan kertas mereka sendiri. Kertas dibuat pertama kalinya di England pada 1496. Kilang kertas Amerika yang pertama, iaitu Kilang Rittenhouse telah dibina pada 1690 di Germantown, Pennsylvania (Biermann, 1993).

Apabila proses untuk menghasilkan kertas dalam skala yang besar ditemui, bahan mentah seperti kain buruk dan gentian kapas didapati tidak mencukupi untuk memenuhi permintaan. Hal ini menyebabkan penyelidikan yang intensif dijalankan untuk mencari bahan bergentian yang baru untuk pembuatan kertas. Usaha ini membawa kepada penciptaan proses pemulpaan kayu antara 1840 - 1884 (Scott, 1995). Apabila semakin ramai penduduk dunia yang boleh membaca permintaan terhadap bahan pendidikan dan bercetak semakin meningkat (Eves, 1988). Bukan itu sahaja, malah kertas juga mula digunakan untuk tujuan hiburan

(majalah), pembungkusan, dan penjagaan kebersihan seperti tisu. Namun demikian, terdapat dua perkara yang menjadi saingan kepada industri kertas pada era kemajuan teknologi yang pesat ini. Pertamanya, bahan seperti plastik mula menggantikan kertas, khususnya dalam bidang pembungkusan. Keduanya, kewujudan teknologi komunikasi dan maklumat yang berasaskan internet juga sedikit sebanyak telah mengurangkan pergantungan kepada kertas, kerana data dan maklumat dapat dihantar secara maya. Walau bagaimanapun, industri ini tidak terganggu dengan kewujudan kedua – dua saingan ini. Walaupun dengan kewujudan plastik sebagai bahan pembungkusan dan internet, jelas daripada statistik kedudukannya sebagai komoditi tidak terjejas, malah permintaannya kian meningkat di sesetengah negara.



Rajah 1.1: Permintaan untuk produk kertas dan bod (Berg, 2006)

Rajah 1.1 menunjukkan permintaan untuk produk kertas dan bod semakin meningkat dan dijangka terus meningkat sehingga 490 million tan pada tahun 2015. Pertambahan populasi dunia dan perkembangan pendidikan akan menambahkan lagi permintaan terhadap kertas. Walaupun pulpa dikitar semula boleh digunakan, tetapi pulpa dara masih diperlukan dalam kegunaan yang tertentu. Begitu juga, pengeluaran kilang yang semakin meningkat akan memerlukan bod gelugur untuk dibuat kotak pembungkus.

Pada 1996, industri kertas menghadapi ancaman utama seperti dianggap sebagai industri dengan emisi persekitaran yang tinggi di dalam udara, air, dan tanah. Keduanya, masyarakat percaya bahawa industri ini bertanggungjawab memotong hutan hujan dan hutan tua di sebelah Utara, penanaman monokultur apabila menanam pokok baru, pemotongan berlebihan dalam kawasan sensitif, dan sebagainya (Diesen, 1998). Keadaan ini menyebabkan banyak penyelidikan dijalankan untuk mengatasi masalah ini. Antaranya ialah pembalakan dari hutan yang ditanam daripada pokok yang cepat tumbuh seperti *Acacia mangium*. Sumber bukan kayu seperti pelepah dan tandan buah kosong kelapa sawit, kenaf, bagas, dan lain – lain juga digunakan sebagai bahan mentah di dalam penghasilan pulpa. Selain itu, konsep pengadunan juga diamalkan untuk mendapatkan sifat kertas yang optimum tanpa perlu menggunakan peratusan pulpa dara yang tinggi. Roslan (2001) mengadunkan pulpa dara *Acacia mangium* dengan pulpa terulang *Acacia mangium* untuk mengembalikan kekuatan pulpa terulang. Pada masa yang sama pengadunan ini dapat mengurangkan pergantungan kepada pulpa dara sepenuhnya. Selain itu, penebangan hutan dapat dikurangkan serta menjimatkan kos pengeluaran. Dalam kajian ini, pulpa tak terpukul dan terpukul dibandingkan

untuk menguji keberkesanan proses pemukulan untuk meningkatkan prestasi kertas. Selain itu, pulpa kayu lembut, pulpa kayu keras, dan pulpa bukan kayu juga diadunkan. Tujuan pengadunan ini adalah untuk mendapat prestasi kertas yang terbaik dengan kos yang minimum.

## **1.2 Justifikasi**

Pola terkini dalam penyelidikan kertas adalah dengan mengkaji potensi sumber pulpa selain daripada sumber kayu yang lazimnya digunakan sekarang. Sebagai contoh, pulpa daripada sumber bukan kayu seperti daripada tandan kelapa sawit kosong, pelepah kelapa sawit dan kenaf. Penggunaan kayu *Acacia mangium* dalam pembuatan kertas pernah dikaji oleh Mazlan (2002) dan Mazlan et al. (2004). Kajian – kajian tentang penggunaan EFB sebagai bahan mentah pulpa dan kertas telah dijalankan oleh penyelidik – penyelidik tempatan mahu pun luar negara. Antaranya Tanaka (2000), Wan (1997), Wan Rosli et al. (1998, 2005), dan Ilmi (2004). Kajian tentang pelepah (frond) pula pernah dijalankan oleh Khoo dan Lee (1991) dan Wan Rosli et al. (2004, 2007). Law and Jiang (2001) pula pernah membuat kajian mengenai pulpa TMP *trembling aspen*. Walau bagaimanapun, setakat ini tiada kajian yang dijalankan mengenai kesan pemukulan dan peratusan percampuran terhadap pulpa – pulpa ini. Isu ini adalah sangat penting kerana proses pemukulan dapat meningkatkan sifat-sifat fizikal kertas, manakala pencampuran dapat mengurangkan kos pembuatan kertas. Justeru itu, penyelidikan ini bertujuan untuk mengkaji faktor – faktor tersebut.

### 1.3 Objektif Penyelidikan

Penyelidikan ini dijalankan dengan mengadunkan pulpa – pulpa seperti pelepah kelapa sawit (frond), tandan buah kelapa sawit kosong (EFB), *Acacia mangium*, dan kayu lembut TMP mengikut peraturan tertentu. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan perbandingan prestasi di antara pulpa-pulpa tersebut dan kesan percampuran ke atas sifat – sifat fizikal, mekanikal, dan optikal kertas. Selain itu, kertas juga disediakan daripada pulpa yang telah dipukul dengan pemukul PFI Mill. Beberapa objektif yang ingin dicapai ialah:

1. Mengkaji kesan pengadunan pulpa-pulpa terhadap sifat – sifat gentian, mekanikal dan optikal kertas.
2. Mengkaji kesan pemukulan terhadap sifat – sifat gentian, mekanikal, dan optikal kertas kertas.
3. Mengkaji potensi penggantian pulpa dara komersil (*Acacia mangium*) dengan pulpa bukan kayu seperti tandan buah kelapa sawit kosong (EFB) dan pelepah kelapa sawit (frond).

## BAB 2 TINJAUAN LITERATUR

### 2.1 Kelapa Sawit

*Elaeis guineensis* atau lebih dikenali sebagai kelapa sawit, berasal dari hutan hujan tropika di Afrika Barat. Lazimnya didapati di kawasan pantai yang panjang dan sempit yang meliputi dari Senegal ke Angola, dan berterusan sepanjang Sungai Congo (Moll, 1987).

Ciri-ciri taksonomi bagi kelapa sawit adalah seperti berikut:

Order	:	Palmales
Famili	:	Palmaceae
Subfamili	:	Cocoideae
Genus	:	<i>Elaeis</i>
Spesies	:	<i>guineensis</i>
Nama latin	:	<i>Elaeis guineensis</i>

Seperti pokok kelapa, kelapa sawit ditanam untuk mendapatkan buahnya yang dapat menghasilkan minyak. Melihat kepada kepentingannya sebagai bahan komersil, aspek botanikal dan penanamannya telah dikaji secara meluas (Hartley, 1972 & 1977 ; Corley *et al.*, 1976).

Walaupun pertumbuhannya agak lambat, kelapa sawit mengeluarkan hasil minyak per unit kawasan yang lebih tinggi berbanding tumbuhan hasilan minyak yang lain. (Ng, 1972). Menurut Khozirah & Khoo (1991), produk ekonominya yang utama ialah minyak sawit dan isirong sawit. Ia merupakan sumber pendapatan yang penting dalam pertukaran mata wang asing bagi kebanyakan negara membangun, terutamanya Asia Tenggara. Malaysia dan Indonesia merupakan

pengeluar utama kelapa sawit. Pada mulanya, hasil kelapa sawit digunakan dalam pembuatan minyak masak dan sabun tetapi pada masa kini kegunaannya telah diperluaskan. Bukan sahaja buah kelapa sawit, malah sisa buangan kelapa sawit turut dimanfaatkan dan pelbagai produk dapat dihasilkan daripada sisa buangan kelapa sawit, contohnya perabot daripada MDF, kertas dan sebagainya (Kobayashi et al., 1985; Husin et al., 1985; Muthurajah, 1981 & Gabriele, 1995).

### **2.1.1 Industri Kelapa Sawit**

Buruh perdagangan awal telah membawa kelapa sawit ke Amerika Selatan tetapi industri kelapa sawit mendapat perhatian yang serius di Asia Tenggara berikutan peluasan kawasan penanaman kelapa sawit yang besar di Sumatera dan Malaysia pada awal tahun 1990-an. Menurut Khozirah dan Khoo, (1991), industri ini mempunyai banyak kepentingan dan penanamannya semakin meningkat selepas Perang Dunia Kedua berikutan peningkatan permintaan serta kestabilan harga lemak dan minyak dunia.

Pada masa ini, kelapa sawit turut ditanam sebagai tanaman komersil di Afrika, Kepulauan Pasifik dan Amerika Selatan. Malaysia merupakan pengeluar dan pengeksport minyak sawit yang terbesar di dunia, menyumbang 51% daripada pengeluaran minyak sawit dunia dan 62% daripada eksport dunia (MPOPC, 2004).

Pertama kali kelapa sawit diperkenalkan di Malaysia ialah pada tahun 1870 melalui Taman Botani di Singapura. Pada awalnya, kelapa sawit diminati kerana strukturnya yang menarik dan bersifat hiasan tetapi pada awal tahun 1900, minat kepada kelapa sawit semakin meningkat sebagai penggunaan komersil. Ini dibuktikan dengan penubuhan dua ladang, Tenamarin dan Estet Elmina di Kuala

Selangor (Khozirah & Khoo, 1991). Pembangunan industri kelapa sawit pada mulanya agak lambat, kerana penekanan yang lebih diberikan kepada penanaman getah sebagai hasil eksport utama.

Situasi ini telah berubah pada awal tahun 1960-an, berikutan pengeluaran getah sintetik yang telah mengakibatkan kejatuhan harga getah (Moll, 1987). Oleh itu, kerajaan Malaysia telah memulakan suatu usaha secara besar-besaran ke atas program pembangunan pertanian, dalam usaha mengurangkan pergantungan kepada getah sebagai pendapatan eksport. Akibatnya, tanah-tanah baru telah dibuka untuk penanaman kelapa sawit dan sebahagian estet-estet getah ditanam semula dengan kelapa sawit.

Semua ini telah menyebabkan pembesaran kawasan kelapa sawit dengan cepat dalam jangka masa yang pendek. Kawasan penanaman telah melebihi 2 juta hektar dalam tahun 1990 dan sekarang telah mencapai 3.8 juta hektar, dan mampu membekalkan lebih daripada 18.6 juta tan kelapa sawit mentah (Jadual 2.1).

Jadual 2.1 : Kawasan penanaman kelapa sawit di Malaysia (Hektar, 1975-2004).

Sumber – Jabatan Statistik, Malaysia (1975-1984) dan MPOB (1975-2004)

Tahun	Semenanjung Malaysia	Sabah	Sarawak	Jumlah
1975	568,561	59,139	14,091	641,791
1976	629,558	69,708	15,334	714,600
1977	691,706	73,303	16,805	781,814
1978	755,525	78,212	19,242	852,979
1979	830,536	86,683	21,644	938,863
1980	906,590	93,967	22,749	1,023,306
1981	983,148	100,611	24,104	1,107,863
1982	1,048,015	110,717	24,065	1,182,797
1983	1,099,694	128,248	25,098	1,253,040
1984	1,143,522	160,507	26,237	1,330,266
1985	1,292,399	161,500	28,500	1,482,399
1986	1,410,923	162,645	25,743	1,599,311
1987	1,460,502	182,612	29,761	1,672,875
1988	1,556,540	213,124	36,259	1,805,923
1989	1,644,309	252,954	49,296	1,946,559
1990	1,698,498	276,171	54,795	2,029,464
1991	1,744,615	289,054	60,359	2,094,028
1992	1,755,633	344,885	77,142	2,197,660
1993	1,831,776	387,122	87,027	2,305,925
1994	1,857,626	452,485	101,888	2,411,999
1995	1,903,171	518,133	118,783	2,540,087
1996	1,926,378	626,008	139,900	2,692,286
1997	1,959,377	758,587	175,125	2,893,089
1998	1,987,190	842,492	248,430	3,078,116
1999	2,051,595	941,322	320,476	3,313,393
2000	2,045,500	1,000,777	330,387	3,376,664
2001	2,096,856	1,027,328	374,828	3,499,012
2002	2,187,010	1,068,973	414,260	3,670,243
2003	2,202,166	1,135,100	464,774	3,802,040
2004	2,201,606	1,165,412	508,309	3,875,327

### 2.1.2 Lignoselulosik Kelapa Sawit

Pada masa kini, Malaysia merupakan negara pengeluar minyak sawit yang terbesar dan merangkumi 51% daripada pengeluaran minyak sawit dunia (MPOPC, 2004). Selain kelapa sawit, industri ini juga menghasilkan sisa-sisa lignoselulosik dalam jumlah yang besar seperti batang dan pelepah semasa

penanaman semula dan memetik hasil, serta tandan buah kosong dan gentian mesokap semasa proses pemerahan minyak. Sisa-sisa ini digunakan sebagai bahan makanan ternakan, dibakar sebagai bahan api atau dibakar begitu sahaja di kawasan ladang. Semua ini menghadkan nilai dan potensi yang boleh diketengahkan daripada sisa-sisa tersebut (Wan Rosli *et al.*, 2003).

Di kilang kelapa sawit, sisa-sisa buangan industri terdiri daripada tempurung (*shell*), tandan buah kosong (*empty fruit bunches*), gentian buah termampat (*pressed fruit fibers*) dan pengaliran keluar kumbahan kilang kelapa sawit (*palm oil mill effluent, POME*). Sisa-sisa tersebut boleh dan telah disalurkan kepada pelbagai kegunaan agronomik dan kilang, seperti yang dihasilkan secara berterusan dalam ladang dan hasil ini digunakan sebagai sungkupan antara barisan (Jadual 2.2).

Semakin banyak bilangan bahan buangan dalam bentuk batang kelapa sawit, dan pelepah yang dihasilkan di ladang kelapa sawit semasa aktiviti penanaman semula. Pada masa ini, tiada kegunaan ekonomi bagi batang kelapa sawit dan pelupusannya akan memberikan beban kewangan yang besar kepada pemilik ladang. Peningkatan program penanaman semula dijangka berlaku pada masa akan datang sudah pasti akan membawa masalah yang lebih besar berkenaan dengan pelupusan batang kelapa sawit yang dihasilkan dalam kuantiti yang banyak.

Jadual 2.2 : Antara kegunaan sisa-sisa industri dan ladang kelapa sawit pada masa ini (Khozirah dan Khoo, 1991).

Hasil sampingan	Kegunaan
Tempurung dan isirong sawit	Bahan bakar yang murah. Beg-beg sungkupan. Lantai nurseri batang kayu yang dipotong di permukaan air dan lapik jalan laterit estet yang mengalami hakisan.
Tandan buah kosong	Dibakar hangus dalam potash-kaya abu sebagai baja kalium. Sungkupan kelapa sawit. Dipotong kecil-kecil dan dihidratkan sehingga kandungan lembapan 50% dan digunakan sebagai bahan bakar.
Gentian buah termampat	Bahan bakar. Nurseri sungkupan.
Pengaliran keluar kumbahan kelapa sawit	Dikeringkan dan dicampurkan dengan bahan tambahan lain sebagai makanan haiwan. Biogas daripada penghadaman anaerobik bagi penjanaan haba dan elektrik.
Pelepah	Sebagai sungkupan antara barisan untuk pengitaran semula nutrien, memelihara kelembapan tanah serta mengawal dan mengurangkan hakisan permukaan tanah.

## 2.2 Kimia Gentian Bahan Lignoselulosik

Dalam kebanyakan kes, analisis kimia dimulakan dengan pengekstrakan sampel. Semasa pengekstrakan, kandungan ekstraktif dan bahan tak larut ditentukan. Pengekstrakan boleh dijalankan dengan menggunakan pelarut organik

contohnya diklorometana, kloroform, atau metal tertier butil eter (MTBE). Kebanyakan bahan resin yang wujud dalam kayu boleh melarut dalam pelarut ini.

Jika sampel merupakan bahan yang berberat molekul tinggi, maka pelarut yang lebih kuat boleh digunakan sebagai tetrahidrofur (THF). Walaubagaimanapun, pelarut ini sukar didapatkan dalam bentuk yang tulen; ia juga perlu dikendalikan berhati-hati kerana ketoksikannya. Untuk meneruskan pemelarutan, sesuatu sampel yang dikehendaki, ia bolehlah dirawat di dalam kebuk ultrasonik.

Bahan-bahan terlarut boleh dianalisis menggunakan pelbagai kaedah yang berbeza. Untuk mendapatkan gambaran komposisi yang lebih terperinci, sampel perlu dipecahkan. Pemecahan sampel mengikut berat molekul boleh dijalankan dengan kromatografi penyingkiran saiz. Mengikut prosedur pemecahan, sampel dibahagikan kepada monomer, oligomer, dan polimer. Sebelum proses pemecahan, sampel perlu diterbitkan, contohnya, bergantung kepada pemetilan menggunakan diazometana dalam campuran dietil eter dan metana (Neimo, 1999).

Bagi mendapatkan maklumat terperinci tentang sesuatu bahan, kaedah gas kromatografi (GC) boleh digunakan. Satu kelebihan GC ialah ia boleh diubahsuai dengan mudah untuk analisis kuantitatif. Sebelum proses analisis, sampel perlu melalui beberapa perkara bagi membolehkan ia dianalisis. Selalunya sampel perlu diterbitkan, contohnya bagi menukarkan komponen-komponennya kepada pengubahsuaian meruap yang memadai (Neimo, 1999).

Selain daripada ekstraktif, umumnya, bahan lignoselulosik adalah terdiri daripada

- (i) Selulosa
- (ii) Hemiselulosa
- (iii) Lignin

### **2.2.1 Selulosa**

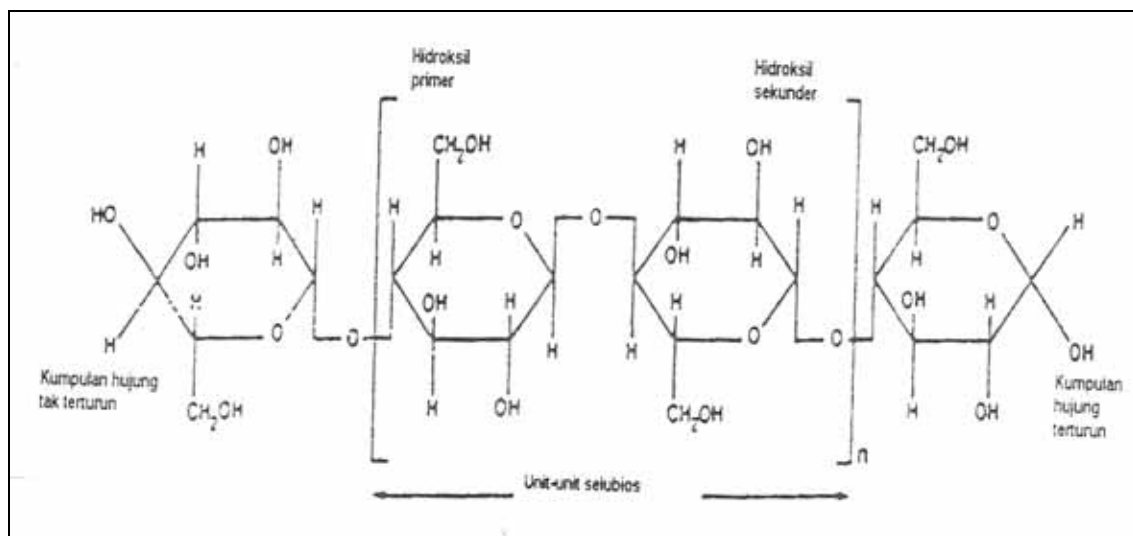
Menurut Smook (1992), selulosa merupakan bahan yang menentukan sifat-sifat gentian dalam tumbuhan dan membolehkan penggunaannya dalam pembuatan kertas. Selulosa adalah satu karbohidrat yang terdiri daripada elemen-elemen karbon, hidrogen dan oksigen. Seperti yang diketahui, elemen hidrogen dan oksigen adalah sama seperti kandungan dalam air. Selulosa juga merupakan polisakarida yang mengandungi banyak unit glukosa.

Formula kimia bagi selulosa ialah  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , di mana n merupakan nombor bagi unit pengulangan glukosa atau darjah pempolimeran (DP). Nilai n adalah berbeza berdasarkan sumber selulosa dan perbezaan rawatan yang diterima seperti dalam Jadual 2.3. Kebanyakan gentian pembuatan kertas mempunyai nilai purata berpemberat DP dalam julat 600-1500.

Jadual 2.3 : Nilai purata berpemberat darjah pempolimeran (Smook, 1992)

Sumber-sumber selulosa	Darjah pempolimeran (DP)
Selulosa semulajadi	3500
Serabut kapas tertulen	1000-3000
Pulpa kayu komersil	600-1500
Selulosa terjana semula (seperti rayon)	200-600

Struktur selulosa ditunjukkan dalam Rajah 2.1. Unit pengulangan sebenarnya ialah dua unit glukosa anhidrida secara berturut-turut, dikenali sebagai unit selubiosa. Selulosa tulen boleh dihidrolisis dengan mudah kepada glukosa ( $C_6H_{10}O_5$ ) di bawah keadaan berasid yang terkawal.



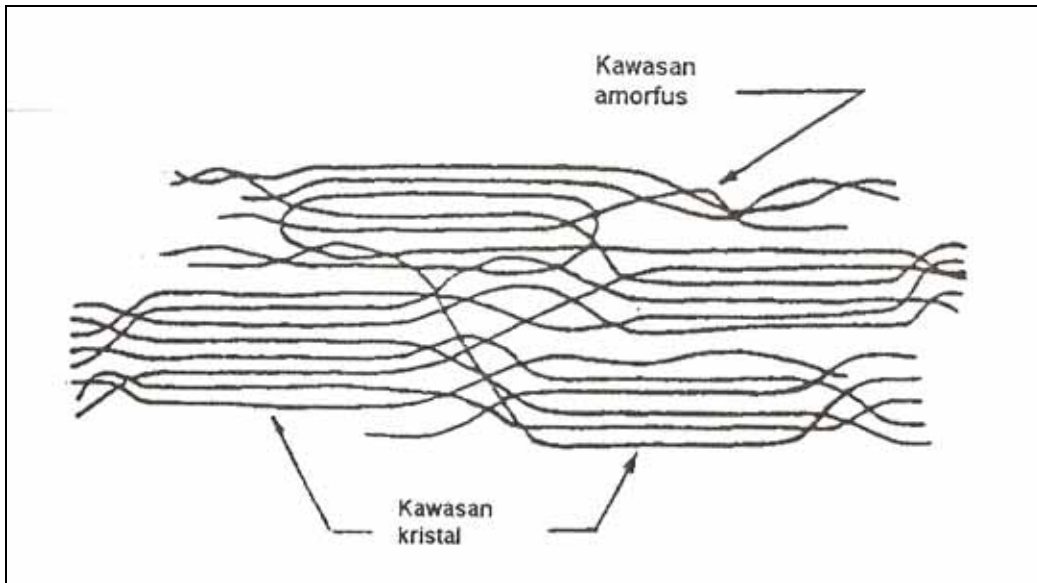
Rajah 2.1 : Struktur rantai selulosa (Smook, 1992).

Browning (1967) melaporkan selulosa merupakan komponen asas dalam dinding sel kayu. Kandungan selulosa dalam gentian adalah penting sebagai kriteria utama pemilihan sumber pembuatan kertas dan pulpa terlarut.

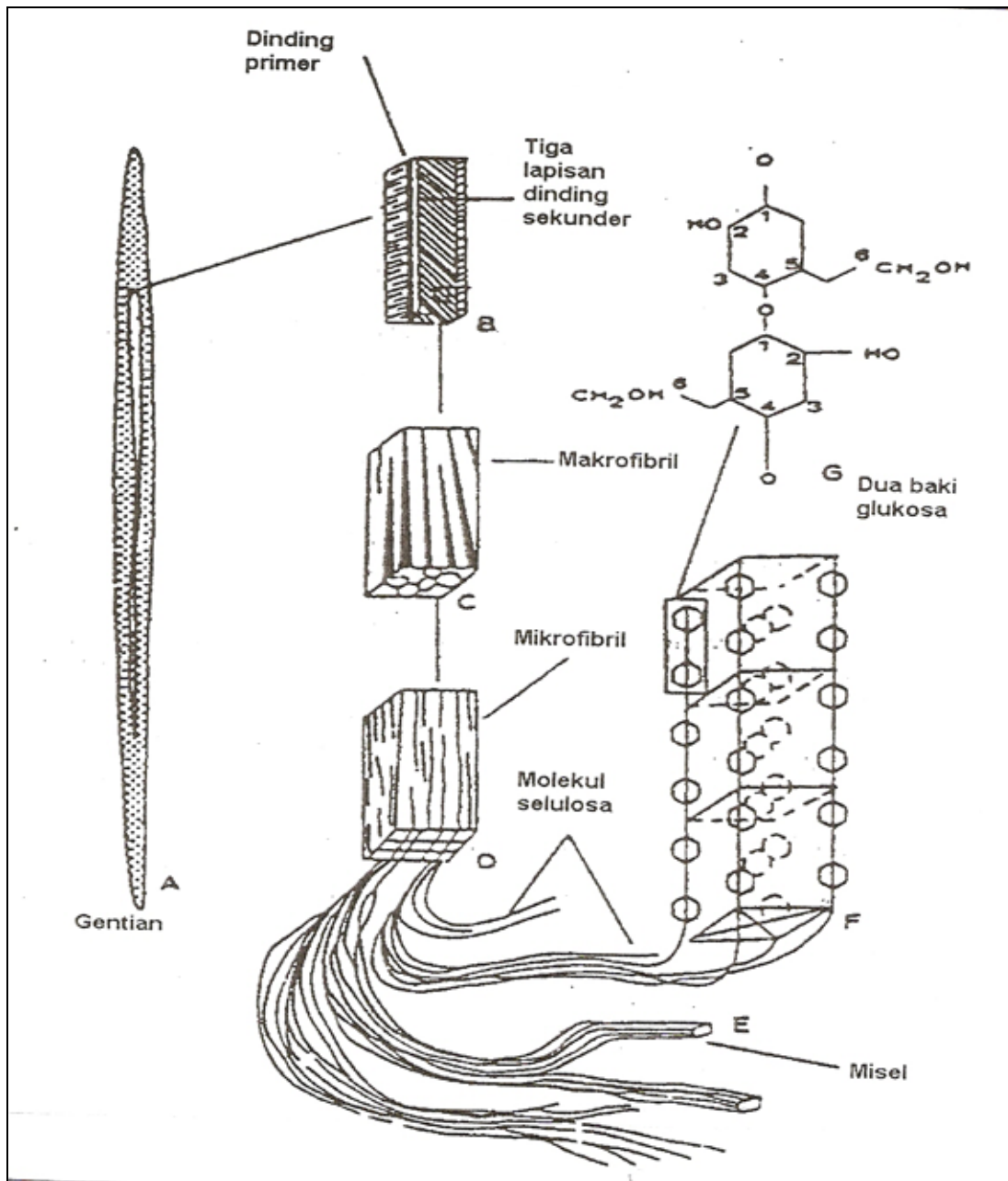
Hemiselulosa boleh diasingkan secara analitikal daripada ekstraktif berasaskan ketakterlarutannya dalam air dan pelarut organik. Kemudian selulosa diasingkan daripada hemiselulosa melalui ketakterlarutannya dalam larutan akues alkali dan daripada lignin melalui ketahanan relatifnya terhadap agen pengoksidaan.

Selulosa dengan ketulenannya yang tinggi boleh diperolehi dengan mudah daripada rerambut kapas. Apabila kapas mentah dirawat dengan alkali cair, diikuti dengan pembasuhan dan sedikit pelunturan, hampir kesemuanya terdiri daripada selulosa tulen.

Pembentukan rantai-rantai selulosa yang linear membolehkannya berada lebih rapat antara satu sama lain disebabkan ikatan hidrogen. Rajah 2.2 menunjukkan penyusunan rantai molekul-molekul selulosa membentuk bahagian kristal yang sukar ditembusi oleh pelarut atau bahan uji. Sebaliknya, bahagian yang secara relatifnya lebih bersifat amorfus adalah lebih senang ditembusi dan mudah dipengaruhi oleh tindak balas hidrolisis (Smook, 1992). Pembentukan struktur dinding gentian dengan penyusunan rantai-rantai selulosa diilustrasikan dalam Rajah 2.3



Rajah 2.2 : Skematik pembentukan kawasan kristal dan amorfus rantai  
(Smook, 1992).



Rajah 2.3 : Struktur gentian kayu (Smook, 1992).

Sifat-sifat bahan selulosik adalah berkaitan dengan DP juzuk molekul selulosa. Penurunan berat molekul di bawah tahap tertentu akan menyebabkan pengurangan nilai dalam kekuatannya.

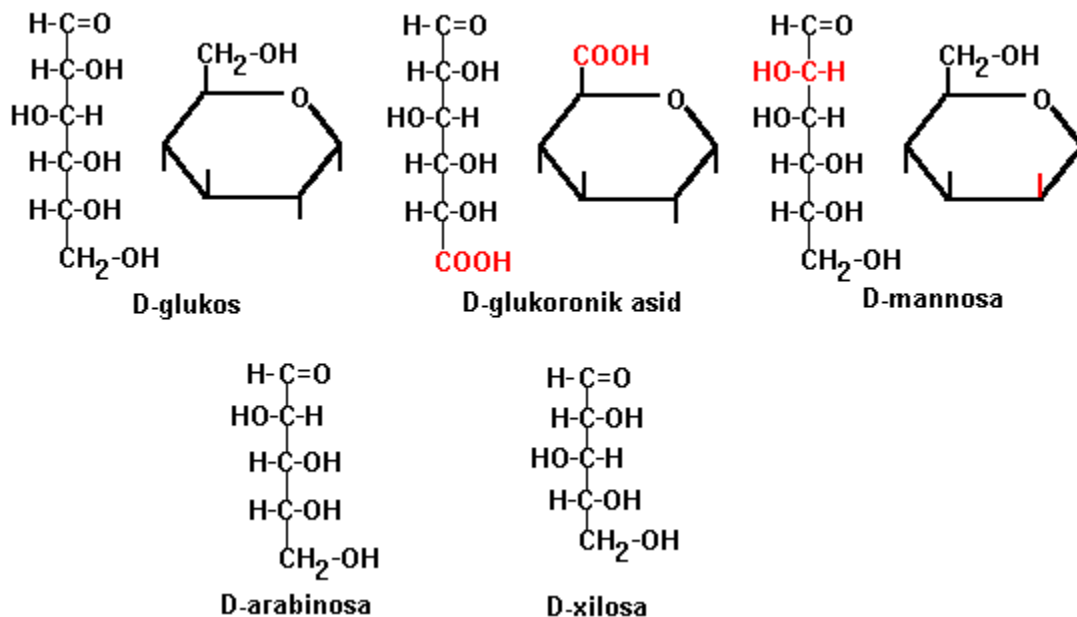
## 2.2.2 Hemiselulosa

Merujuk kepada Smook (1992), hemiselulosa adalah polimer yang mempunyai lima komponen gula yang berlainan (berbanding dengan selulosa yang merupakan polimer yang hanya terdiri daripada unit glukosa):

Heksosa : glukosa, mannose, galaktosa

Pentosa : xilosa, arabinosa

Sebahagian monomer-monomer hemiselulosa ditunjukkan dalam Rajah 2.4.



Rajah 2.4: Monomer-monomer hemiselulosa

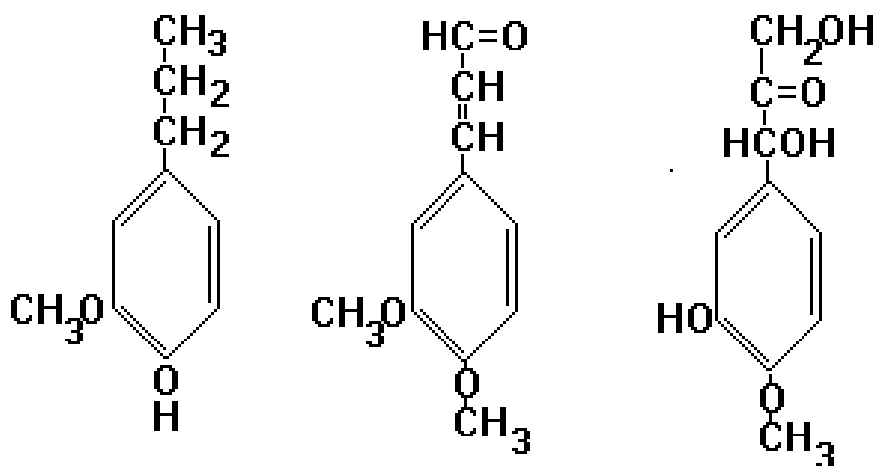
Kebiasaannya, semua jenis pentosa adalah wujud. Malahan terdapat juga sedikit jumlah gula-L. Jika diperhatikan, juga terdapat hexosa dan juga asid yang terbentuk akibat pengoksidaan gula. Mannosa dan asid mannuronik juga cenderung untuk wujud, dan juga terdapat galaktosa dan asid galakturonik.

Kumpulan yang berbeza daripada glukosa ditunjukkan dalam warna kelabu dalam struktur enam-karbon. Pentosa juga wujud dalam gelang (tidak ditunjukkan) yang mempunyai 5-ahli atau 6-ahli. Xilosa adalah gula yang wujud dalam kuantiti yang banyak sekali.

Bergantung kepada spesies tumbuhan, unit-unit gula ini bersama dengan asid-asid uronik membentuk pelbagai struktur rantai polimer yang bercabang. Semasa rawatan kimia terhadap kayu untuk menghasilkan pulpa, hemiselulosa lebih mudah terdegradasi dan larut berbanding selulosa, maka peratusnya selalu lebih rendah dalam pulpa berbanding dalam kayu asli. Jika dibandingkan dengan selulosa yang berhablur, kuat, dan rintangan terhadap hidrolisis, hemiselulosa mempunyai struktur yang rawak, amorfus dengan kekuatan yang rendah. Hemiselulosa mudah dihidrolisis dengan asid atau bes cair, tetapi alam semulajadi menyediakan perlindungan terhadap hidrolisis oleh enzim hemiselulase. Enzim-enzim ini adalah penting secara komersil kerana mereka membuka struktur kayu untuk for pelunturan yang lebih mudah, dan kaedah pelunturan lama menggunakan bahan kimia seperti klorin dalam kuantiti yang besar yang tidak baik untuk persekitaran.

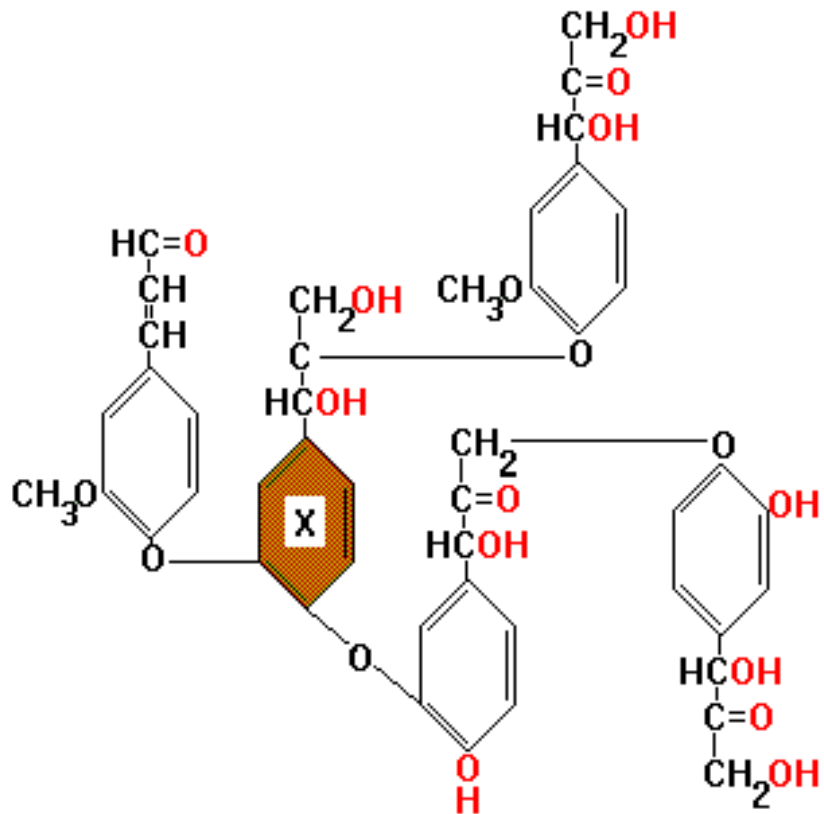
### 2.2.3 Lignin

Lignin terbentuk oleh pengeluaran air daripada gula untuk menghasilkan struktur aromatik. Tindakbalas ini adalah tidak terbalikkan. Terdapat banyak monomer yang mungkin untuk lignin, dan jenis lignin dan perkadarannya bergantung kepada sumber semulajadi. Monomer-monomer yang biasa ditunjukkan dalam Rajah 2.5:



Rajah 2.5: Monomer-monomer lignin

Kumpulan OH (sama ada OH beralkohol pada rantai atau OH fenolik pada gelang aromatik) boleh bertindak balas sesama sendiri atau dengan kumpulan aldehyd atau keton. Apabila OH bertindakbalas sesama sendiri, sambungan eter akan terbentuk. Kumpulan OH bertindakbalas dengan aldehyd untuk membentuk hemiasetal. Tindakbalas kumpulan OH dengan keton untuk membentuk ketal. Peringkat awal dalam kondensasi pelbagai monomer untuk membentuk lignin ditunjukkan dalam Rajah 2.6 :



Rajah 2.6: Pembentukan lignin

Terdapat beberapa kumpulan (ditandakan kelabu) yang boleh bertindakbalas selanjutnya. Seseengahnya cuma memanjangkan polimer manakala yang lain akan menghasilkan sambung-silang. Monomer ditandakan X mempunyai tiga kumpulan berfungsinya yang dihubungkan dengan monomer lain, jadi ia memulakan cabang atau sambung-silang. Molekul lignin yang besar mengisi tiga dimensi dan mempunyai sambung-silang yang padat. Kadangkala lignin diasingkan sebagai serbuk berwarna coklat, tetapi selalunya ia adalah lekitan yang terdiri daripada campuran lignin yang mempunyai pelbagai berberat molekul.

Lignin mempunyai rintangan terhadap kebanyakan mikroorganisma, dan proses anaerobik tidak langsung menyerang kumpulan aromatik. Pemecahan lignin secara aerobik adalah perlahan dan memakan masa banyak hari. Lignin bersama-sama selulosa adalah simen semulajadi yang boleh mengeksploitasi kekuatan selulosa tetapi pada masa yang sama menyediakan kelenturan.

### **2.3 Pemulpaan**

Pemulpaan didefinisikan sebagai proses untuk membebaskan gentian secara kimia atau mekanik atau gabungan kedua-duanya kepada bentuk gentian serabut/gentian individu (Sjostrom 1998). Secara umumnya, ia bermaksud memusnahkan ikatan-ikatan secara sistematik yang mengikat struktur kayu dan juga bukan kayu. Proses ini boleh dijalankan samada secara mekanikal, termal, kimia atau kombinasi rawatan tersebut. Berikut disenaraikan beberapa jenis pulpa dan kegunaannya oleh Sjostrom:

Jadual 2.4: Jenis-jenis pulpa dan kegunaannya (Sjostrom 1998)

Jenis Pulpa	Hasil (% daripada kayu)
<b>A. Kimia</b>	
Sulfit asid, Bisulfit, Sulfit multistap,	35-65
Sulfit alkali antrakuinon, Kraft, Kraft	
polisulfida, Kraft prahidrolisis, soda.	35-65
<b>B. Semikimia</b>	
Semikimia sulfat neutral (PSKSN),	
Likour hijau, Soda.	70-85
<b>C. Kemimekanik</b>	
Kemimekanik (PKTM), Kemikayu	
kisar (PKKK)	
<b>D. Mekanik</b>	85-95
Kayu kisar batu (PKKB), Kayu kisar	
tekanan (PKKT), Penghalus	
mekanik (PPM), Termomekanik	
(PTM).	93-97

Kegunaan utama : Jenis A : Pelbagai kertas, papan, pelapik, terbitan selulosa.

Jenis B : Papan, pelapik, medium pengombakan.

Jenis C : Tisu, bulu dan sebagainya.

Jenis D : Kertas suratkhobar, kertas superkalendar.

Proses pemulpaan asalnya digunakan untuk menghasilkan pulpa daripada bahan sumber kayu. Pulpa ini kemudian menjadi bahan asas dalam pembuatan kertas dan tisu. Kemajuan teknologi dan pendidikan serta kesedaran terhadap alam sekitar, membuatkan pulpa daripada bahan bukan kayu turut menjadi pilihan khususnya dalam industri kecil (Hart *et al.*, 1993). Kepentingan menggunakan bahan bukan kayu sebagai pulpa lazimnya menjadi fokus utama negara-negara sedang membangun (Mohd Zaim, 2006). Contoh bahan bukan kayu termasuklah tandan kosong buah sawit, hemp, sisal, jerami padi, hampas tebu, jut, kenaf, kapok, dan sebagainya.

Walau bagaimanapun, bahan bukan kayu sebagai bahan mentah dalam pemulpaan mempunyai beberapa masalah seperti mempunyai kandungan lembapan yang tinggi, ketumpatan saiz yang rendah dan hasil pulpa yang rendah (Hart *et al.*, 1993). Selain itu, kandungan silika yang tinggi dalam bahan bukan kayu akan menyebabkan bahan ini terlarut ke dalam likur pemulpaan. Ini menyebabkan likur mempunyai kepekatan yang tinggi dan mengganggu proses pemulpaan (Lora & Escudero, 2000). Selain itu, silika yang terlarut juga akan menyebabkan pembentukan deposit yang terlekat kuat pada dinding dandang pemasakan (Hart *et al.*, 1993). Tandan kosong buah sawit, EFB yang digunakan dalam kajian ini juga mempunyai sejumlah silika yang boleh menyebabkan pelelasan logam dan menurunkan kualiti pulpa (Wan Rosli, Dewan Kosmik Mac 2005).

Terdapat pelbagai kaedah pemulpaan yang telah direka oleh saintis untuk menangani pelbagai masalah untuk menghasilkan pulpa yang berkualiti tinggi. Tiga jenis pemulpaan kimia yang biasa digunakan ialah teknik pemulpaan alkali /