

**KESAN PRA-RAWATAN BASUHAN KE ATAS  
CIRI SISA KELAPA SAWIT  
TERHASIL MELALUI PIROLISIS**

**oleh**

**AIZUDDIN BIN ABDUL RAHMAN**

**Tesis yang diserahkan untuk  
memenuhi keperluan bagi  
Ijazah Doktor Falsafah**

**Ogos 2019**

## PENGHARGAAN

Segala puji dan syukur ke hadirat Ilahi yang telah mengurniakan petunjuk dan hidayah serta kekuatan dan kesihatan di sepanjang tempoh pengajian ini bagi melengkapkan keseluruhan kajian penyelidikan dan penulisan tesis.

Setinggi-tinggi ucapan penghargaan dan terima kasih kepada Prof. Dr. Fauziah binti Sulaiman, sebagai penyelia utama pengajian, yang telah memberi idea, bimbingan dan panduan di dalam keseluruhan gerak kerja kajian penyelidikan, penulisan tesis dan penerbitan artikel. Adalah tidak dilupakan juga kepada Dr. Nurhayati binti Abdullah, staf-staf Pusat Pengajian Sains Fizik dan seluruh warga Universiti Sains Malaysia yang membantu secara langsung dan tak langsung dalam pelbagai gerak kerja penyelidikan dan urusan rasmi dan tak rasmi di sepanjang tempoh pengajian ini

Iringan doa dan restu daripada kedua ibu bapa, Kartini binti Zainudin dan Abdul Rahman bin Samad, serta dorongan dan didikan yang tidak pernah henti menjadi bekalan yang istimewa dan luhur dalam mengecapi kejayaan ini. Sekalung penghargaan tak terhingga turut diucapkan kepada isteri tersayang, Ainul Azizah binti Baharum, yang senantiasa memberi sokongan moral dan bantuan kala diperlukan di sepanjang tempoh pengajian ini. Perkongsian ilmu dan buah fikiran daripada para sahabat dan rakan-rakan seperjuangan juga didahulukan dengan ucapan ribuan terima kasih.

Terima kasih kepada semua, semoga Allah s.w.t sentiasa merahmati dan memberkati kalian.

## ISI KANDUNGAN

<b>PENGHARGAAN</b> .....	ii
<b>ISI KANDUNGAN</b> .....	iii
<b>SENARAI JADUAL</b> .....	ix
<b>SENARAI RAJAH</b> .....	x
<b>SENARAI SIMBOL</b> .....	xiii
<b>SENARAI SINGKATAN</b> .....	xiv
<b>ABSTRAK</b> .....	xvi
<b>ABSTRACT</b> .....	xviii

### **BAB SATU – PENGENALAN**

1.1	Senario Sumber Tenaga Negara .....	1
1.2	Potensi Biojisim sebagai Sumber Janaan Tenaga .....	3
1.3	Pra-Rawatan Air Pencucian Terhadap Biojisim .....	5
1.4	Pirolisis sebagai Pilihan Teknologi Penukaran Termokimia .....	8
1.5	Pembuatan Briket daripada Sumber Biojisim .....	11
1.6	Penyataan Masalah .....	14
1.7	Objektif Penyelidikan .....	15
1.8	Atur Susun Bab-Bab Tesis .....	16

### **BAB DUA – KAJIAN LITERATUR**

2.1	Sisa Kelapa Sawit sebagai Sumber Bahan Bakar .....	19
2.1.1	Sisa Kelapa Sawit .....	19
2.1.2	Biojisim Tumbuhan: Struktur & Komponen .....	21

2.2	Pra-Rawatan Air Pencucian Biojisim .....	26
2.2.1	Idea Utama Pra-Rawatan .....	27
2.2.2	Medium Pencucian Bersifat Neutral .....	28
2.2.3	Faktor Lazim Pra-Rawatan .....	30
2.2.4	Mekanisme Asas Pra-Rawatan .....	32
2.2.5	Impak Penggunaan Biojisim Terawat terhadap Proses Pirolisis .....	36
2.3	Proses Pirolisis terhadap Sisa Kelapa Sawit .....	39
2.3.1	Jenis-Jenis Proses Pirolisis .....	41
2.3.2	Prinsip dan Mekanisme Proses Pirolisis .....	46
2.4	Arang, Cecair Pirolisis dan Gas .....	47
2.4.1	Pola Peratus Jisim Produk Pirolisis .....	48
2.4.2	Kualiti Sifat Hasil Produk Pirolisis .....	50
2.5	Briket berasaskan Arang daripada Sumber Sisa Kelapa Sawit .....	52
2.5.1	Briket daripada Sisa Kelapa Sawit .....	53
2.5.2	Teknologi Proses Pembriketan .....	55
2.5.3	Parameter Pembriketan .....	56
2.5.4	Prinsip dan Mekanisme Pembriketan .....	60
2.5.5	Produk Pirolisis sebagai Bahan Campuran Asas Briket .....	63

## **BAB TIGA – METODOLOGI**

3.1	Sumber Sisa Kelapa Sawit .....	69
3.1.1	Pengumpulan dan Persediaan Stok Biojisim .....	69
3.1.2	Perincian Sifat Asas Biojisim .....	71
3.1.2(a)	Analisis Hampir .....	72
3.1.2(b)	Analisis Muktamad .....	75

3.1.2(c)	Nilai Haba Tinggi (HHV)	75
3.1.2(d)	Analisis Termagravimetrik (TGA)	75
3.1.2(e)	Analisis Sinar-X Berpendaflor (X-RF)	79
3.1.2(f)	Mikroskop Pengimbas Elektron (SEM)	79
3.2	Pra-rawatan Air Pencucian Biojisim	80
3.2.1	Prosedur Asas Pra-rawatan	81
3.2.2	Siri Faktor Pra-rawatan	83
3.2.2(a)	Tempoh masa rendaman	83
3.2.2(b)	Suhu rendaman	83
3.2.2(c)	Jenis medium rendaman	84
3.2.3	Keberkesanan Siri Faktor Pra-rawatan	84
3.2.3(a)	Kandungan abu biojisim terawat	85
3.2.3(b)	HHV biojisim terawat	85
3.2.3(c)	Kehilangan jisim biojisim	86
3.2.3(d)	Kekonduksian elektrik larut lesapan	86
3.3	Proses pirolisis Biojisim	87
3.3.1	Persediaan Bahan Bakar Pirolisis	88
3.3.2	Radas dan Kelengkapan Eksperimen	88
3.3.2(a)	Reaktor Lapisan Tetap	89
3.3.2(b)	Sistem Pengumpulan Cecair	90
3.3.3	Parameter Proses Pirolisis	92
3.3.4	Penentuan Kuantiti Hasil dan Kualiti Sifat Produk Pirolisis	92
3.3.4(a)	Peratus Jisim Hasil Produk Pirolisis	92
3.3.4(b)	Perincian Kualiti Sifat Arang	94
3.3.4(c)	Perincian Kualiti Sifat Cecair Pirolisis	96

3.4	Pembuatan Briket Berasaskan Arang Sisa Kelapa Sawit .....	99
3.4.1	Penyediaan Bahan Asas Campuran Briket .....	99
3.4.2	Pembriketan Bahan Campuran Briket .....	100
3.4.3	Perincian Kualiti Sifat Briket .....	102
3.4.3(a)	Sifat Fizikal .....	102
3.4.3(b)	Sifat Termo-kimia .....	104
3.4.3(c)	Perbandingan Kualiti terhadap Struktur Briket Komersil ..	105

## **BAB EMPAT – KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN**

4.1	Sisa Kelapa Sawit .....	108
4.2	Keberkesanan Pra-Rawatan Air Pencucian .....	111
4.2.1	Pengaruh Faktor Tempoh Masa Rendaman .....	111
4.2.1(a)	TKS .....	111
4.2.1(b)	CIS .....	114
4.2.1(c)	PTS .....	116
4.2.1(d)	Perbincangan .....	118
4.2.2	Pengaruh Faktor Suhu Rendaman .....	120
4.2.2(a)	TKS .....	120
4.2.2(b)	CIS .....	123
4.2.2(c)	PTS .....	125
4.2.2(d)	Perbincangan .....	127
4.2.3	Pengaruh Faktor Jenis Medium Rendaman.....	130
4.2.3(a)	TKS .....	130
4.2.3(b)	CIS .....	133
4.2.3(c)	PTS .....	136

	4.2.3(d) Perbincangan .....	139
4.3	Perbandingan Perincian Kualiti Sifat Biojisim Terawat dan Tak Rawat ....	143
	4.3.1 Sifat Asas Biojisim .....	144
	4.3.2 Analisis Termagravimetrik (TGA) .....	149
	4.3.2(a) Profil TG dan DTG .....	149
	4.3.2(b) Parameter Kinetik .....	157
	4.3.3 Mikroskop Pengimbas Elektron (SEM) .....	160
4.4	Profil Suhu Pirolisis Biojisim Terawat dan Tak Rawat .....	165
	4.4.1 Pola Hasil Produk Pirolisis .....	165
	4.4.1(a) Arang .....	165
	4.4.1(b) Cecair Pirolisis .....	167
	4.4.1(c) Gas .....	169
	4.4.2 Kualiti Sifat Produk Pirolisis.....	174
	4.4.2(a) Arang .....	174
	4.4.2(b) Kereaktifan Arang .....	182
	4.4.2(c) Cecair Pirolisis .....	185
4.5	Aplikasi Briket berasaskan Arang daripada Sumber Sisa Kelapa Sawit .....	193
	4.5.1 Kualiti Sifat Briket Berasaskan Arang Terawat dan Tak Rawat .....	194
	4.5.1(a) TKS .....	194
	4.5.1(b) CIS .....	199
	4.5.1(c) PTS .....	204
	4.5.1(d) Perbincangan .....	209
	4.5.2 Perbandingan Kualiti terhadap Struktur Briket Komersil .....	215

**BAB LIMA – KESIMPULAN & CADANGAN**

5.1 Kesimpulan ..... 218

5.2 Kekangan dan Cadangan Masa Hadapan ..... 220

**RUJUKAN** ..... 224

**LAMPIRAN**

**SENARAI PENERBITAN**



## SENARAI JADUAL

		<b>Halaman</b>
Jadual 1.1	Jumlah penghasilan biojisim di Malaysia pada tahun 2007	4
Jadual 2.1	Jenis-jenis proses pirolisis	42
Jadual 4.1	Kualiti sifat asas TKS, CIS dan PTS	108
Jadual 4.2	Perincian struktur TKS, CIS dan PTS terawat dan tak rawat	143
Jadual 4.3	Perbandingan kualiti sifat TKS, CIS dan PTS terawat dan tak rawat	144
Jadual 4.4	Parameter kinetik penguraian terma bagi (a) TKS, (b) CIS dan (c) PTS	159
Jadual 4.5	Kualiti sifat produk arang (a) TKS, (b) CIS dan (c) PTS terawat dan tak rawat di bawah pengaruh profil suhu pirolisis	179
Jadual 4.6	Kualiti sifat produk cecair pirolisis (a) TKS, (b) CIS dan (c) PTS terawat dan tak rawat di bawah pengaruh profil suhu pirolisis	190
Jadual 4.7	Perincian sifat ubi kayu dan kanji ubi kayu	194
Jadual 4.8	Perincian kualiti sifat briket TKS berasaskan arang terawat dan tak rawat	197
Jadual 4.9	Perincian kualiti sifat briket CIS berasaskan arang terawat dan tak rawat	202
Jadual 4.10	Perincian kualiti sifat briket PTS berasaskan arang terawat dan tak rawat	207

## SENARAI RAJAH

		<b>Halaman</b>
Rajah 1.1	Carta alir proses pra-rawatan air pencucian biojisim	7
Rajah 1.2	Inisiatif penukaran biojisim sebagai sumber tenaga yang diperbaharui	9
Rajah 1.3	Carta alir proses pembriketan biojisim	12
Rajah 2.1	Keluasan penanaman kelapa sawit di Malaysia dari tahun 2011 hingga tahun 2015	20
Rajah 2.2	Komponen utama binaan struktur biojisim tumbuhan	23
Rajah 2.3	Struktur molekul selulosa	24
Rajah 2.4	Struktur molekul hemiselulosa	24
Rajah 2.5	Struktur molekul lignin	25
Rajah 2.6	Mekanisme fizikal dan kimia terhadap penyingkiran abu-bendasing biojisim	33
Rajah 2.7	Mekanisme ubah bentuk zarah-zarah jirim pepejal di bawah pengaruh tekanan mampatan	63
Rajah 3.1	Carta alir metodologi	68
Rajah 3.2	Struktur fizikal (a) TKS, (b) CIS dan (c) PTS	70
Rajah 3.3	Carta alir keseluruhan proses pra-rawatan air pencucian biojisim	82
Rajah 3.4	Binaan skema sistem pirolisis. 1. Pemirolisis; 2. Reaktor; 3. Pemeluwap Graham; 4. Pemendak elektrostatik; 5. Balang Kapas Penapis; T. Termogandingan Jenis-K	89
Rajah 3.5	Binaan struktur (a) ombok pemampat dan acuan pembriket, dan (b) kebuk pembriket berskala makmal	101
Rajah 3.6	Dimensi pengukuran briket	102
Rajah 4.1	(a) Peratus jisim kandungan abu dan nilai HHV biojisim, dan (b) peratus kehilangan jisim biojisim dan kenaikan kekonduksian elektrik	113

	larut lesapan, bagi pra-rawatan terhadap TKS di bawah pengaruh faktor tempoh masa rendaman pada keadaan suhu bilik	
Rajah 4.2	(a) Peratus jisim kandungan abu dan nilai HHV biojisim, dan (b) peratus kehilangan jisim biojisim dan kenaikan kekonduksian elektrik larut lesapan, bagi pra-rawatan terhadap CIS di bawah pengaruh faktor tempoh masa rendaman pada keadaan suhu bilik	115
Rajah 4.3	(a) Peratus jisim kandungan abu dan nilai HHV biojisim, dan (b) peratus kehilangan jisim biojisim dan kenaikan kekonduksian elektrik larut lesapan, bagi pra-rawatan terhadap PTS di bawah pengaruh faktor tempoh masa rendaman pada keadaan suhu bilik	117
Rajah 4.4	(a) Peratus jisim kandungan abu dan nilai HHV biojisim, dan (b) peratus kehilangan jisim biojisim dan kenaikan kekonduksian elektrik larut lesapan, bagi pra-rawatan terhadap TKS di bawah pengaruh faktor suhu rendaman pada tempoh masa 40 minit rendaman	122
Rajah 4.5	(a) Peratus jisim kandungan abu dan nilai HHV biojisim, dan (b) peratus kehilangan jisim biojisim dan kenaikan kekonduksian elektrik larut lesapan, bagi pra-rawatan terhadap CIS di bawah pengaruh faktor suhu rendaman pada tempoh masa 20 minit rendaman	124
Rajah 4.6	(a) Peratus jisim kandungan abu dan nilai HHV biojisim, dan (b) peratus kehilangan jisim biojisim dan kenaikan kekonduksian elektrik larut lesapan, bagi pra-rawatan terhadap PTS di bawah pengaruh faktor suhu rendaman pada tempoh masa 30 minit rendaman	126
Rajah 4.7	(a) Peratus jisim kandungan abu, (b) nilai HHV biojisim (c) peratus kehilangan jisim biojisim dan (d) kenaikan kekonduksian elektrik larut lesapan, bagi pra-rawatan terhadap TKS di bawah pengaruh faktor jenis medium rendaman pada keadaan suhu bilik dan tempoh masa 40 minit rendaman	132
Rajah 4.8	(a) Peratus jisim kandungan abu, (b) nilai HHV biojisim (c) peratus kehilangan jisim biojisim dan (d) kenaikan kekonduksian elektrik larut lesapan, bagi pra-rawatan terhadap CIS di bawah	135

pengaruh faktor jenis medium rendaman pada keadaan suhu bilik dan tempoh masa 20 minit rendaman

Rajah 4.9	(a) Peratus jisim kandungan abu, (b) nilai HHV biojisim (c) peratus kehilangan jisim biojisim dan (d) kenaikan kekonduksian elektrik larut lesapan, bagi pra-rawatan terhadap PTS di bawah pengaruh faktor jenis medium rendaman pada keadaan suhu 50°C dan tempoh masa 30 minit rendaman	138
Rajah 4.10	Perbandingan profil TG dan DTG (a) TKS, (b) CIS dan (c) PTS terawat dan tak rawat	155
Rajah 4.11	Morfologi permukaan (a) TKS tak rawat, (b) TKS terawat dan (c) TKSASETIK	162
Rajah 4.12	Morfologi permukaan (a) CIS tak rawat, (b) CIS terawat dan (c) CISASETIK	163
Rajah 4.13	Morfologi permukaan (a) PTS tak rawat, (b) PTS terawat dan (c) PTSASETIK	164
Rajah 4.14	Pola hasil produk pirolisis (a) TKS, (b) CIS dan (c) PTS terawat dan tak rawat	173
Rajah 4.15	Profil kereaktifan arang bagi (a) TKS, (b) CIS dan (c) PTS	185

## SENARAI SIMBOL

$A$	Tenaga pengaktifan
$n$	Tertib tindak balas
$w_c$ ,	Jisim mangkuk pijar
$w_f$	Jisim biojisim kering akhir
$w_i$	Jisim biojisim kering awal
$wt\%$	Peratus jisim

## SENARAI SINGKATAN

Al	Aluminium
ASTM	American Society for Testing and Materials
C	Karbon
Ca	Kalsium
CH <sub>4</sub>	Metana
CIS	Cangkerang isirong sawit
CO	Gas karbon monoksida
CO <sub>2</sub>	Karbon dioksida
DTG	Deduksi termagravimetrik
TKS	Tandan kosong sawit
EU	Kesatuan Eropah
Fe	Besi
H	Hidrogen
H <sub>2</sub>	Gas hidrogen
HHV	Nilai haba tinggi
IEA	Agensi Tenaga Antarabangsa
K	Kalium
KeTTHA	Kementerian Tenaga, Teknologi Hijau dan Air
Mg	Magnasium
N	Nitrogen
Na	Natrium
NaOH	Natrium hidroksida
O	Oksigen

OPT	Batang kelapa sawit
P	Fosforus
PFF	Serabut kelapa sawit
PMF	Serat sabut sawit
S	Sulfur
SEM	Mikroskop pengimbas elektron
Si	Silikon
TG	Termagravimetrik
TGA	Analisis termogravimetrik
PTS	Pelepah tandan sawit
UOP	United Oil Palm
USA	Amerika Syarikat
USM	Universiti Sains Malaysia
X-RF	Analisis sinar-X berpendaflor

# **KESAN PRA-RAWATAN BASUHAN KE ATAS CIRI SISA KELAPA SAWIT TERHASIL MELALUI PIROLISIS**

## **ABSTRAK**

Lambakan sisa kelapa sawit seperti tandan kosong (TKS), cangkerang isirong (CIS) dan pelepah tandan (PTS) sawit amnya menjanjikan suatu keboleh sediaan sumber bahan bakar lestari. Kumpulan biojisim ini mempunyai peratusan kemeruwapan jirim dan nilai tenaga yang tinggi dengan julat masing-masing di antara 76 hingga 85 wt% dan 17 hingga 19 MJkg<sup>-1</sup>. Siri faktor pra-rawatan air pencucian dilaksanakan, dan masing-masing hadir berkeadaan terbaik pada, TKS; pra-rawatan medium rendaman air suling, rendaman berkeadaan suhu bilik (~30°C) dan tempoh masa rendaman 40 minit, CIS; pra-rawatan medium rendaman air suling, rendaman berkeadaan suhu bilik (~30°C) dan tempoh masa rendaman 20 minit, dan PTS; pra-rawatan medium rendaman air suling, suhu rendaman 50°C dan tempoh masa rendaman 30 minit. Pada keadaan pra-rawatan ini, peratusan kandungan abu TKS, CIS dan PTS merekodkan penurunan masing-masing daripada 4.07 kepada 2.74 wt%, 5.97 kepada 4.32 wt% dan 3.93 kepada 2.23 wt%. Aplikasi proses pirolisis mendapati hasil pepejal arang hadir tinggi hanya pada julat awal suhu pirolisis manakala, hasil cecair pirolisis didapati meningkat seiring dengan peningkatan suhu pirolisis. Perbandingan sifat biojisim terawat memperlihatkan produk arang dan cecair pirolisis kaya dengan komposisi karbon, dan juga memiliki kandungan nilai tenaga yang tinggi berbanding biojisim tak rawat. Sifat fizikal briket arang-cecair pirolisis menunjukkan peningkatan nilai ketumpatan, rintangan hentaman dan rintangan tekanan seiring penambahan peratus jisim cecair pirolisis di dalam nisbah campuran. Namun demikian, penambahan jumlah peratusan cecair pirolisis di dalam nisbah campuran telah hanya merekodkan penurunan nilai tenaga briket TKS, CIS dan PTS masing-masing daripada 28.62 kepada 27.07 MJ



kg<sup>-1</sup>, 29.58 kepada 28.18 MJ kg<sup>-1</sup> dan 27.13 kepada 23.37 MJ kg<sup>-1</sup>. Keputusan perbandingan menunjukkan briket terawat memiliki julat nilai ketumpatan dan tenaga briket yang lebih tinggi berbanding tak rawat dengan; TKS: 0.58 – 0.94 g cm<sup>-1</sup> dan 25.02 – 28.32 MJ kg<sup>-1</sup>, CIS: 0.65 – 1.16 g cm<sup>-1</sup> dan 29.18 – 31.32 MJ kg<sup>-1</sup>, dan PTS: 0.68 – 0.84 g cm<sup>-1</sup> dan 27.10 – 29.62 MJ kg<sup>-1</sup>.

# **EFFECT OF WASHING PRE-TREATMENT ON THE CHARACTERISTICS OF OIL PALM WASTES VIA PYROLYSIS**

## **ABSTRACT**

Abundance of oil palm wastes such as empty fruit bunches (TKS), palm kernel shell (CIS) and oil palm fronds (PTS) generally promising viable sustainable fuel sources. These groups of wastes are having great weight percentage of volatility and energy value by ranging between of 76 to 85 wt% and 17 to 19 MJkg<sup>-1</sup>, respectively. Factor series of water washing pre-treatment condition is best possessed at, TKS; distilled water washing medium, room temperature (~30°C) washing and 40 minutes soaking time, CIS; distilled water washing medium, room temperature (~30°C) washing and 20 minutes soaking time, and PTS; distilled water washing medium, 50°C washing temperature and 30 minutes soaking time. At this pre-treatment condition, percentage of TKS, CIS and PTS ash content was measured to significantly reduce from 4.07 to 2.74 wt%, 5.97 to 4.32 wt% and 3.93 to 2.23 wt%, respectively. Application of pyrolysis process has founded that solid char yield measured high at earlier range of pyrolysis temperature meanwhile, pyrolysis liquid was increased as increment of pyrolysis temperature. Comparison treated biomass properties showed that both solid char and pyrolysis liquid rich with carbon composition, and also having high energy content compare to untreated biomass. Physical properties of produced briquette showed that an increment of density values, impact resistance and compressive resistance as increases portion of pyrolysis liquid in mixture ratios. However, present greater percentage of pyrolysis liquid in mixture ratios has recorded a reduction in energy value of TKS, CIS and PTS briquettes from 28.62 to 27.07 MJ kg<sup>-1</sup>, 29.58 to 28.18 MJ kg<sup>-1</sup> and 27.13 to 23.37 MJ kg<sup>-1</sup>, respectively. Comparison results shows that treated briquettes contained better range of density and energy content compared to

untreated briquettes with; TKS: 0.58 – 0.94 g cm<sup>-1</sup> and 25.02 – 28.32 MJ kg<sup>-1</sup>, CIS: 0.65 – 1.16 g cm<sup>-1</sup> and 29.18 – 31.32 MJ kg<sup>-1</sup>, and PTS: 0.68 – 0.84 g cm<sup>-1</sup> and 27.10 – 29.62 MJ kg<sup>-1</sup>.

# **BAB SATU**

## **PENGENALAN**

### **1.1 Senario Sumber Tenaga Negara**

Penggunaan tenaga global amnya berkembang lebih pantas berbanding populasi penduduk dunia. Walau bagaimanapun, pembangunan sumber tenaga didapati tidak seiring dengan kadar penggunaannya sama ada bagi penggunaan domestik mahupun komersial. Secara umumnya, penggunaan tenaga utama dunia amat bergantung kepada sumber tenaga konvensional lazim seperti minyak mentah, gas asli dan arang batu. Berdasarkan anggaran pengiraan yang dilaporkan oleh Agensi Tenaga Antarabangsa (IEA), kebergantungan kepada sumber tenaga utama ini secara keseluruhannya adalah sebanyak 88.1%, iaitu dengan pecahan tenaga masing-masing sekitar 34.8% bagi minyak mentah, 29.2% bagi arang batu dan 24.1% bagi gas asli. Tambahan, kadar penggunaan kumpulan sumber tenaga ini dijangka akan meningkat sehingga 53% menjelang tahun 2030. Kitar hidup sumber tenaga ini diramal kian terhad bagi pelbagai tujuan penggunaan berasaskan tenaga pada masa hadapan. Selain itu, kesan sampingan seperti kesan rumah hijau, pencemaran udara dan peningkatan pemanasan global akan disumbang secara drastik melalui pembakaran langsung terhadap sumber tenaga lazim ini. Justeru, penggunaan sumber tenaga alternatif yang boleh diperbaharui perlu terus giat dikaji secara terperinci dan mendalam, dan seterusnya terus diperkembang dan diperkenal ke seluruh dunia dalam menampung keperluan tenaga yang tinggi (Ong et al., 2011).

Kerajaan Malaysia melalui Kementerian Tenaga, Teknologi Hijau dan Air (KeTTHA) telah memperkenalkan Dasar Teknologi Hijau Kebangsaan yang bertujuan khas bagi menjamin pembangunan yang lestari bukan sahaja dalam memelihara dan memulihara sumber asli dan alam sekitar malah meningkatkan kualiti hidup dan ekonomi. Dasar ini secara tidak langsung mampu dijadikan sebagai batu loncatan kepada agensi-agensi, para penyelidik dan seluruh kelompok masyarakat untuk mempertingkatkan keupayaan dan daya saing bagi inovasi dan kreativiti dalam pembangunan teknologi hijau. Teknologi hijau adalah didefinisikan sebagai pembangunan dan aplikasi produk, peralatan serta sistem bertujuan khas untuk memelihara alam sekitar dan meminimumkan kesan negatif daripada pelbagai aktiviti manusia. Produk, peralatan atau sistem yang menepati kriteria-kriteria Teknologi Hijau mestilah dirujuk mempunyai minimum impak terhadap kualiti persekitaran, kesan rumah hijau yang rendah atau sifar, penjimatan tenaga dan sumber asli, selamat untuk diaplikasikan dan mampu menyediakan persekitaran sihat untuk semua hidupan dan menggalakkan penggunaan sumber-sumber yang boleh diperbaharui (www.kettha.gov.my, 2015).

Kelestarian sumber tenaga kini dilihat menjadi satu cabaran genting khususnya di Malaysia dalam menyediakan kepelbagaian sumber tenaga alternatif di samping memulihara sumber tenaga lazim sedia ada. Sebelum tahun 1980-an, sumber tenaga utama negara hanya bergantung kepada sumber minyak mentah. Krisis minyak antarabangsa pada tahun 1973 dan 1979 telah membuka mata kerajaan Malaysia untuk menangani sebarang kemungkinan berpanjangan krisis sumber ini melalui penerokaan kepelbagaian sumber tenaga lain. Selain sumber gas asli, arang batu dan tenaga hidro, kerajaan turut mengesyorkan sumber tenaga alternatif yang lain seperti tenaga suria,

angin dan biojisim (Ong et al., 2011). Penyelidikan dan pembangunan terus dilaksanakan terhadap sumber tenaga alternatif ini dalam melihat sebarang kemungkinan sebagai sumber pilihan tenaga utama pada masa hadapan. Oleh yang demikian, pelbagai sudut perspektif perlu dititik beratkan seiring kriteria yang disyorkan melalui Dasar Teknologi Hijau Kebangsaan bagi menyediakan suatu sumber tenaga yang mampan. Merujuk konteks ini, tenaga biojisim dilihat berpotensi tinggi sebagai sumber tenaga alternatif yang utama, serta dijangka bersedia menjadi tunjang kepada pengganti utama bahan api fosil lazim negara pada masa hadapan.

## **1.2 Potensi Biojisim sebagai Sumber Janaan Tenaga**

Sumber tenaga biojisim sudah mula dilihat sebagai sumber tenaga alternatif yang utama di seluruh dunia khususnya negara-negara serantau Asia Tenggara. Negara-negara rantau Asia Tenggara seperti Malaysia, Indonesia dan Thailand amnya kini telah mampu menyediakan pelbagai bentuk bahan api yang berkualiti hanya berasaskan sumber biojisim sebagai sumber tenaga melalui kajian penyelidikan saintifik yang komprehensif. Lambakan sumber sisa kayu balak, sisa pertanian dan sisa haiwan di negara-negara ini menjadi faktor utama kepada penggunaan dan pembangunan sumber biojisim sebagai sumber bahan api khususnya bagi memenuhi kehendak keperluan industri.

Merujuk kepada Jadual 1.1, lambakan biojisim utama di Malaysia adalah merangkumi sisa pertanian, sisa perhutanan dan buangan pepejal perbandaran. Merujuk statistik yang dilaporkan oleh Mekhilef et al. (2011), sisa-sisa perhutanan seperti kayu balak seperti papan lapis dan serbuk gergaji, dan juga buangan pepejal perbandaran

seperti sisa organik buangan harian masing-masing hanya menyumbang kira-kira 6.3 dan 4.6 MTan manakala, sisa-sisa pertanian seperti kelapa sawit, padi dan tebu merupakan penyumbang jumlah buangan terbesar hampir 92.6 MTan. Sisa kelapa sawit dilihat merupakan lambakan dominan dalam penghasilan biojisim di Malaysia dengan jumlah sumbangan sekitar 90 MTan. Statistik ini jelas menunjukkan bahawa semua pihak khususnya kerajaan Malaysia perlu memandang semula kemampuan setiap biojisim ini terutamanya sisa kelapa sawit sebagai sumbangan sumber tenaga utama negara, dan secara tidak langsung mampu membendung kepada lambakan biojisim yang berterusan di negara ini.

Jadual 1.1: Jumlah penghasilan biojisim di Malaysia pada tahun 2007 (Mekhilef et al., 2011)

<b>Jenis Biojisim</b>	<b>Jumlah (kTan)</b>
<b>Sisa Pertanian</b>	
Kelapa Sawit	91,251
Padi	1,364
Pisang	530
Tebu	234
Kelapa	171
Nenas	48
<b>Sisa Perhutanan</b>	
Balak	2,649
Papan lapis	2,492
Serbuk Gergaji	1,160
<b>Sisa Pepejal Perbandaran</b>	
Sisa Organik (sisa makanan dan kertas kadbod)	4,653

Aplikasi biojisim sebagai sumber bio-tenaga dapat membantu mengurangkan kebergantungan terhadap penggunaan minyak mentah, gas asli dan arang batu. Pembakaran terus menerus sumber-sumber tenaga lazim ini akan mengakibatkan ketidak seimbangan peratusan gas-gas khususnya karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) di dalam atmosfera. Walaupun tumbuhan menyerap CO<sub>2</sub> melalui proses fotosintesis, pengiraan kitaran karbon memperlihatkan kadar penghasilannya melebihi kadar serapan oleh tumbuhan terutamanya di sekitar zon perindustrian kawasan-kawasan bandar. Oleh yang demikian, satu inisiatif yang proaktif adalah melalui pembinaan kilang perindustrian khususnya industri pemprosesan di dalam ladang-ladang pertanian atau luar bandar. Tanaman pertanian yang meluas seperti ladang kelapa sawit dan getah mampu bertindak sebagai 'sinki karbon' bagi menyerap pelepasan gas-gas CO<sub>2</sub> secara efektif. Sebagai contoh, penanaman kelapa sawit mampu berasimilasi terhadap serapan gas CO<sub>2</sub> sehingga 64.5 Tan bagi setiap hektar ladang penanamannya setiap setahun (Shuit et al., 2009). Justeru, pelepasan isipadu gas melalui pembakaran biojisim dalam sektor perindustrian amnya serba sedikit dapat diseimbangkan secara dinamik. Selain itu, penempatan industri perkilangan di luar bandar turut memastikan perkembangan kelestarian sosial yang lebih baik dengan memberi peluang pekerjaan khususnya kepada masyarakat setempat.

### **1.3 Pra-Rawatan Air Pencucian Terhadap Biojisim**

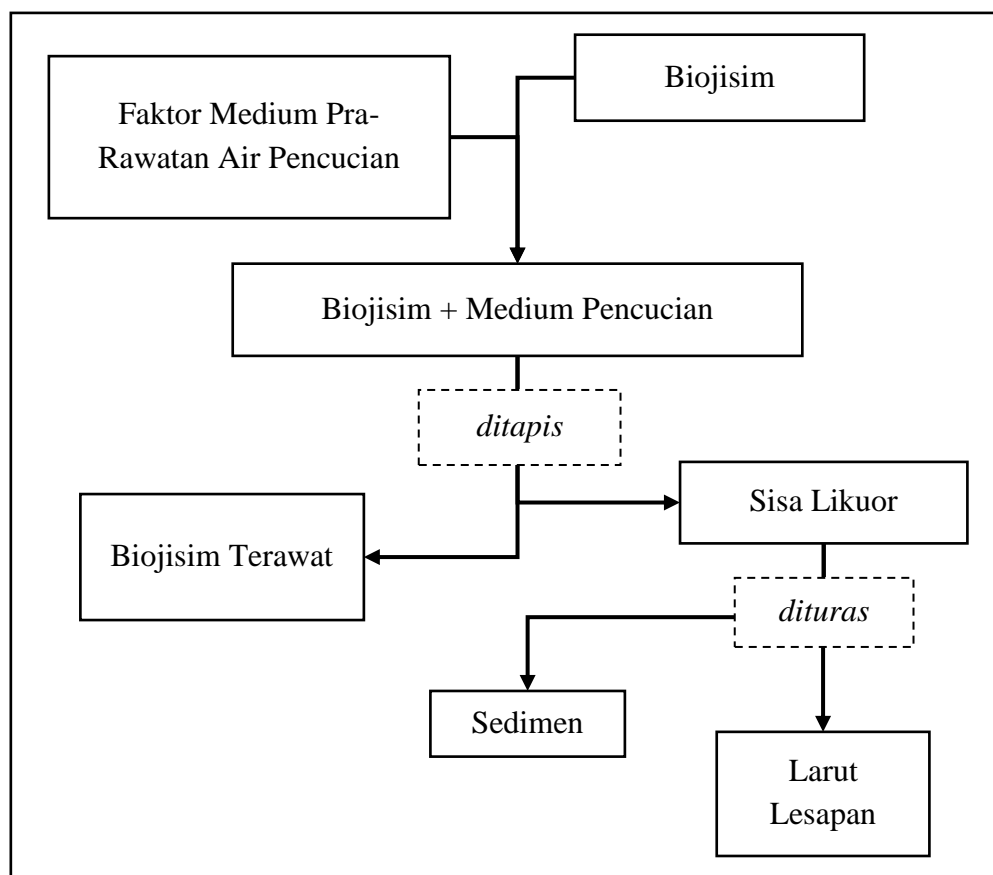
Pra-rawatan air pencucian terhadap biojisim telah mula dikaji dan diaplikasi dengan menyeluruh oleh para penyelidik, dengan matlamat dan objektif utamanya adalah untuk; (1) mengekalkan kitaran nutrien tumbuhan, (2) meningkatkan kualiti bahan api dan (3) mengawal kesan kerosakan atau permasalahan semasa pembakaran biojisim



(Turn et al., 1997). Seperti yang sedia maklum, pelbagai unsur logam alkali bumi wujud di dalam biojisim seperti natrium (Na), kalium (K), kalsium (Ca), fosforus (P), magnasium (Mg), silikon (Si), aluminium (Al) dan besi (Fe). Selain itu, pemendakan lumpur, debu dan pasir turut dilihat terkumpul dengan dominan pada struktur setiap biojisim yang jelas disumbang akibat daripada kurangnya kawalan selia yang rapi semasa proses penuaian, pengutipan dan pengumpulan biojisim sama ada di ladang mahupun di kilang pemprosesan. Setiap jenis kumpulan bendasing ini disifatkan sebagai proksi kepada kelancaran dan keberkesanan bagi suatu proses pembakaran biojisim amnya. Melalui proses pembakaran, bendasing-bendasing ini akan menghadkan kadar permindahan haba yang optimum terhadap keseluruhan permukaan dan struktur biojisim, dan juga turut mengakibatkan terbentuknya lapisan-lapisan sanga yang tebal di dalam ruang-ruang pembakaran biojisim. Situasi ini secara tidak langsung bukan sahaja akan mengurangkan kecekapan dan kemampuan reaktor-reaktor pembakar malah menjurus kepada peningkatan dalam kos operasi dan baik pulih bagi setiap operasi yang berlangsung (Turn et al., 1997).

Rajah 1.1 memaparkan carta alir asas kepada proses pra-rawatan air pencucian biojisim. Pelbagai teknik dan parameter pra-rawatan air pencucian dapat dipraktikkan bagi meningkatkan kualiti biojisimnya. Antara kepelbagaian teknik pencucian umum biojisim adalah rendaman, semburan dan curahan. Selain itu, aplikasi pelbagai parameter teknikal melalui medium pencucian dapat membantu dalam memperoleh suatu parameter pra-rawatan optimum bagi setiap pra-rawatan yang berlangsung. Antara parameter teknikal yang kerap dimanipulasikan adalah suhu rendaman, tempoh masa rendaman dan jenis medium rendaman. Bagi setiap proses pra-rawatan air pencucian, proses ini adalah dihuraikan berdasarkan kepada tiga mekanisme utama,

iaitu tindak balas kinetik, keterlarutan serta erapan dan reaksi-reaksi kompleks. Interaksi medium pencucian terhadap biojisim pada asasnya menjurus kepada penyingkiran bendasing kasar yang terdapat pada keseluruhan permukaan biojisim. Seterusnya, interaksi secara fizikal dan kimia adalah berlaku dominan apabila pelbagai unsur logam alkali bumi mula melarut lesap atau meruwap hasil penerapan suatu variasi julat suhu dan tempoh masa pencucian. Struktur berliang bukan sahaja membenarkan mekanisme erapan berlangsung dengan lebih giat di antara medium pencucian dan struktur pepejal biojisim malah wujudnya galakkan terhadap pelbagai reaksi-reaksi kompleks yang melibatkan penguraian struktur kimia kompleks binaan biojisim (selulosa, hemiselulosa dan lignin).



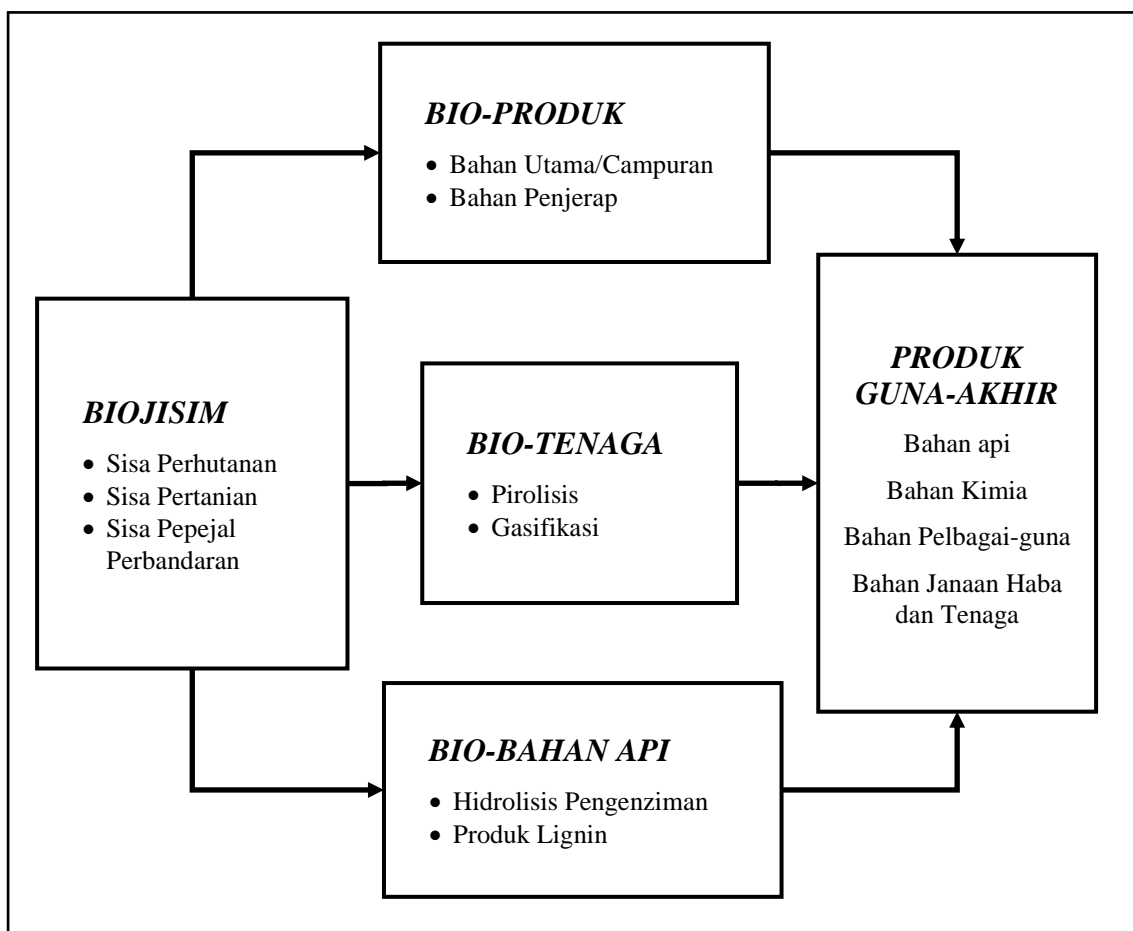
Rajah 1.1: Carta alir proses pra-rawatan air pencucian biojisim (Jenkins et al., 1996)

Keberkesanan pra-rawatan air pencucian secara umumnya ditentukan melalui penentuan nilai akhir kandungan abu suatu biojisim, atau dalam erti kata lain melalui penyusutan peratus komposisi unsur-unsur logam alkali bumi daripada struktur biojisim (Das et al., 2004) (Yang et al., 2006). Selain itu, proses pra-rawatan adalah berlangsung dengan lebih efektif jika output akhir biojisim terawat tidak mengalami kehilangan jisim yang drastik. Di samping itu, kesan akibat-abu turut dapat menjelaskan keberkesanan proses pra-rawatan melalui perbandingan penggunaan biojisim terawat dan tak rawat sebagai sumber bahan proses pirolisis. Aplikasi proses pirolisis terhadap biojisim terawat dan tak rawat menjanjikan perbezaan yang ketara bukan sahaja hadir melalui peratus jisim dan komposisi molekulnya malah pada perincian kualiti sifat fizikal dan termo-kimia setiap produk pirolisisnya. Perbezaan dapatan hasil dan kualiti sifat produk pirolisis di antara biojisim terawat dan tak rawat yang signifikan menunjukkan suatu impak yang jelas dalam penyediaan dan penentuan sesuatu produk bahan api yang lebih unggul dan lestari bagi pelbagai tujuan janaan tenaga.

#### **1.4 Pirolisis sebagai Pilihan Teknologi Penukaran Termo-kimia**

Pelbagai pilihan skop teknologi penukaran dilihat kini dalam mengguna semula atau mengolah biojisim sebagai sumber tenaga dan bio-produk komersial yang lain. Asas teknologi penukaran biasanya melibatkan dua proses utama; iaitu proses termo-kimia dan bio-kimia. Rajah 1.2 menggambarkan pecahan beberapa proses teknologi penukaran yang dijalankan sama ada pada skala kecil mahupun skala besar secara proaktif dalam menghasilkan pelbagai bio-produk dan sumber bahan bagi penjanaan tenaga. Penilaian terhadap potensi setiap produk ini memberi gambaran yang lebih

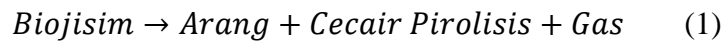
komprehensif terhadap keboleh saingan dan kepelbagaian guna dalam aplikasi perkembangan bio-tenaga. Bagi produk bio-bahan api dan bio-tenaga, terdapat lima jenis teknologi yang diaplikasikan dan dikomersialkan melalui kajian penyelidikan saintifik dan sektor perindustrian iaitu pembakaran terus, gasifikasi, pencernaan anaerobik, pirolisis dan sistem pembakaran berskala makmal (Pasangulapati et al., 2012).



Rajah 1.2: Inisiatif penukaran biojisim sebagai sumber tenaga yang diperbaharui  
(Pasangulapati et al., 2012)

Walaupun proses pirolisis masih pada peringkat awal perkembangannya, proses penukaran termo-kimia ini kian menjadi pilihan sebagai teknologi penukaran utama

oleh para penyelidik dan sektor perindustrian pada masa kini. Berdasarkan Persamaan (1), pirolisis amnya merupakan suatu proses penukaran termo-kimia biojisim kepada struktur pepejal dan cecair yang berketumpatan tenaga tinggi, atau secara umumnya dikenali sebagai arang dan cecair pirolisis, serta produk sampingannya iaitu gas.



Proses ini melibatkan pemanasan struktur hidrokarbon molekul kompleks pada suatu julat suhu tanpa kehadiran udara atau oksigen. Di sepanjang proses pemanasan ini, struktur molekul kompleks biojisim iaitu lignin, hemiselulosa dan selulosa diurai, dan seterusnya membebaskan wap dan gas bagi menghasilkan produk pepejal arang. Kondensasi terhadap wap dan gas menghasilkan produk cecair yang mempunyai sebatian molekul yang tinggi dan berketub, serta mengekalkan sebatian molekul yang rendah dalam fasa gas. Tindak balas proses pirolisis secara fizikal dan kimia adalah kompleks, dan keseluruhan tindak balas amat bergantung kepada sifat dan keadaan biojisim, sistem dan operasi parameter yang dipraktikkan (Laird et al., 2009).

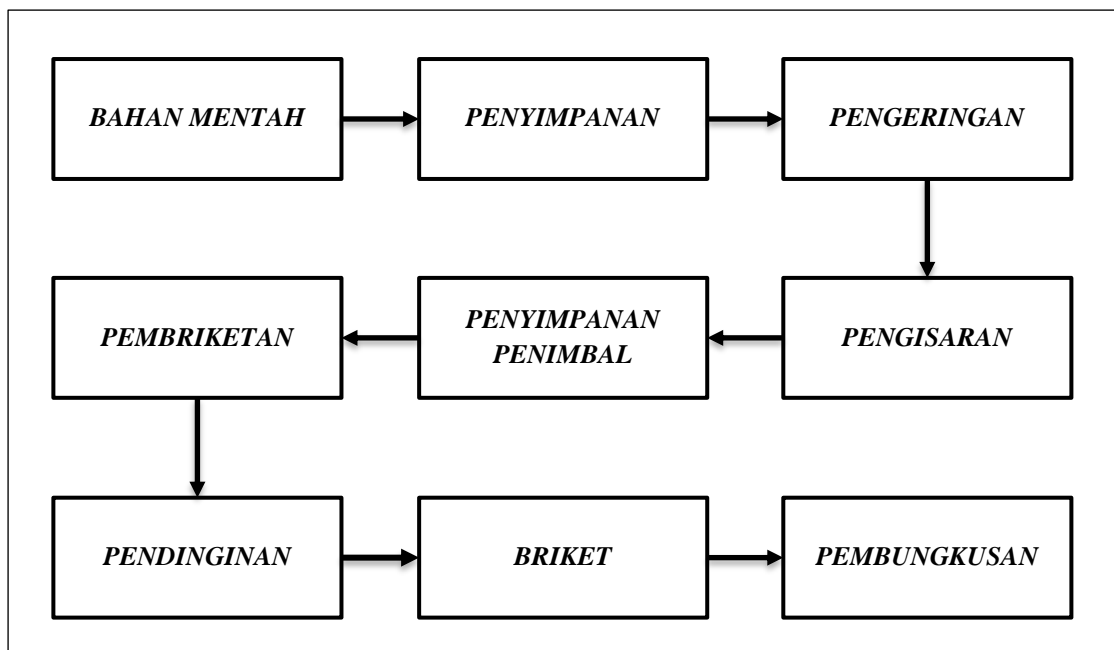
Proses pirolisis bersedia menyediakan suatu bahan api yang berkualiti tinggi bagi mana-mana aplikasi aktiviti rutin harian atau sektor perindustrian. Sebagai contoh, arang dan cecair pirolisis yang masing-masing diklasifikasikan sebagai bahan api pepejal dan cecair mampu diperoleh melalui proses pirolisis pada suatu jumlah kuantiti dan kualiti yang tertentu bergantung kepada skala dan operasi teknologinya. Arang kini kian digunakan di dalam pelbagai sektor industri sebagai janaan haba dan stim melalui pembakaran terus kerana produk ini mempunyai nilai tenaga yang tinggi, tahan bakar yang lama serta mesra alam. Bagi cecair pirolisis, produk pirolisis ini dilihat berpotensi

sebagai bahan nilai tambah ataupun pengganti kepada petroleum mentah sedia ada di dalam industri minyak negara. Walaupun keunggulan arang dan cecair pirolisis sebagai bahan api masih diragui namun, setiap bio-produk ini jelas mampu menjamin kelestarian ekosistem dan mengurangkan pencemaran alam sekitar (Weerachanchai et al., 2011) (Das et al., 2004). Penghasilan arang dan cecair pirolisis daripada sumber biojisim memberi pilihan yang realistik dan relevan dalam menyediakan sumber tenaga yang lebih baik dan berkualiti. Oleh yang demikian, kebergantungan terus terhadap sumber tenaga lazim negara seperti petroleum, gas asli dan arang batu dapat dikurangkan sejajar matlamat utama negara dalam memelihara dan memulihara sumber tenaga tak diperbaharui ini.

### **1.5 Pembuatan Briket daripada Sumber Biojisim**

Briket adalah dirujuk merupakan suatu bahan api pepejal yang tumpat dan seragam, serta memiliki nilai ketumpatan tenaga yang tinggi. Briket daripada sumber biojisim adalah sering digunakan dan dipraktikkan di sekitar negara-negara maju dan membangun seperti Amerika Syarikat (USA), Kesatuan Eropah (EU), Australia, Jepun, Korea dan Taiwan bagi tujuan penjanaan tenaga di samping pelbagai aktiviti rutin harian lain seperti pemanasan, barbeku dan perkhemahan. Aplikasi briket dalam pelbagai tujuan dan kegunaan memberi banyak kelebihan dan impak positif dari aspek kelestarian sosial, ekonomi dan alam sekitar. Antara kelebihan yang diperoleh melalui aplikasi briket sebagai sumber tenaga adalah (Panwar et al., 2011):

- Sebagai langkah alternatif bagi mengurangi kebergantungan terhadap sumber lazim negara dan masalah pencemaran ekosistem
- Sebagai solusi yang dinamik dalam permasalahan lambakan, pengangkutan dan ruang penyimpanan sisa biojisim
- Menjamin pembakaran yang konsisten dan menyeluruh di samping mengelakkan pembebasan abu-bendasing dan gas-gas berbahaya kepada alam sekitar
- Kepelbagaian guna sama ada tujuan rutin harian ataupun perindustrian di luar mahupun dalam bandar



Rajah 1.3: Carta alir proses pembriketan biojisim (Tripathi et al., 1997)

Secara keseluruhannya, asas proses pembriketan biojisim adalah dirujuk berdasarkan Rajah 1.3. Proses ini meliputi prosedur pengeringan, pengisaran, penapisan, pemampatan dan pembungkusan. Kelembapan biojisim perlu disingkirkan

terlebih dahulu sebelum dikisar dan ditapis pada suatu julat saiz zarah jirim tertentu. Seterusnya, struktur biojisim berkisar dimampatkan sama ada menggunakan bahan pengikat atau tidak melalui kebuk pembriketan yang sesuai (Tripathi et al., 1997). Model-model kebuk pembriketan yang umum adalah pembriketan skru-mampat dan pembriketan omboh-mampat. Kaedah skru pemampat merupakan proses pembriketan yang lebih popular berbanding kaedah omboh pemampat terutama sekali bagi aplikasi industri kecil di kalangan negara-negara membangun (Panwar et al., 2011). Namun demikian, kaedah omboh pemampat dilihat masih relevan diaplikasikan khususnya bagi pelbagai tujuan pembuatan berskala kecil.

Keseluruhan kuantiti dan kualiti suatu briket bukan sahaja bergantung kepada kaedah mampatan malah dipengaruhi oleh beberapa faktor utama seperti bahan campuran briket, keadaan sifat bahan campuran dan parameter teknikal mampatan (O'dogherty, 1989). Bahan asas campuran briket melibatkan dua bahan penting iaitu bahan asas campuran sama ada struktur biojisim mentah berkisar ataupun struktur arang biojisim berkisar, dan juga bahan pengikatnya. Perincian kualiti sifat setiap bahan campuran briket perlu dikenal pasti bagi memastikan kelestarian setiap briket yang terhasil bagi kesedia gunaan sebagai produk bio-bahan api pepejal. Tambahan, nisbah peratus jisim campuran di antara kedua-dua bahan asas dan pengikatnya turut memainkan peranan yang utama dalam penyediaan suatu briket yang baik. Penyediaan suatu briket yang unggul adalah turut dipengaruhi oleh aplikasi pelbagai parameter teknikal semasa aktiviti pemadatan bahan campuran briket. Parameter teknikal yang dimanipulasikan terhadap bahan campuran briket bukan sahaja akan mempengaruhi keseluruhan struktur fizikal briket malah kualiti sifatnya dalam menentukan kebolehan sediaaan untuk membakar secara optimum bagi suatu julat tempoh masa yang lama.



Secara keseluruhannya, pemahaman saintifik yang jitu dan mendalam turut diperlukan terutama sekali bagi membincangkan prinsip dan mekanisme asas pembuatan briket. Tambahan, faktor-faktor teknikal yang diterapkan adalah dijangka mampu menggalak kepada penyediaan struktur briket yang utuh dan berkualiti sebagai asas kepada penghasilan bahan api pepejal yang unggul.

## **1.6    Penyataan Masalah**

Lambakan biojisim diteliti kian kritikal impak daripada peningkatan keluasan penanaman pertanian pada masa kini. Suatu tindakan olahan atau guna semula biojisim diperlukan bukan sahaja bagi membendung permasalahan lambakan ini malah mampu juga menampung kepada keperluan sumber tenaga negara amnya. Proses penukaran termo-kimia, penukaran kimia dan penukaran bio-kimia biojisim merupakan antara aplikasi tindakan yang efektif bagi menukar sisa buangan biojisim kepada bio-produk pelbagai guna.

Kehadiran pelbagai kumpulan proksi abu-bendasing biojisim menghadkan kelangsungan pembakaran secara menyeluruh. Aktiviti pemangkin bertindak dominan semasa proses pembakaran sehingga menggalak kepada pelepasan asap yang mencemar kesihatan dan alam sekitar. Justeru, aplikasi pra-rawatan air pencucian merupakan solusi yang praktikal, ringkas dan lestari bagi mengatasi permasalahan ini. Keterlarutan logam alkali dan penyingkiran jirim bendasing pepejal merupakan prinsip atau mekanisme asas pra-rawatan air pencucian dalam penyediaan kepada keadaan struktur biojisim/bahan bakar rendah abu-bendasing.

Aplikasi pirolisis menyediakan kumpulan produk utama berasaskan biojisim seperti arang dan cecair pirolisis. Keadaan dan struktur biojisim menjurus kepada kepelbagaian dapatan yang terhasil. Ujian analitikal terperinci terhadap setiap sumber bahan bakar ini diperlukan bagi menentu sahkan kualiti sifat fizikal dan termo-kimia produk. Tambahan, pengaruh suhu pirolisis mempengaruhi bukan sahaja pada aspek kuantitatif malah kualitatif produk disebabkan perbezaan fasa tindak balas permindahan haba terhadap struktur fizikal dan kimia biojisim.

Pembriketan struktur arang dan cecair pirolisis merupakan suatu solusi kepada penyediaan bahan bakar api pepejal berketumpatan tinggi. Struktur arang dan cecair pirolisis memiliki ketumpatan tenaga yang rendah masing-masing disebabkan perbezaan dalam ketumpatan dan nilai haba tinggi. Campuran kedua-dua produk membenarkan pembentukan bahan bakar api pepejal berketahanan struktur yang mampan dan sifat termo-kimia yang ideal bagi penjanaan haba tinggi.

## **1.7 Objektif Penyelidikan**

Objektif utama kajian penyelidikan ini adalah bertujuan bagi mengkaji impak pra-rawatan air pencucian terhadap produk pirolisis arang dan cecair pirolisis bagi sisa kelapa sawit iaitu tandan kosong sawit (TKS), cangkerang isirong sawit (CIS) dan pelepah tandan sawit (PTS), sebagai sumber bahan asas campuran briket.

Matlamat utama kajian penyelidikan ini mampu dicapai melalui beberapa penyiasatan yang lebih khusus dan terperinci iaitu:

1. Untuk mengkaji kesan tindakan pra-rawatan air pencucian terhadap biojisim
2. Untuk mengkaji perbezaan kuantiti dan kualiti produk pirolisis biojisim terawat dan tak rawat
3. Untuk menentukan sifat fizikal dan termo-kimia briket berasaskan campuran arang dan cecair pirolisis

## **1.8 Atur Susun Bab-Bab Tesis**

Aturan bab-bab di dalam tesis ini adalah seperti berikut: Pengenalan ringkas terhadap senario sumber tenaga negara, potensi biojisim sebagai sumber janaan tenaga, pra-rawatan air pencucian terhadap biojisim, pirolisis sebagai pilihan teknologi penukaran termokimia dan penghasilan briket daripada sumber biojisim dibentangkan di dalam Bab 1: Pengenalan.

Bab 2: Kajian Literatur, menghuraikan aplikasi keseluruhan berkaitan sisa kelapa sawit sebagai sumber bahan bakar. Tambahan, kajian literatur terhadap aplikasi pra-rawatan air pencucian terhadap struktur biojisim serta prinsip asas mekanisme penyingkiran abu-bendasing turut juga dibincangkan. Seterusnya, kajian literatur yang komprehensif turut dilakukan terhadap proses pirolisis, meliputi aspek-aspek pola dapatan hasil dan kualiti sifat setiap kumpulan produk pirolisis. Akhir sekali, kajian literatur meliputi pembuatan struktur briket berasaskan arang dikenal pasti dalam melihat perkembangan dan signifikansi sumbangan bio-produk tersebut dalam penjanaan haba dan tenaga.

Bab 3: Metodologi, penjelasan lengkap berkenaan prosedur dan kaedah eksperimen yang dipraktikkan di sepanjang kajian penyelidikan ini. Gerak kerja asasnya meliputi perincian sifat biojisim, penyediaan kumpulan biojisim terawat, aplikasi proses pirolisis terhadap biojisim terawat dan tak rawat dan seterusnya, penyediaan struktur briket berasaskan arang daripada kumpulan arang sisa kelapa sawit dan, cecair pirolisis sebagai bahan pengikatnya.

Bab 4: Keputusan dan Perbincangan, keputusan keseluruhan eksperimen di sepanjang kajian penyelidikan ini dirangkumkan dengan terperinci dan sistematik. Perbincangan yang teliti dibentangkan berasaskan kepada perbandingan sifat biojisim terawat dan tak rawat serta, perbezaan kuantiti dan kualiti produk pirolisisnya. Selain itu, perincian keseluruhan sifat-sifat briket turut dibincangkan dalam menentukan nilai potensi bahan api pepejal tersebut.

Bab 5: Kesimpulan dan Cadangan, kesimpulan keseluruhan kajian penyelidikan ini dirangkumkan di dalam bab ini. Selain itu, cadangan bagi penambahbaikan dan peningkatan kualiti bio-produk yang relevan turut diutarakan bagi kelangsungan aplikasi pada kajian penyelidikan pada masa hadapan.

## **BAB DUA**

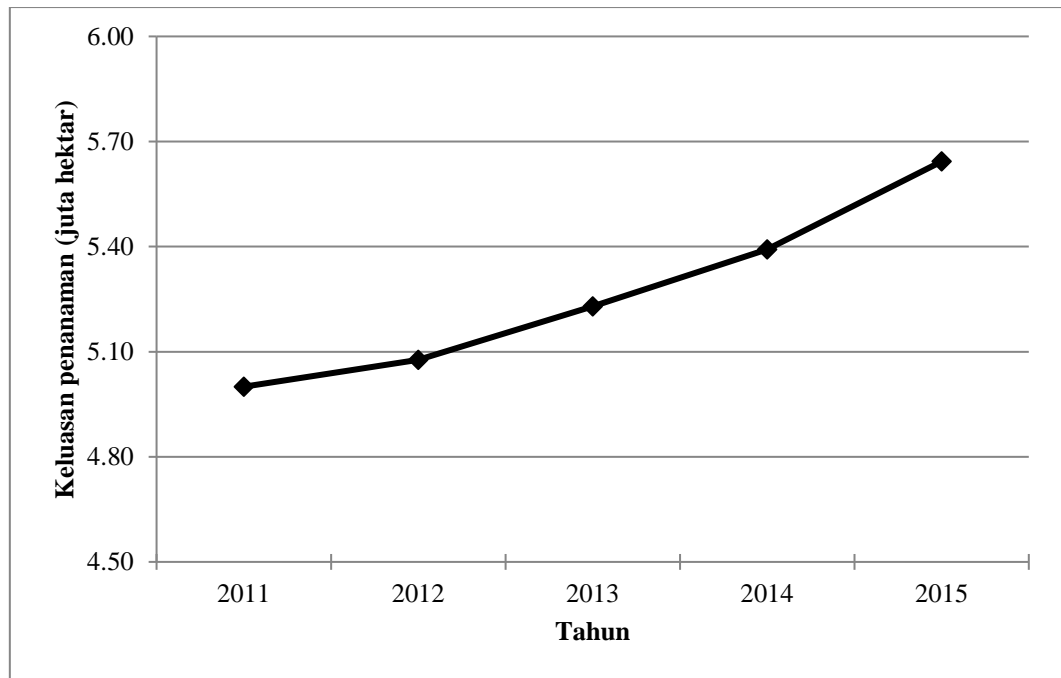
### **KAJIAN LITERATUR**

Industri kelapa sawit Malaysia meninggalkan jumlah lambakan biojisim yang sangat besar sama ada melalui kegiatan peladangan ataupun pengilangannya. Suatu inisiatif yang praktikal dan lestari perlu diperkenalkan bukan sahaja dalam mengkaji nilai potensi biojisim sebagai sumber bahan bakar malah mengawal lambakan penghasilan sisa-sisa ini. Idea pra-rawatan air pencucian merupakan suatu langkah yang praktikal, relevan dan lestari bagi meningkatkan kualiti sifat biojisim sebagai sumber bahan mentah bagi aplikasi proses penukaran termo-kimia. Penyingkiran abu-bendasing daripada struktur biojisim menjurus kepada pembakaran yang lebih dinamik. Mekanisme pencucian biojisim memainkan peranan yang amat penting dalam mengkaji keberkesanan suatu tindakan pra-rawatan. Proses pirolisis amnya merupakan suatu proses teknologi penukaran termo-kimia lazim biojisim bagi penghasilan produk pirolisis, iaitu arang, cecair pirolisis dan gas. Perbezaan mekanisme pemindahan haba akan berlangsung masing-masing terhadap struktur biojisim terawat dan tak rawat. Kesesuaian kombinasi bahan asas campuran memainkan peranan yang penting dalam pembuatan briket. Tambahan, pengaruh faktor-faktor lain seperti kaedah mampatan, tekanan mampatan dan peratus jisim nisbah campuran turut mempengaruhi keseluruhan penyediaan suatu struktur briket. Penentuan secara kritikal terhadap kemampuan setiap bahan campuran briket memastikan briket memiliki sifat-sifat fizikal dan termo-kimia yang baik sebagai bahan bakar api pepejal tumpat.

## **2.1 Sisa Kelapa Sawit sebagai Sumber Bahan Bakar**

### **2.1.1 Sisa Kelapa Sawit**

Kelapa sawit, atau juga dikenali sebagai *Elaeis guineensis* ialah spesies paling dominan di dalam kumpulan jenis *Elaeis*. Penanaman kelapa sawit mula diperkenalkan sekitar Afrika Barat dan kini ditanam secara meluas di kawasan-kawasan tropika serata dunia. Tambahan, penanaman ini mula menjadi industri pertanian utama di negara-negara Asia Tenggara seperti Malaysia, Indonesia dan Thailand. Rajah 2.1 memaparkan evolusi keluasan penanaman kelapa sawit di Malaysia dari tahun 2011 hingga tahun 2015 ([bepi.mpob.gov.my](http://bepi.mpob.gov.my)). Peningkatan keluasan penanaman tanaman ini di Malaysia jelas disumbang oleh galakkan permintaan dunia terhadap minyak makan daripada sumber kelapa sawit. Sebagai pengeluar dan pengeksport kedua terbesar dunia (selepas Indonesia), industri kelapa sawit Malaysia meninggalkan sejumlah lambakan yang sangat besar melalui kegiatan perladangan dan pengilangannya. Satu hektar bagi setiap keluasan penanaman kelapa sawit mampu menghasilkan lambakan biojisim di antara 50 hingga 70 Tan. Adalah tidak dinafikan lagi bahawa industri kelapa sawit merupakan penyumbang sisa biojisim terbesar negara dengan jumlah peratusan lambakan sehingga 85.5 % atau 70 juta Tan daripada keseluruhan jumlah buangan biojisim negara ini.



Rajah 2.1: Keluasan penanaman kelapa sawit di Malaysia dari tahun 2011 hingga tahun 2015 (bepi.mpob.gov.my)

Kepelbagaian sisa kelapa sawit amnya adalah terdiri daripada pelepah tandan sawit (PTS), tandan kosong sawit (TKS) dan cangkerang isirong sawit (CIS) jelas menjanjikan sumbangan yang memberangsangkan dari aspek keboleh dapatan bagi pengumpulan dan pemerolehan sumber biojisim berasaskan kelapa sawit. Ng et al. (2011) melaporkan bahawa jumlah potensi penghasilan dan pengumpulan sisa kelapa sawit daripada 4.69 juta hektar penanaman kelapa sawit di Malaysia pada tahun 2009 dianggarkan sekitar 77.24 juta Tan setahun, dengan pecahan lambakan setiap sisa kelapa sawit adalah seperti berikut; PTS: 44.84 juta Tan, TKS: 6.93 juta Tan dan CIS: 4.21 juta Tan. Manakala, selebihnya adalah mewakili kepada pecahan lambakan sisa kelapa sawit lain seperti batang kelapa sawit (OPT) dan serabut kelapa sawit (PFF). Walaupun sisa kelapa sawit merupakan penyumbang terbesar kepada lambakan buangan di Malaysia namun, sisa-sisa ini diklasifikasikan sebagai sumber kedua tertinggi selepas sisa kayu-kayan hutan sebagai sumber bahan penjanaan tenaga.

Statistik yang dilaporkan oleh Sulaiman et al. (2011) menunjukkan nilai potensi sumber tenaga daripada sisa kelapa sawit dianggarkan sekitar RM 6,379 juta setahun manakala, sisa kayu-kayan hutan mempunyai nilai potensi sumber tenaga sehingga RM 11,984 juta setahun. Selain itu, laporan pecahan potensi sumbangan tenaga setiap sisa kelapa sawit turut dibincangkan berdasarkan kajian statistik yang dirangkumkan oleh Shuit et al. (2009) dan Ong et al. (2011), dengan potensi janaan tenaga masing-masing adalah dianggarkan seperti berikut; TKS: 7.65 Mtoe, serat sabut sawit (PMF): 4.37 Mtoe dan CIS: 0.95 Mtoe. Melihat kepada konteks ini, biojisim berasaskan sisa kelapa sawit dilihat mempunyai potensi yang tinggi dan menjanjikan kesedia gunaan sebagai sumber tenaga yang diperbaharui bukan sahaja berdasarkan daripada aspek kapasiti pengeluaran, penghasilan dan pengumpulan stok biojisim malah sumbangan janaan tenaga khususnya terhadap keperluan domestik dan sektor perindustrian. Oleh yang demikian, sumber tenaga berasaskan biojisim ini harus terus diperkembang oleh semua pihak sama ada dengan mengoptimumkan jumlah penggunaan sumber biojisim mahupun memperhebat teknologi penyelidikan sedia ada agar dapat menampung permintaan terhadap keperluan pelbagai bio-produk dan bahan api pada masa hadapan.

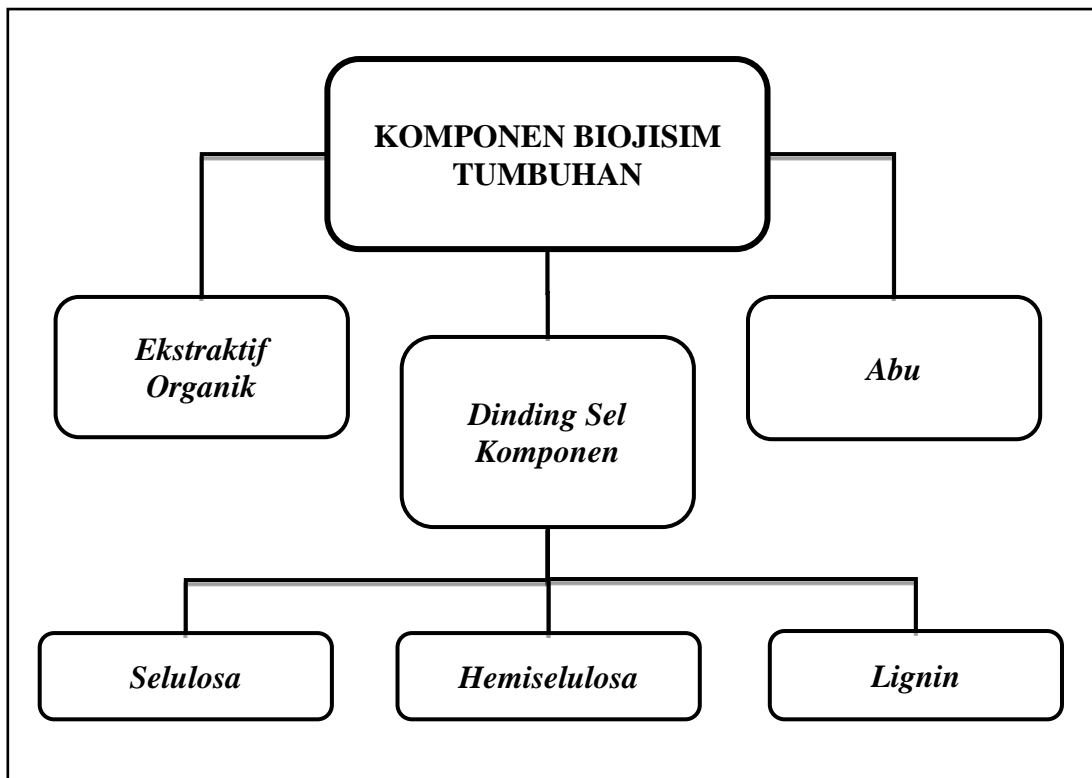
### **2.1.2 Biojisim Tumbuhan: Struktur & Komponen**

Biojisim dirujuk sebagai suatu bahan organik yang mengandungi tenaga, yang diperoleh melalui proses fotosintesis. Tenaga ini disimpan oleh tumbuhan di dalam ikatan kimia di antara molekul-molekul tumbuhan. Kebolehan biojisim menyimpan kandungan tenaga yang tinggi menjadikan ianya satu prospek yang baik dalam penggunaan pelbagai aplikasi penjanaan tenaga. Biojisim adalah mudah untuk diperoleh kerana ianya dihasilkan atau dikumpulkan secara pukal dan berterusan setiap



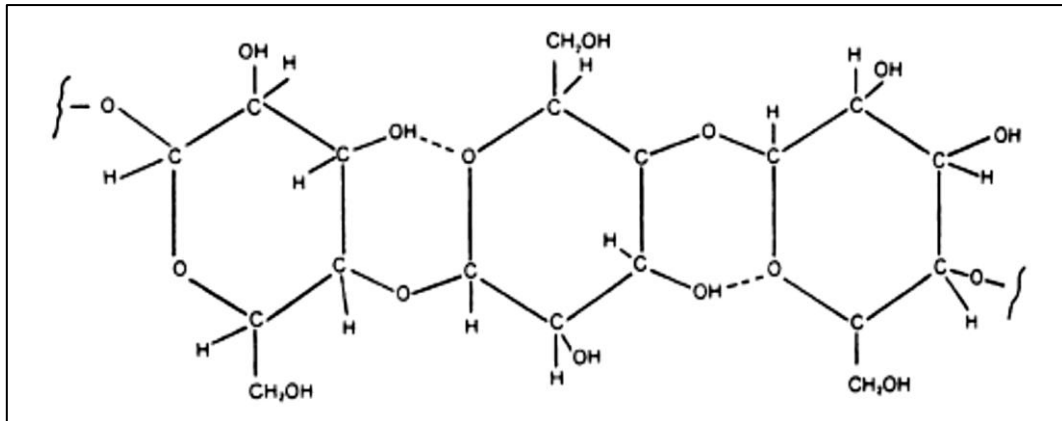
tahun. Selain itu, biojisim juga merupakan buangan terbiodegradasi yang boleh terurai dengan sendirinya tanpa mencemar persekitaran dan mengganggu kehidupan ekosistem. Oleh yang demikian, biojisim boleh dikelaskan sebagai salah satu sumber tenaga yang boleh diperbaharui yang lestari dan mesra alam.

Biojisim terbina daripada campuran organik kompleks seperti karbohidrat, lignin, lemak, protin dan pelbagai unsur mineral. Rajah 2.2 memaparkan komponen-komponen utama binaan struktur biojisim tumbuhan. Bagi biojisim tumbuhan, struktur ini terbina melalui komponen utama seperti dinding sel (selulosa, hemiselulosa dan lignin), ekstraktif organik dan abu mineral. Komponen-komponen ini merupakan komposisi utama yang wujud di dalam setiap biojisim pada peratusan komponen yang berbeza-beza di antara setiap biojisim. Pada kebiasaannya, biojisim tumbuhan mengandungi di antara 85 hingga 90 % bagi komponen selulosa, hemiselulosa dan lignin manakala, selebihnya merupakan ekstraktif organik dan bahan tak organik (Pasangulapati et al., 2012). Perbezaan peratusan yang wujud menzahirkan pelbagai struktur kimia bagi setiap biojisim, dan secara tidak langsung mengvariasikan darjah kereaktifan penjanaan tenaganya. Secara umumnya, dinding sel membantu dalam membentuk dan menguatkan struktur tumbuhan. Dinding sel terbina daripada lignin dan gabungan komponen karbohidrat (selulosa dan hemiselulosa). Kehadiran selulosa dan hemiselulosa membina atau membentuk kepada keseluruhan struktur tumbuhan manakala, lignin menyumbang kepada kekuatan mekanikal serta memberi perlindungan semulajadi kepada struktur tumbuhan.



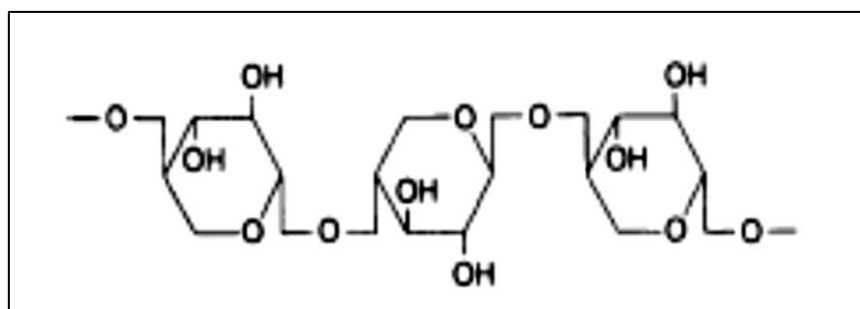
Rajah 2.2: Komponen utama binaan struktur biojisim tumbuhan (Mohan et al, 2006)

Selulosa merupakan struktur polimer utama kepada dinding sel tumbuhan, yang hadir seperti seakan-akan benang panjang seperti serat yang dipanggil gentian-mikro. Komponen ini merupakan sejenis polisakarida seragam. Struktur molekular bagi selulosa dipapar seperti Rajah 2.3. Formula molekulnya ialah  $(C_6H_{12}O_6)_n$ , dimana darjah pempolimerannya,  $n$ , adalah luas dan julatnya meliputi daripada ribu kepada berpuluh-puluh ribu. Struktur yang panjang menghasilkan ikatan semulajadi antara setiap gentian-mikro, secara tidak langsung membentuk ikatan inter-molekular dan intra-molekular hidrogen yang kuat. Tambahan, ikatan matrik gentian-mikro ini turut dibentuk oleh komponen hemiselulosa dan lignin (Goyal et al., 2008).



Rajah 2.3: Struktur molekular selulosa (Goyal et al., 2008)

Hemiselulosa pula merupakan cabang polisakarida yang terdiri daripada gula monomer seperti glukosa, manosa, galaktosa, xilosa dan arabinosa. Struktur molekular bagi hemiselulosa dipapar seperti Rajah 2.4. Bagi hemiselulosa, formula molekulnya ialah  $(C_5H_8O_4)_n$ , dimana darjah pempolimerannya,  $n$ , adalah di antara 50 ke 200, iaitu lebih kecil berbanding selulosa. Hal ini menyebabkan hemiselulosa dilihat lebih mudah terurai berbanding selulosa. Komponen ini tidak membentuk gentian-mikro namun, komponen ini mampu membina ikatan hidrogen antara selulosa dan lignin (rantai silang glukon) (Goyal et al., 2008).



Rajah 2.4: Struktur molekular hemiselulosa (Goyal et al., 2008)