

**ABU JERAMI DALAM KACA, SERAMIK KACA DAN KOMPOSIT  
POLIMER**

**oleh**

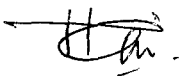
**HAMISAH BINTI ISMAIL**

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

**Jun 2010**

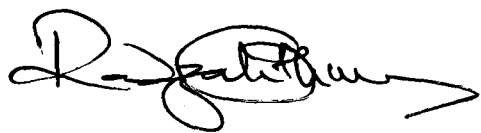
Saya isytiharkan bahawa kandungan yang dibentangkan di dalam tesis ini adalah hasil kerja saya sendiri dan telah dijalankan di Universiti Sains Malaysia kecuali dimaklumkan sebaliknya. Tesis ini juga tidak pernah disertakan untuk ijazah yang lain sebelum ini.

Disaksikan Oleh:



Tandatangan Calon

Nama Calon: Hamisah Binti Ismail



Tandatangan Penyelia

Prof. Radzali Bin Othman

## PENGHARGAAN

Syukur ke hadrat Ilahi dengan limpah kurniaan-Nya dapat menyiapkan projek penyelidikan Sarjana ini dengan sempurna.

Setinggi penghargaan diucapkan kepada penyelia projek iaitu Prof. Radzali Othman yang sentiasa memantau projek ini di samping bersama-sama mengerah idea dan memberi komitmen sepenuhnya sepanjang projek ini dijalankan hingga ke penghujungnya iaitu dalam penulisan tesis sarjana. Jutaan terima kasih kepada semua pensyarah dan kakitangan teknikal Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral, terutamanya, Encik Sharul Ami, Encik Mokhtar, Encik Gnanasegaram dan yang lain-lain yang telah banyak membantu dalam memberi tunjuk ajar dan komen berbentuk teknikal. Terima kasih kepada semua juruteknik yang banyak memberi nasihat dan tunjuk ajar serta menolong dalam menyiapkan projek ini.

Terima kasih tak terhingga kepada kedua ibu bapa saya yang memahami dan memberi bantuan dari segi kewangan serta nasihat yang berguna.

Kepada rakan – rakan yang turut bertungkus lumus dalam memberi idea dan tunjuk ajar , terima kasih di atas bantuan anda yang diberikan secara langsung atau tidak langsung.

Sekian, wasalam.

## KANDUNGAN

	<b>Muka surat</b>
PENGHARGAAN	ii
KANDUNGAN	iii
SENARAI JADUAL	ix
SENARAI RAJAH	xi
SENARAI SINGKATAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvii
<b>BAB 1 : PENGENALAN</b>	
1.1 Pengenalan	1
<b>Bahagian A : Pencirian Jerami dan Abu Jerami</b>	
1.2 Jerami dan Abu Jerami	1
<b>Bahagian B : Kaca dan Seramik Kaca</b>	
1.3 Kaca dan Seramik Kaca	3
<b>Bahagian C : Komposit Matriks Polimer</b>	
1.4 Komposit Matriks Polimer	5
1.5 Penyataan Masalah	6
1.6 Objektif Kajian	7
1.7 Pendekatan Penyelidikan	7
<b>BAB 2 : SOROTAN KAJIAN</b>	
2.1 Pengenalan	11
<b>Bahagian A : Jerami dan Abu Jerami</b>	
2.2 Tanaman Padi di Malaysia	11

2.3 Jerami Padi	15
2.3.1 Penggunaan Abu Jerami	18

## **Bahagian B : Kaca dan Seramik Kaca**

2.4 Sejarah Perkembangan Kaca dan Seramik Kaca	19
2.5 Teori Pembentukan Kaca	21
2.5.1 Teori Struktur Pembentuk Kaca	21
2.5.1.1 Kriteria Nisbah Jejari Goldschmidt	21
2.5.1.2 Hipotesis Rangkaian Rawak Zachariasen	22
2.5.2 Struktur Kaca	24
2.5.3 Pengkelasan Hasil Kaca	25
2.6 Oksida Pembentuk Kaca	26
2.6.1 Pembentuk Rangkaian	26
2.6.1.1 Silika, $\text{Si}_2\text{O}$	26
2.6.2 Pengubahsuai Rangkaian	27
2.6.2.1 Natrium Oksida, $\text{Na}_2\text{O}$	27
2.6.2.2 Kalsium Oksida, $\text{CaO}$	27
2.6.3 Oksida Perantara	28
2.6.3.1 Alumina, $\text{Al}_2\text{O}_3$	28
2.7 Peleburan Kaca	28
2.8 Seramik kaca	30
2.8.1 Olahan Haba	30

## **Bahagian C : Komposit Matriks Polimer**

2.9 Pengenalan dan Sejarah Komposit	33
2.10 Definisi dan Pengkelasan Komposit	33
2.11 Komponen- Komponen dalam Komposit	35
2.11.1 Matriks	35
2.11.1.1 Polimer Termoplastik Polipropilena sebagai Bahan Matriks	38
2.11.1.1 (a) Pengenalan terhadap Polipropilena	38

2.11.1.1 (b) Kajian Struktur dan Sifat Polipropilena	39
2.12 Pengisi	41
2.12.1 Silika	42
2.12.2 Ilit	42
2.13 Penyebatian	42
2.13.1 Penyebatian dengan Pencampur Dalaman	43
2.14 Pengacuanan Mampatan	44

### **BAB 3 : EKSPERIMENTASI DAN METODOLOGI**

3.1 Pengenalan	45
----------------	----

#### **Bahagian A : Jerami dan Abu Jerami**

3.2 Penyediaan Abu Jerami	45
---------------------------	----

#### **Bahagian B : Kaca dan Kaca Seramik**

3.3 Bahan Tambah untuk Kelompok Kaca	48
3.3.1 Pengiraan Kelompok Kaca	49
3.4 Pencirian Abu Jerami	50
3.4.1 Analisis Jerami dan Abu Jerami dengan Pendarfluor Sinar-X (XRF)	50
3.4.2 Analisis Pembelauan Sinar-X (XRD)	51
3.4.3 Analisis Terma DTA/TG	52
3.4.4 Ujian Spektroskopi Infra-Merah (FTIR)	55
3.4.5 Ujian Ketumpatan Pukal	56
3.5 Penyediaan Acuan Keluli dan Kelompok Bahan Mentah	57
3.5.1 Penyediaan Acuan Keluli	58
3.5.2 Penyediaan Kelompok Bahan Mentah	58
3.6 Peleburan Kaca	59
3.7 Pencirian Sifat-Sifat Kaca	60
3.7.1 Analisis Kalorimetri Imbasan Kebezaan (DSC)	60
3.7.2 Ujian Kekerasan Knoop	61

3.8	Olahan Haba	62
3.9	Kajian Morfologi dengan Menggunakan FESEM	63
<b>Bahagian C : Komposit Matriks Polimer</b>		
3.10	Bahan Mentah	66
3.10.1	Polipropilena	66
3.10.2	Pengisi	66
3.11	Ujian ke atas Pengisi	67
3.11.1	Analisis Saiz Partikel	67
3.12	Kaedah Pemprosesan Bahan Mentah dan Penyediaan Sampel	68
3.12.1	Penyebatian	68
3.12.2	Proses Pengacuanan Mampat Panas	70
3.13	Ujian ke atas Komposit Matriks Polimer (KMP)	74
3.13.1	Ujian Kekerasan	74
3.13.2	Ujian Tegangan	75
<b>BAB 4 : KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>		
4.1	Pengenalan	78
<b>Bahagian A: Jerami dan Abu Jerami</b>		
4.2	Penghasilan Abu Jerami	78
4.2.1	Pemerhatian ke atas Abu Jerami yang Terhasil	78
4.2.2	Keputusan Abu yang Terhasil	81
4.2.3	Analisis Pendarflour Sinar-X (XRF)	82
4.2.4	Analisis Pembelauan Sinar-X (XRD)	84
4.2.5	Analisis Terma (DTA/TG)	86
4.2.6	Ujian Spektroskopi Infra-Merah (FTIR)	88
4.2.7	Kajian Morfologi Jerami dan Abu Jerami	92
<b>Bahagian B : Kaca dan Seramik Kaca</b>		
4.3	Penyediaan Bahan Mentah	93

4.4 Pengiraan Formula bagi Kaca AJ, AJPS dan PS	93
4.5 Peleburan Kaca	95
4.6 Analisis Kalorimeter Imbasan Kebezaan (DSC)	97
4.7 Olahan Haba	99
4.8 Pencirian Sifat-sifat Kaca dan Kaca Seramik yang Terhasil	100
4.8.1 Analisis Pembelauan Sinar-X (XRD)	100
4.8.2 Ujian Ketumpatan	101
4.8.2.1 Ketumpatan Kaca dan Kaca Seramik melalui Kaedah Pycnometer Gas dan Prinsip Archimedes	101
4.8.3 Ujian Kekerasan Knoop	104
4.8.4 Kajian Morfologi	104
<b>Bahagian C : Komposit Matriks Polimer</b>	
4.9 Penghasilan Komposit Matriks Polimer	109
4.9.1 Pencirian ke atas Pengisi	110
4.9.1.1 Analisis Saiz Partikel	110
4.9.1.2 Kajian Morfologi Pengisi	112
4.9.2 Analisis Ujian Ketumpatan	113
4.9.3 Analisis Ujian Kekerasan	116
4.9.4 Ujian Tegangan	117
4.9.4 (a) Analisis Kekuatan Tegangan Komposit Polipropilena	118
4.9.4 (b) Analisis Modulus Young Komposit Polipropilena	120
4.9.4 (c) Analisis Pemanjangan pada Takat Alah Komposit Polipropilena	121
4.10 Kajian Morfologi Permukaan Gagal Ujian Tegangan	123
<b>BAB 5 : KESIMPULAN DAN CADANGAN</b>	
5.1 Kesimpulan	130
5.2 Cadangan	133
<b>SENARAI RUJUKAN</b>	134



## **LAMPIRAN**

Lampiran 1: Contoh pengiraan bagi komposisi kelompok kaca 100% abu jerami (AJ).	144
Lampiran 2: Contoh pengiraan bagi komposisi kelompok kaca 50% abu jerami + 50% pasir silika (AJPS).	148
Lampiran 3: Contoh pengiraan bagi komposisi kelompok kaca 100% pasir silika (PS).	152
Lampiran 4: Keputusan ujian saiz partikel bagi abu jerami	155
Lampiran 5: Keputusan ujian saiz partikel bagi silika	156
Lampiran 6: Keputusan ujian saiz partikel bagi ilit	157
<b>PENERBITAN</b>	<b>158</b>

## SENARAI JADUAL

2.1	Perbandingan ciri-ciri morfologi dan fisiologi Oriza Sativa.	12
2.2	Penerangan mengenai selulosa, hemiselulosa dan lignin.	17
2.3	Keputusan analisis XRF yang dilakukan pada suhu 800-900 °C.	19
2.4	Sifat-sifat asas polimer polipropilena	40
3.1	Unsur bendasing yang hadir (peratus berat) dalam bahan- bahan mentah kaca abu jerami.	48
3.2	Komposisi kaca bagi menghasilkan kaca abu jerami berdasarkan peratus berat.	49
3.3	Formulasi penyebatian dengan pencampur dalaman Brabender Plasticorder.	68
3.4	Parameter yang digunakan semasa proses penyebatian dengan pencampur dalaman Brabender Plasticorder PLE 331.	70
3.5	Penerangan fungsi bagi setiap bahagian pengacuanan mampat panas.	71
3.6	Parameter proses pengacuanan mampat panas.	73
3.7	Dimensi dan bentuk spesimen ujian mengikut spesifikasi dan piawaian ASTM.	74
3.8	Spesifikasi bagi ujian tegangan.	75
4.1	Peratusan abu yang terhasil melalui proses pembakaran pada suhu 500, 700, 900 dan 1050 °C.	81
4.2	Peratusan komposisi unsur-unsur yang hadir dalam jerami dan abu jerami yang dibakar pada suhu 500, 700, 900 dan 1050 °C.	83
4.3	Ringkasan formula untuk mengira bahan mentah yang diperlukan untuk menghasilkan 250 gram kaca.	94
4.4	Berat jisim bahan mentah yang diperlukan bagi menghasilkan kaca AJ, AJPS dan PS.	95
4.5	Ketumpatan komposit dengan pertambahan jumlah pengisi ke dalam matriks polimer polipropilena	115
4.6	Kekerasan komposit dengan pertambahan jumlah pengisi ke dalam matriks polimer polipropilena	117

4.7	Peraturan penyusutan kekuatan tegangan dengan penambahan jumlah pengisi yang digunakan di dalam komposit polipropilena.	119
4.8	Peraturan peningkatan Modulus Young dengan penambahan jumlah pengisi yang digunakan di dalam komposit polipropilena.	121

## SENARAI RAJAH

1.1	Carta alir tatacara penghasilan dan pencirian abu jerami	8
1.2	Carta alir tatacara penghasilan dan ujian untuk sampel kaca dan seramik kaca.	9
1.3	Carta alir tatacara penghasilan dan ujian bagi komposit matriks polimer (KMP).	10
2.1	Pertumbuhan padi dari peringkat anak padi, 45 hari, 65 hari dan 100 hari iaitu peringkat matang dan sedia untuk dituai.	13
2.2	Kitaran hayat bagi pokok padi	14
2.3	Morfologi jerami padi secara terperinci; jerami padi (a), keratan rentas batang (b), keratan rentas dalam daun (c) dan bahagian atas jerami padi (d)	15
2.4	Keratan rentas struktur bagi jerami padi	16
2.5	Struktur asas bagi sistem kaca silika	25
2.6	Jadual olahan haba untuk menghasilkan seramik kaca (McMillan, 1964)	31
2.7	Kadar penukleusan homogen dan pertumbuhan hablur di dalam cecair likat (McMillan, 1964)	32
2.8	Pengkelasan komposit berdasarkan bentuk bahan terserak/ bahan tetulang yang digunakan (Sheldon 1982)	35
2.9	Jenis-jenis polimer yang digunakan sebagai bahan matriks	36
2.10	Tindakbalas penukaran monomer propilena kepada polimer polipropilena	39
3.1	Jerami yang telah siap dipotong kecil (i) dan jerami selepas dikisar menggunakan mesin pengisar (ii).	46
3.2	Profil pembakaran jerami pada suhu 500, 700, 900 dan 1050 °C	47
3.3	Skema bagi alat analisis kebezaan terma	54
3.4	Profil pembakaran untuk DTA/TG bagi jerami	54
3.5	Jadual peleburan bagi ketiga-tiga jenis komposisi kaca abu jerami	59
3.6	Profil pembakaran untuk DSC bagi ketiga-tiga jenis kaca abu	61

	jerami	
3.7	Pelekuk bentuk intan bagi ujian Knoop (Mustafa, 1991)	62
3.8	Profil suhu melawan masa bagi proses olahan haba sewaktu menghasilkan seramik kaca daripada kaca abu jerami.	63
3.9	Lakaran skema lengkap untuk operasi FESEM	64
3.10	Skema pengacuanan mampat panas	72
4.1	Pemerhatian ke atas abu jerami selepas dibakar pada suhu 500, 700, 900 dan 1050 °C.	80
4.2	Perbandingan corak pembelauan sinar-X (XRD) di antara abu jerami pada suhu 500 dan 700 °C	85
4.3	Pembelauan sinar-X abu jerami pada suhu 900 dan 1050 °C.	86
4.4	Keluk DTA/TG bagi jerami	87
4.5	Keluk analisis ujian spektroskopi infra-merah bagi jerami	90
4.6	Keluk analisis ujian spektroskopi infra-merah bagi abu jerami	91
4.7	Mikrograf bagi jerami (a) dan abu jerami (b) dengan pembesaran 500 kX.	92
4.8	Kaca-kaca yang terhasil dengan komposisi berbeza.	95
4.9	Termogram DSC bagi kaca AJ, AJPS dan PS dengan kadar suhu kenaikan yang digunakan adalah 10°C/min.	98
4.10	Seramik kaca terhasil selepas dikenakan proses olahan haba.	100
4.11	Pembelauan sinar-X bagi seramik kaca AJ, AJPS dan PS	101
4.12	Ketumpatan kaca dan seramik kaca yang ditentukan menggunakan kaedah gas pycnometer	102
4.13	Ketumpatan kaca dan seramik kaca yang ditentukan menggunakan prinsip Archimedes	103
4.14	Kekerasan bagi kaca dan seramik kaca bagi AJ, AJPS dan PS.	104
4.15	Skema menerangkan permukaan patah untuk kajian mikrograf	105
4.16	Permukaan patah bagi seramik kaca AJ, PS dan AJPS dengan menggunakan pembesaran 5.0 K X	106, 107
4.17	Keputusan analisis saiz partikel bagi abu jerami (a), silika (b) dan	111

	ilit (c).	
4.18	Pemerhatian morfologi bagi serbuk partikel abu jerami dan silika	112
4.19	Pemerhatian morfologi bagi serbuk partikel ilit	113
4.20	Ketumpatan bagi abu jerami, silika dan ilit yang digunakan sebagai pengisi di dalam komposit matriks komposit.	114
4.21	Ketumpatan bagi komposit matriks polimer yang menggunakan pengisi abu jerami, silika dan ilit.	115
4.22	Kekerasan bagi komposit polipropilena menggunakan pengisi abu jerami, silika dan ilit	117
4.23	Graf kekuatan tegangan melawan pengisi bagi komposit polipropilena yang menggunakan abu jerami, silika dan ilit sebagai pengisi	119
4.24	Modulus Young bagi komposit polipropilena bagi pengisi abu jerami, silika dan ilit.	121
4.25	Pemanjangan sebelum putus bagi komposit polipropilena yang menggunakan abu jerami, silika dan ilit sebagai pengisi	123
4.26	Pemerhatian morfologi bagi matriks polipropilena dengan dua pembesaran yang berbeza 200X dan 500X	124
4.27	Pemerhatian morfologi bagi komposit polipropilena diisikan 10 % berat abu jerami, silika dan ilit dengan pembesaran 500X.	125
4.28	Pemerhatian morfologi bagi komposit polipropilena diisikan 20 % berat abu jerami, silika dan ilit dengan pembesaran 500X	126
4.29	Pemerhatian morfologi bagi komposit polipropilena diisikan 30% abu jerami, silika dan ilit dengan pembesaran 500X	128
4.30	Pemerhatian morfologi bagi komposit polipropilena diisikan 40% abu jerami, silika dan ilit dengan pembesaran 500X	129

## SENARAI SINGKATAN

SINGKATAN	NAMA PENUH
KMP	Komposit matriks polimer
PP	Polipropilena
KML	Komposit matriks logam
KMS	Komposit matriks seramik
XRF	Ujian pendarfluor sinar-X
FESEM	Mikroskop elektron imbasan pancaran medan
DTA/TG	Analisis terma kebezaan/termogravimetri
FTIR	Ujian spektroskopi infra-merah
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	Natrium karbonat
$\text{CaCO}_3$	Kalsium karbonat
$\text{Al}_2\text{O}_3$	Alumina
$\text{Y}_2\text{O}_3$	Itrium oksida
DSC	Kalorimetri imbasan kebezaan
Si	Silikon
$\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$	Soda-kapur-silika
PPH	Polipropilena homopolimer
PPKR	polipropilena kopolimer rawak
ASTM	American Society for Testing and Materials
AJ	Abu jerami
PS	Pasir silica
AJPS	Abu jerami dan pasir silica

## **ABU JERAMI DALAM KACA, SERAMIK KACA DAN KOMPOSIT POLIMER**

### **ABSTRAK**

Kajian ini merangkumi tiga bahagian utama iaitu, mengenai pencirian jerami dan abu jerami, abu jerami di dalam kaca serta seramik kaca dan abu jerami sebagai pengisi dalam komposit polimer. Jerami telah dibakar pada beberapa suhu tetap iaitu 500, 700, 900 dan 1050 °C dan kadar pembakaran adalah 10 °C/min, manakala masa rendaman yang digunakan adalah selama satu jam. Terdapat lima jenis analisis yang dilakukan ke atas jerami dan abu jerami termasuklah pendarfluor sinar-X (XRF), analisis pembelauan sinar-X (XRD), analisis terma kebezaan/termogravimetri (DTA/TG), spektroskopi infra-merah (FTIR) dan mikroskop elektron imbasan pancaran medan (FESEM). Jerami yang dibakar pada suhu 1050 °C mengandungi silika yang paling tinggi iaitu 79 % berat berbanding dengan suhu-suhu lain. Abu jerami telah digunakan di dalam penghasilan kaca bagi menggantikan silika yang merupakan komponen utama kaca dan biasanya disumbangkan oleh pasir silika. Tiga jenis kaca telah dihasilkan iaitu kaca AJ yang menggunakan sepenuhnya abu jerami sebagai sumber silika, kaca AJPS yang menggunakan campuran 50 % berat abu jerami dan 50 % berat pasir silika dan kaca PS iaitu kaca lazim yang menggunakan pasir silika sepenuhnya. Jenis ujian yang dilakukan ke atas ketiga-tiga jenis kaca ini adalah ujian ketumpatan dan kekerasan. Kaca-kaca ini kemudiannya dianalisis secara terma (DSC) untuk menentukan titik penukleusan dan penghabluran bagi proses olahan haba bagi menukarkan kaca menjadi seramik kaca. Ujian yang dilakukan ke atas seramik kaca adalah ujian ketumpatan, kekerasan dan



XRD serta analisis morfologi pada permukaan patah. Kaca dan seramik kaca AJPS menunjukkan ketumpatan dan kekerasan yang paling tinggi berbanding dengan kaca AJ dan PS. Ketumpatan bagi kaca dan seramik kaca AJPS ialah  $2.6949 \text{ gsm}^{-3}$  dan  $2.7349 \text{ gsm}^{-3}$ , manakala kekerasan Knoop bagi kaca dan seramik kaca AJPS adalah 648.58 HK dan 704.49 HK. Abu jerami turut diuji sebagai pengisi di dalam komposit polimer dan silika serta ilit turut digunakan sebagai pengisi bagi tujuan perbandingan sifat dengan abu jerami. Ujian yang dilakukan bagi ketiga-tiga pengisi ini adalah ujian saiz partikel dan ketumpatan. Mesin pencampur dalaman *Brabender Plasticorder* pada suhu  $190 \text{ }^{\circ}\text{C}$  telah digunakan untuk proses pencampuran di antara polimer polipropilena (PP) dan pengisi dengan kelajuan putaran rotor pada 50 rpm untuk menghasilkan komposit dengan jumlah pengisi yang telah ditetapkan iaitu di antara 10 % hingga 40 %. Ujian-ujian yang telah dijalankan ke atas komposit termasuklah ujian kekerasan, ketumpatan dan tegangan serta analisis morfologi untuk permukaan patah selepas ujian tegangan. Komposit polimer yang menggunakan ilit sebagai pengisi (40 % jumlah pengisi) menunjukkan sifat yang terbaik berbanding dengan pengisi abu jerami dan silika, iaitu bagi ujian ketumpatan  $2.1167 \text{ gcm}^{-3}$ , manakala bagi ujian kekerasan yang diukur menggunakan durometer jenis D memberi nilai 77.3. Ujian tegangan pula memberikan kekuatan tegangan maksimum 23.91 MPa, modulus Young sebanyak 2511 MPa dan nilai bacaan pemanjangan sebelum takat putus adalah 3.11 %.

# **RICE STRAW ASH IN GLASSES, GLASS CERAMICS AND POLYMER COMPOSITES**

## **ABSTRACT**

This work consists of three main parts; characterization of rice straw and rice straw ash, rice straw ash in glasses and glass ceramics, and rice straw ash as a filler in polymer composites. Rice straws were burnt at fix temperatures of 500, 700, 900 and 1050 °C, heating rate of 10°C/min, and soaking time of one hour. Tests that were carried included X-ray fluorescence (XRF), X-ray diffraction (XRD), differential thermal analysis/thermal gravimetry (DTA/TG), fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and field emission scanning electron microscopy (FESEM). A rice straw which is burnt at 1050 °C is found to have more silica content, which is 79 % in weight, compared to others temperature. Rice straw ash was used in glass making as a replacement for silica which is the main component in glass and normally resourced from silica sand. Three types of glasses produced, i.e AJ glass which used rice straw ash entirely as the silica source, AJPS glass used a mixture of 50 weight % of ash and 50 by % weight silica sand, and PS glass which were used silica sand entirely. Tests conducted on these three glasses were density and hardness tests. The parent glasses were analyzed by thermal analysis (DSC) to determine the nucleation and crystallization temperatures for subsequent heat treatment to produce glass ceramics. The tests for glass ceramics were density, hardness, XRD and also morphological analysis of the fracture surface. AJPS shows the highest density and hardness values, followed by PS and AJ glass and glass

ceramics. The density for AJPS glass and glass ceramics is  $2.6949 \text{ gcm}^{-3}$  and  $2.7349 \text{ gcm}^{-3}$ , whilst the Knoop hardness is 648.58 HK and 704.49 HK respectively. Rice straw ash was also used as a filler in polymer composites and silica and this was compared to illite. Particle size and density analyses were carried out for all the fillers. The fillers and polypropylene (PP) matrix were compounded using the Brabender Plasticorder internal mixer at a temperature and rotor speed of  $190^{\circ}\text{C}$  and 50 rpm respectively. The filler loading was varied between 10% and 40% by weight. Various mechanical testing were carried out such as hardness, density, tensile and also morphological examination of the fractured surfaces. Polymer composites using illite as the filler (40 % weight) showed an excellent result compared to rice straw ash and silica filler. The density of the composite with 40 % weight illite is  $2.1167 \text{ gcm}^{-3}$ , whereas the hardness as measured by a durometer type D is 77.3, tensile strength is 23.91 MPa, Young Modulus is 2511 MPa and result for elongation at break is 3.11 %.

## BAB 1

ns

### PENGENALAN

#### 1.1 Pengenalan

Kajian ini terbahagi kepada tiga bahagian utama iaitu bahagian A, B dan C. Bahagian A adalah mengenai pencirian jerami dan abu jerami. Bahagian B pula adalah mengenai kegunaan abu jerami dalam penghasilan kaca dan seramik kaca sebagai alternatif menggantikan pasir silika (dan juga oksida-oksida lain) dan seterusnya bahagian C adalah mengenai penggunaan abu jerami sebagai pengisi di dalam komposit matriks polimer (KMP), polimer polipropilena (PP) bertindak sebagai matriks.

Secara tidak langsung, kajian ini turut menjadi penting seiring dengan kemelut bekalan beras yang tidak mencukupi yang melanda dunia sejak beberapa bulan kebelakangan yang lepas (Utusan Malaysia, 13 Mei 2008). Mengikut saranan mantan Perdana Menteri Malaysia, Tun Abdullah Ahmad Badawi, negara ini bercadang membuka jelapang padi yang baru di negeri Sarawak (Utusan Malaysia, 13 Mei 2008). Ini sudah pasti akan membawa kepada peningkatan jumlah jerami (dan juga sekam) padi yang terhasil.

#### **Bahagian A : Pencirian Jerami dan Abu Jerami**

##### 1.2 Jerami dan Abu Jerami

Padi merupakan antara sumber pendapatan utama bagi sebahagian penduduk di Semenanjung Malaysia amnya. Pelbagai teknik serta kaedah digunakan dalam meningkatkan produktiviti pengeluaran serta jaminan mutu yang telah digariskan oleh

pihak berkuasa seperti Projek Pembangunan Pertanian Bersepadu (IADP), Padiberas Nasional Berhad (BERNAS), serta beberapa agensi kerajaan yang lain.

Jerami merupakan sebahagian daripada pokok padi dan lebih dikenali sebagai batang pokok padi. Jerami yang tertinggal akan dibakar untuk tujuan penanaman padi yang seterusnya. Menurut Matsumura dan rakan-rakan (2005), secara umumnya jerami banyak digunapakai dalam pelbagai bidang di mana peratus penggunaan jerami adalah mengikut pecahan seperti berikut, diguna semula dalam sawah (dibakar) sebanyak 61.5 %, makanan haiwan sebanyak 11.6 %, baja atau kompos sebanyak 10.1 %, lantai kandang lembu sebanyak 6.5 %, pembakaran sebagai sumber tenaga sebanyak 4.6 %, bahan pelitup untuk kawasan padang ternakan sebanyak 4 %, kraftangan sebanyak 1.3 % dan lain-lain sebanyak 0.3 %.

Abu jerami terhasil apabila jerami dibakar pada suhu tertentu samada di dalam relau secara terbuka atau tertutup. Penggunaan abu jerami secara menyeluruh masih kurang berbanding dengan abu sekam padi. Abu sekam telah digunakan dalam pelbagai kegunaan seperti konkrit (Nehdi dan rakan-rakan, 2003 ), tembikar putih (Prasad dan rakan-rakan, 2001) dan aktiviti bermangkin (Ahmed dan Adam, 2007).

Sorotan kajian juga menampilkan banyak kajian mengenai abu sekam padi (Lakshmi dan rakan-rakan, 2008; Kurama dan Kurama, 2008; Siqueira dan rakan-rakan, 2008; Adam dan rakan-rakan, 2006; Della dan rakan-rakan, 2002; Feng dan rakan-rakan, 2004) berbanding dengan abu jerami padi. Justeru itu, kajian ini bertujuan memperincikan tentang jerami dan abunya daripada jenis padi yang terdapat di Malaysia serta mempolopori kegunaannya dalam penghasilan kaca/seramik kaca dan komposit polimer.

## **Bahagian B : Kaca dan Seramik Kaca**

### **1.3 Kaca dan Seramik Kaca**

Kaca secara umumnya ditakrifkan sebagai bahan tak berhablur yang lazimnya terhasil daripada proses peleburan. Antara ciri-ciri kaca ialah ianya lutsinar dan tidak mudah terkakis permukaannya. Terdapat pelbagai jenis kaca seperti kaca oksida, halida dan kalkogenida. Kaca semulajadi seperti obsidian telah digunakan semenjak zaman batu lagi (Shelby, 2005). Kaca telah diguna sebagai perhiasan wanita di Mesir pada tahun 1480 sebelum Masihi lagi kerana permukaan yang bersinar sama seperti berlian. Pembuatan kaca yang pertama dipercayai telah bermula pada 3000 tahun sebelum Masihi di sekitar Iraq dan Syria (Sahar, 1998).

Teknologi penambahbaikan pembuatan kaca telah berkembang pesat dari segi formula komposisi, peleburan dan proses pembentukan. Pada abad pertama sebelum Masihi, teknik peniupan kaca telah berkembang dan kaca telah digunakan secara meluas. Ketika zaman Empayar Rom, seni membentuk kaca seperti bentuk botol dan pasu telah mula berkembang. Sementara itu, komposisi kaca berasaskan abu kayu telah pun berkembang di kawasan utara Perancis, bermula pada abad 12 sehingga 18. Perkembangan ini telah berubah mengikut masa serta kedudukan geografi (Frank, 1982).

Venice, sebuah bandar yang terletak di Itali adalah merupakan pusat pembuatan kaca pada abad yang ke-14. Itali merupakan negara yang telah memperkenalkan teknik-teknik baru dalam penghasilan kaca. Penghasilan kaca telah menjadi sumber pendapatan utama negara Itali yang telah menjadi pengeksport utama dalam industri pinggan mangkuk berasaskan kaca, cermin dan bahan mewah lain (Sahar, 1998). Selaras dengan teknologi yang ada, pelbagai bahan berjaya diciptakan antaranya termometer kaca, kaca berwarna dan kaca penyerap sinar ultra lembayung (Rider, 1965). Terdapat pelbagai

jenis kaca telah berjaya dihasilkan antaranya gentian kaca, kaca leper, produk pergigian dan kaca pateri (Shelby, 2005).

Menurut McMillan (1964), seramik kaca adalah bahan polihablur yang terhasil daripada proses penghabluran kaca yang dikawal. Kajian awal mengenai seramik kaca dipelopori oleh seorang ahli kimia Perancis, Reaumur yang telah menghasilkan bahan polihablur daripada kaca (McMillan, 1964). Reaumer telah berjaya menukarkan kaca kepada seramik kaca, tetapi beliau tidak dapat mengawal proses penghabluran tersebut. Menurut McMillan (1964), S. D. Stookey daripada makmal penyelidikan Corning di Amerika Syarikat telah berjaya menukar kaca menjadi seramik kaca dan mempunyai ketahanan kimia yang baik, malah mempunyai rintangan kejutan termal yang tinggi.

Tujuan utama penghasilan seramik kaca daripada kaca adalah untuk menghasilkan struktur hablur dalam kaca induk. Kehadiran struktur hablur akan meningkatkan sifat seramik kaca berbanding dengan kaca. Kenyataan di atas dibuktikan oleh Park dan Heo (2002), iaitu sifat seramik kaca adalah lebih baik berbanding kaca induk dari segi sifat mekanik seperti kekerasan, ketahanan dan kekuatan lentur ditingkatkan dengan kehadiran hablur dalam seramik kaca.

Keberkesanan penyediaan bahan seramik kaca bergantung kepada pembentukan nukleus yang mencukupi untuk tersebar dengan seragam di dalam kaca sehingga fasa hablur tumbuh di dalam kaca induk (Zdenek, 1986). Salutan seramik kaca digunakan dalam salutan kegunaan industri serta aplikasi dalam kejuruteraan (Majumdar dan Jana, 2001).

## **Bahagian C : Komposit Matriks Polimer**

### **1.4 Komposit Matriks Polimer**

Menurut Callister (2000), bahan komposit secara umumnya terdiri daripada dua fasa iaitu matriks dan fasa tersebar (*dispersed phase*). Bahan matriks komposit terbahagi kepada tiga kategori utama berdasarkan matriks yang digunakan. Apabila logam digunakan sebagai matriks di dalam komposit, maka komposit yang terhasil dikenali sebagai komposit matriks logam (KML). Seramik juga boleh bertindak sebagai matriks di dalam komposit dan dikenali sebagai komposit matriks seramik (KMS) dan apabila polimer diguna sebagai matriks di dalam komposit maka ia akan dipanggil komposit matriks polimer (KMP).

Penggunaan polimer sebagai matriks sangat meluas, selari dengan bahan yang digunakan untuk fasa tersebar iaitu pengisi adalah daripada pelbagai bahan organik dan bukan organik (Hattutowa dan rakan-rakan, 2002). Bahan pengisi yang semakin mendapat perhatian pada masa sekarang adalah bahan selulosa seperti jerami (Han dan rakan-rakan, 2003), jut (Rana dan rakan-rakan, 2003), kayu (Bledzki dan Faruk, 2003) dan sabut kelapa (Brahmakumar dan rakan-rakan, 2005).

Contoh-contoh pengisi yang selalu digunakan di dalam komposit matriks polimer ialah alumina (Hanemann, 2007), kalsium karbonat (Gorna dan rakan-rakan, 2008), silika (Liu dan Kontopoulou, 2006), titanium oksida (Supaphol dan rakan-rakan, 2007), talkum (Hadal dan rakan-rakan, 2004), bentonit (Othman dan rakan-rakan, 2006), karbon hitam (Takeichi dan rakan-rakan, 2008), abu sekam padi (de Costa dan rakan-rakan 2002) dan mika (Jiang dan rakan-rakan, 2002).



## 1.5 Penyataan Masalah

Penanaman padi yang kerap iaitu sebanyak tiga kali setahun telah menyebabkan lambakan jerami padi yang banyak di petak-petak sawah. Jerami padi adalah merupakan bahan buangan setelah berakhirnya musim menuai padi. Jerami yang terbiar di tapak sawah itu akan dibakar secara terbuka oleh para petani dan pembakaran tersebut telah mengundang pelbagai masalah alam sekitar dan kesihatan. Sebagai contoh, pembakaran jerami secara terbuka telah menyebabkan jerebu. Oleh itu jarak penglihatan pemandu amat terhad telah menyebabkan berlakunya kemalangan jalanraya yang melibatkan banyak kenderaan di Kulim Expressway pada tahun 2006 (Utusan Malaysia, 28 Ogos 2006). Pembakaran jerami bukan sahaja mengakibatkan jerebu dan pencemaran tetapi abu silika yang terhasil adalah merupakan bahan toksik yang boleh membahayakan kesihatan (Singh dan rakan-rakan, 2002).

Bagi mengelakkan pembakaran terbuka jerami padi oleh para petani, jerami padi tersebut hendaklah digunapakai dan diaplikasikan dalam kehidupan. Sebagai salah satu jalan penyelesaian, pihak MADA telah menghasilkan baja kompos daripada jerami padi (<http://www.mada.gov.my/bangun/kompos.html>, 2008). Abu jerami menjadi pilihan dalam kajian ini dan telah direncanakan sebagai bahan gantian pasir dan oksida lain dalam penghasilan kaca, seramik kaca serta sebagai pengisi untuk KMP. Sekiranya hasil daripada kajian ini berjaya, lambakan jerami dan pembakaran secara terbuka dapat dikurangkan dan kemungkinan besar dapat dihapuskan sama sekali.

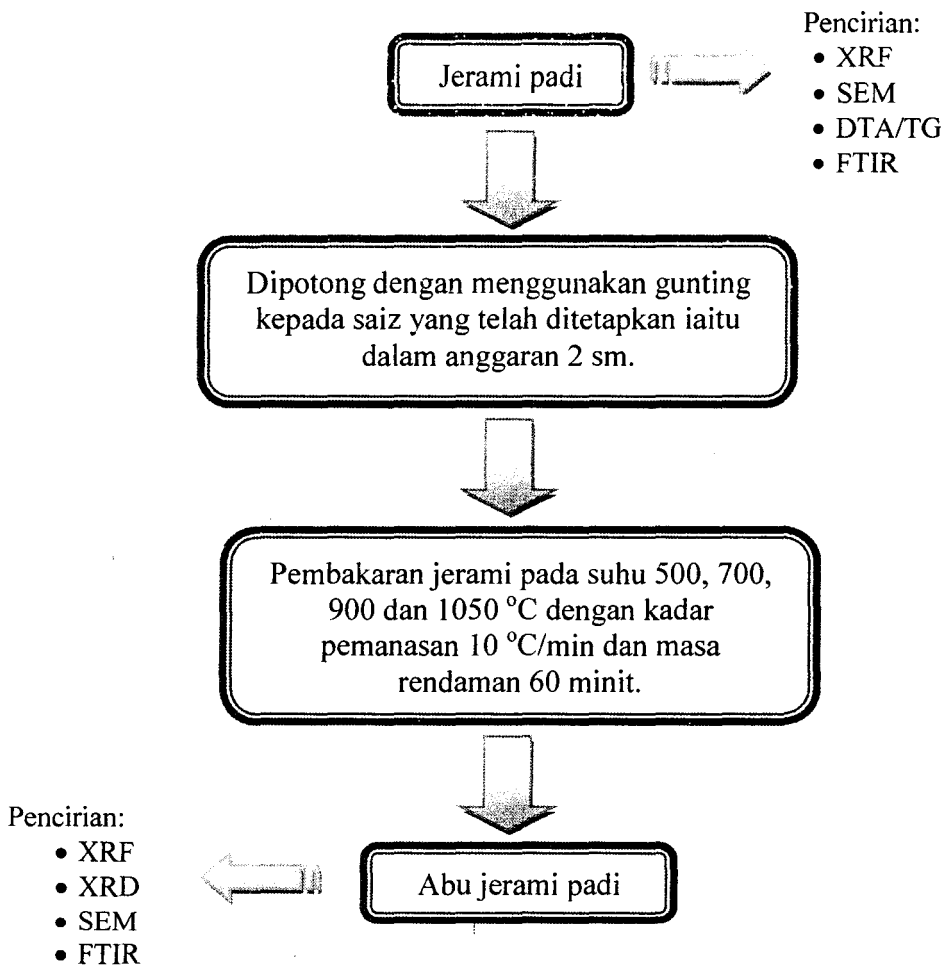
## **1.6 Objektif Kajian**

Setiap penyelidikan mempunyai objektif tertentu yang perlu disasarkan supaya keputusan yang dihasilkan akan memenuhi kehendak utama penyelidikan. Objektif utama penyelidikan ini, objektif utama adalah seperti berikut:

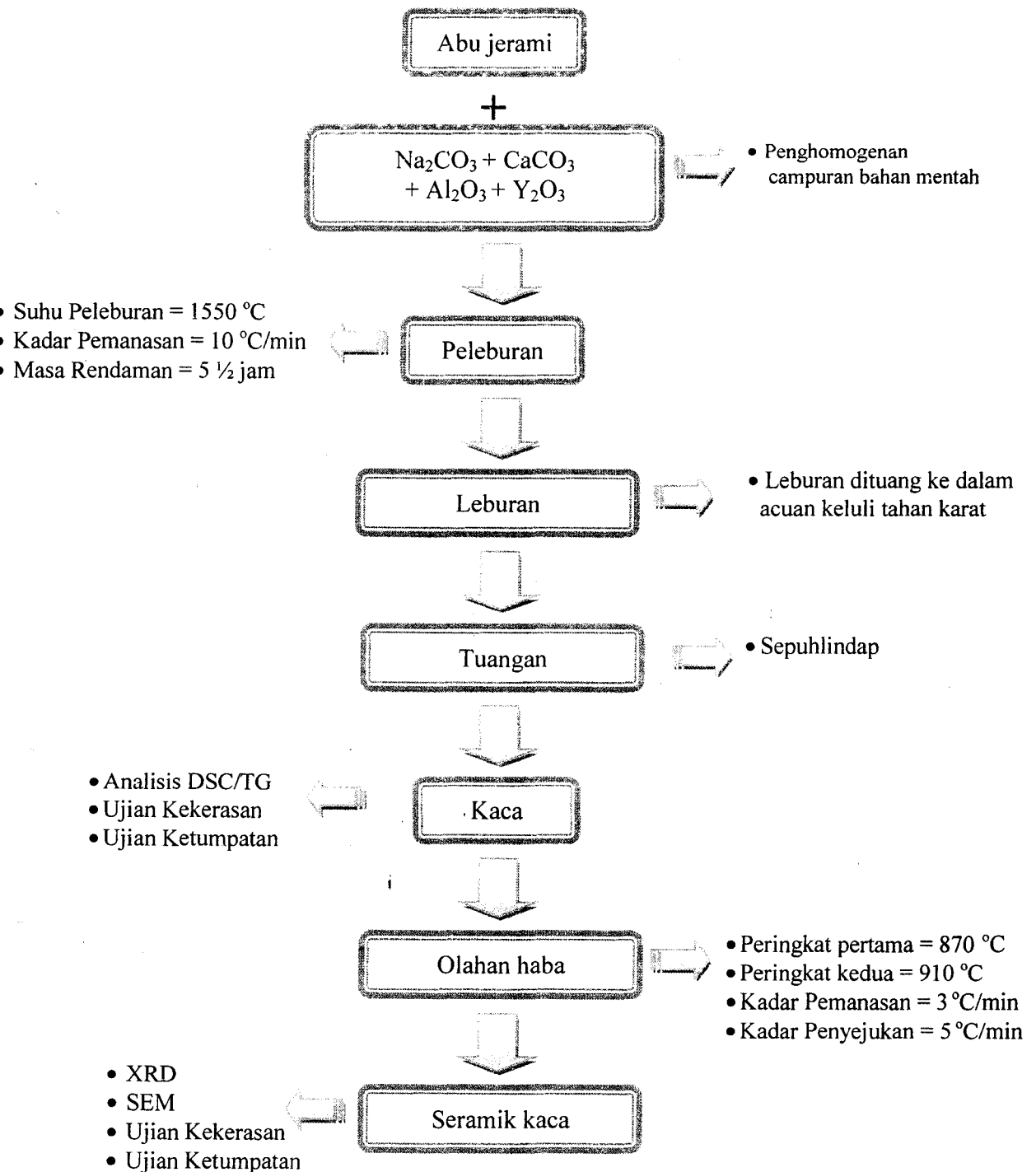
- I. Mengkaji ciri-ciri jerami dan abu jerami yang terhasil daripada proses pembakaran pada pelbagai suhu.
- II. Mengkaji kesesuaian abu jerami dalam penghasilan kaca dan seramik kaca. Ini termasuklah kajian sifat fizik serta mekanik bagi kaca dan seramik kaca yang terhasil.
- III. Mengkaji kesesuaian abu jerami sebagai pengisi dalam KMP dan perbandingan sifat fizik dan mekanik komposit yang terhasil dengan komposit menggunakan silika dan ilit.

## **1.7 Pendekatan Penyelidikan**

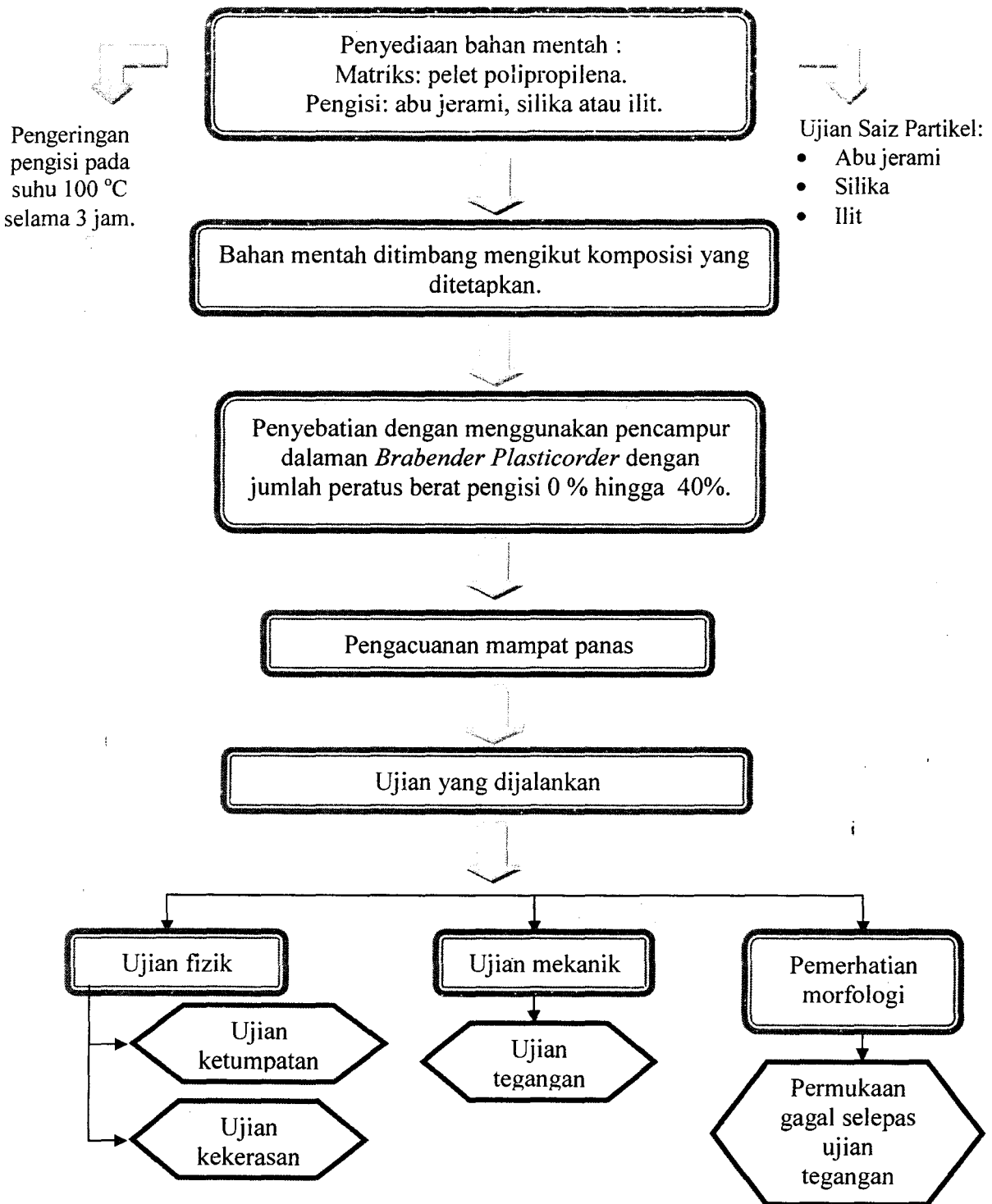
Rajah 1.1 hingga 1.3 masing-masing menunjukkan carta alir penghasilan abu jerami, penyediaan dan ujian yang dikenakan ke atas kaca dan seramik kaca, serta carta alir penghasilan dan ujian yang dikenakan ke atas komposit matriks polimer.



Rajah 1.1 Carta alir tatacara penghasilan dan pencirian abu jerami.



Rajah 1.2 Carta alir tatacara penghasilan dan ujian untuk sampel kaca dan seramik kaca.



Rajah 1.3 Carta alir tatacara penghasilan dan ujian bagi komposit matriks polimer (KMP).

## **BAB 2: SOROTAN KAJIAN**

### **2.1 Pengenalan**

Kajian ini terbahagi kepada tiga bahagian utama iaitu bahagian A mengenai pencirian jerami dan abu jerami, manakala bahagian B mengenai penggunaan abu jerami dalam penghasilan kaca dan seramik kaca sebagai alternatif menggantikan pasir silika dan oksida-oksida lain yang diperlukan di dalam penghasilan kaca. Bahagian C pula mengenai penggunaan abu jerami sebagai pengisi di dalam komposit matriks polimer (KMP), di mana matriks yang akan digunakan adalah polimer polipropilena (PP).

### **Bahagian A : Jerami dan Abu Jerami**

#### **2.2 Tanaman Padi di Malaysia**

Padi secara umumnya merupakan tanaman bermusim semiakuatik, di mana ia boleh hidup samada di dalam takungan yang sangat berair mahu pun kawasan berbukit. Padi atau nama saintifiknya *Oryza Sativa* merupakan tanaman utama di bahagian utara Semenanjung berbanding kawasan lain di Malaysia, manakala padi huma atau padi bukit hanya dijalankan secara kecil-kecilan di kawasan tanah tinggi. Padi sawah adalah padi yang paling banyak ditanam kerana keadaan muka bumi yang sangat sesuai di negara kita.

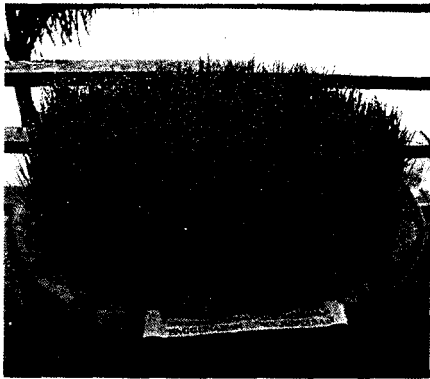
Padi yang ditanam di Malaysia sekarang merupakan hasil kacukan dan penyelidikan yang mengambil masa bertahun-tahun untuk menghasilkan benih padi yang bermutu serta berkualiti tinggi. Penyelidikan oleh beberapa pihak seperti Institut Penyelidikan dan Kemajuan Pertanian (MARDI), Padiberas Nasional Berhad (BERNAS) dan Lembaga Kemajuan Pertanian Muda (MADA) membantu pembangunan

jenis padi yang mampu mengeluarkan hasil yang lebih banyak dan bermutu serta mempunyai daya tahan penyakit yang lebih tinggi. Jabatan Pertanian Malaysia telah mewujudkan satu skim iaitu Skim Pengesahan Benih Padi bagi memastikan ketulenan genetik dan pelbagai identiti benih padi yang dikeluarkan, (<http://www.doa.gov.my/main.php?Content=contentdetails&ContentID=22&CurLocation=0&Page=1>, 2007). Projek pembangunan juga turut dijalankan oleh MADA untuk pokok padi seperti projek 10 tan, projek kelompok PSSP dan projek benih padi. Bagi jerami pula, MADA telah berjaya menjadikan jerami sebagai baja kompos sejak tahun 2000 di kawasan Sanglang. Jadual 2.1 menunjukkan spesies pokok padi yang utama iaitu *indica*, *sinica* dan *javanica*.

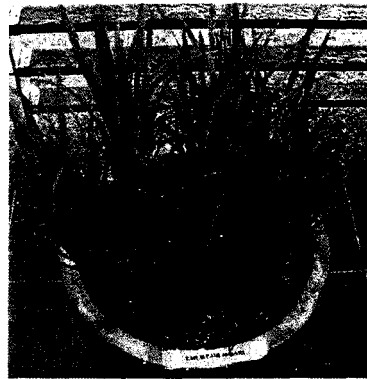
Jadual 2.1 Perbandingan ciri-ciri morfologi dan fisiologi *Oryza Sativa* (Luh, 1980)

	<b>Indica</b>	<b>Sinica (Japonica)</b>	<b>Javanica</b>
Daun	Lebar ke tirus dan berwarna hijau muda	Tirus dan berwarna hijau gelap	Lebar, kaku dan berwarna hijau muda
Spikelet	Panjang atau pendek, leper	Pendek dan bulat	Panjang, tebal dan lebar
Anak pokok	Banyak	Sederhana	Sedikit
Ketinggian pokok	Tinggi	Rendah	Tinggi
Spikelet yang mempunyai rerambut atau jejanggut	Kebanyakan tiada	Tiada rerambut dan ada juga yang lebat	Panjang atau tiada langsung
Beras mudah pecah atau relai	Mudah	Sukar	Sukar
Tisu pokok	Lembut	Keras	Keras
Kepekaan kepada kala cahaya	Sangat peka, kandungan amilosa 23 hingga 31 % berat	Tidak atau kurang peka, kandungan amilosa 10 hingga 24 % berat	Sangat rendah, kandungan amilosa 20 hingga 25 % berat
Suhu penggelatinan	Rendah kepada sederhana	Rendah	Rendah

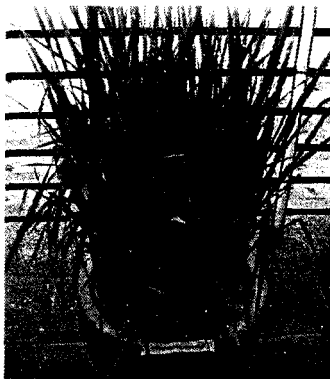
Menurut MADA, jumlah jerami yang terdapat di seluruh kawasan MADA adalah 482,790 metrik tan sahaja, kerana tidak semua jumlah tersebut dapat di kumpul atau dikutip disebabkan hanya bahagian atas pokok padi sahaja yang di potong (<http://www.mada.gov.my/bangun/kompos.html>, 2007). Rajah 2.1 menunjukkan pertumbuhan padi dari peringkat anak padi (a), 45 hari (b), 65 hari (c) dan 100 hari (d) iaitu peringkat matang dan sedia untuk dituai, manakala Rajah 2.2 pula menunjukkan kitaran hayat bagi pokok padi.



(i) anak padi



(ii) 45 hari



(iii) 65 hari

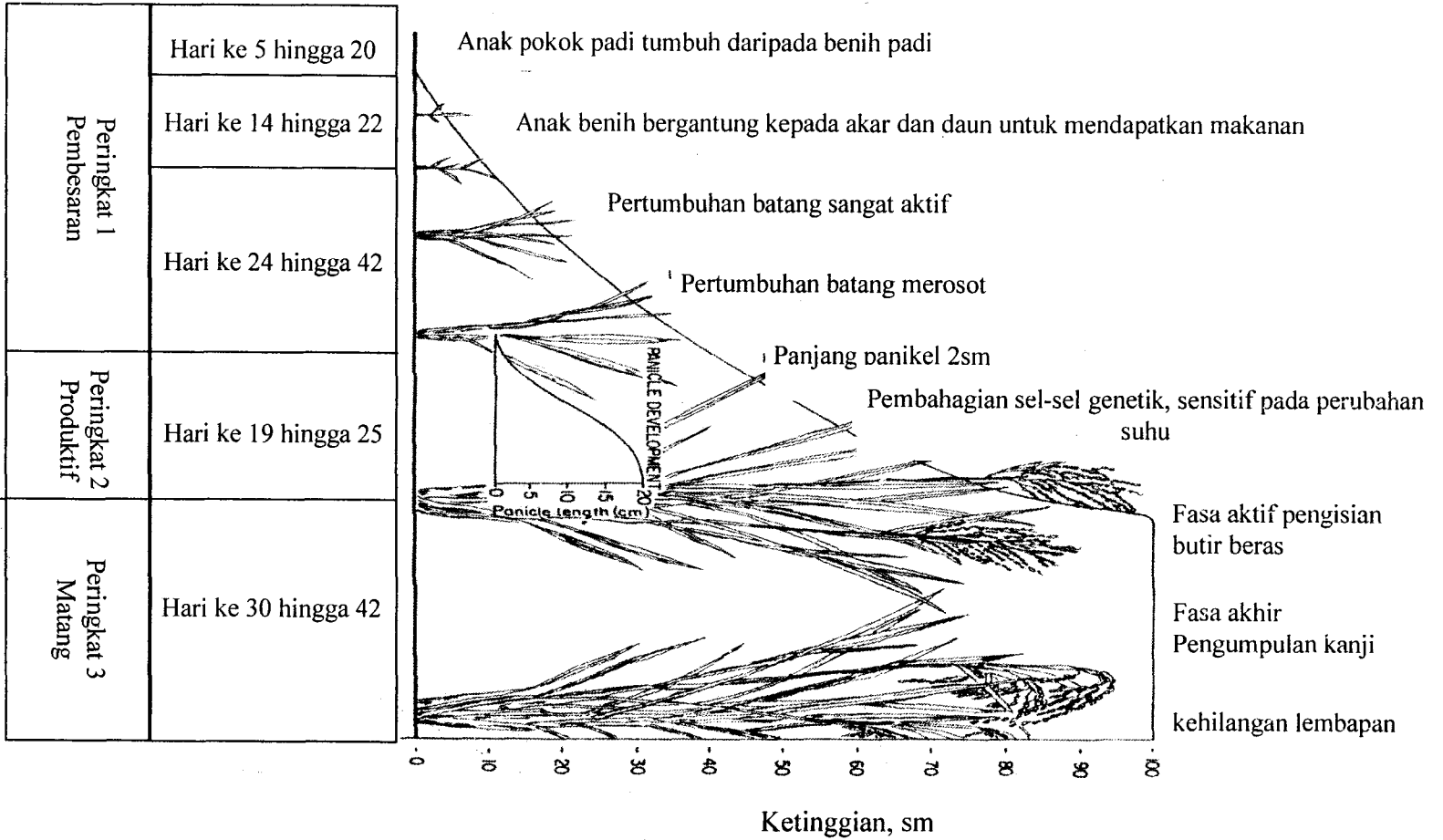


(iv) 100 hari iaitu sedia untuk dituai

Rajah 2.1 Pertumbuhan padi dari peringkat anak padi, 45 hari, 65 hari dan 100 hari iaitu peringkat matang dan sedia untuk dituai.



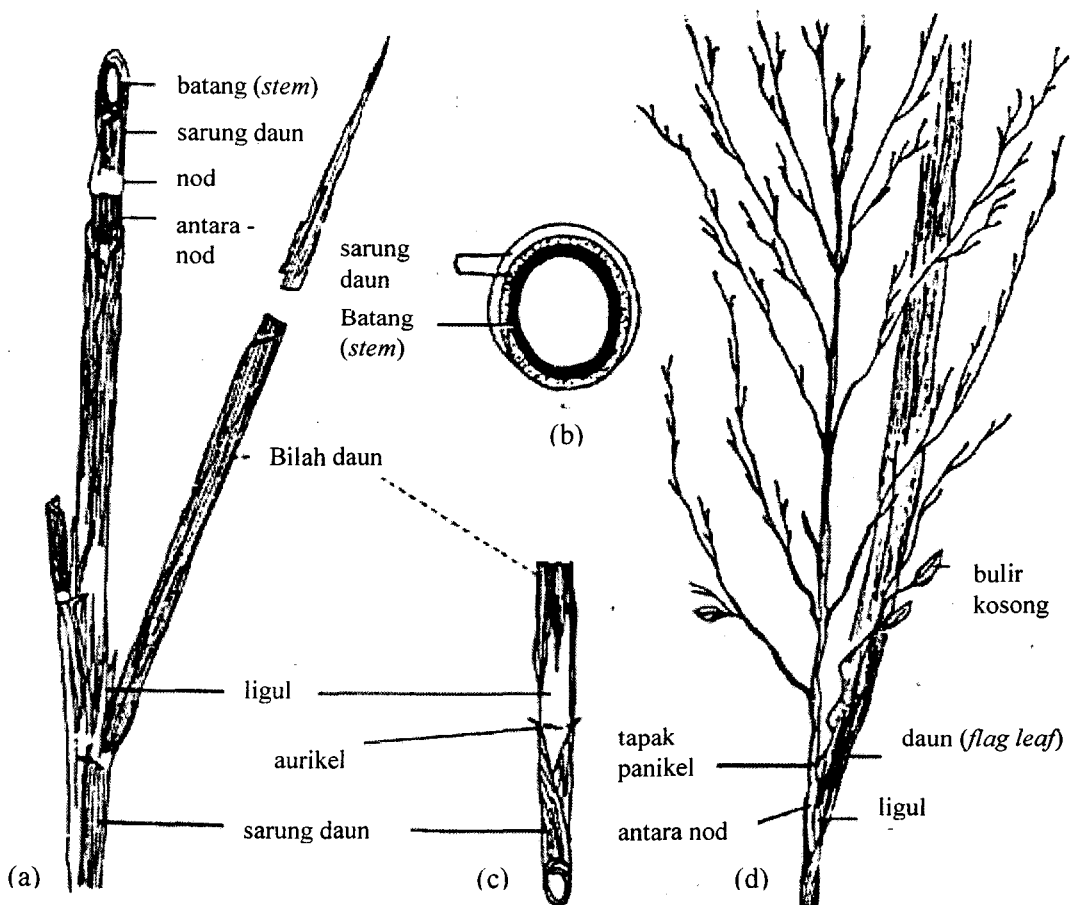
Rajah 2.2 Kitaran hayat bagi pokok padi (Luh, 1980)



### 2.3 Jerami Padi

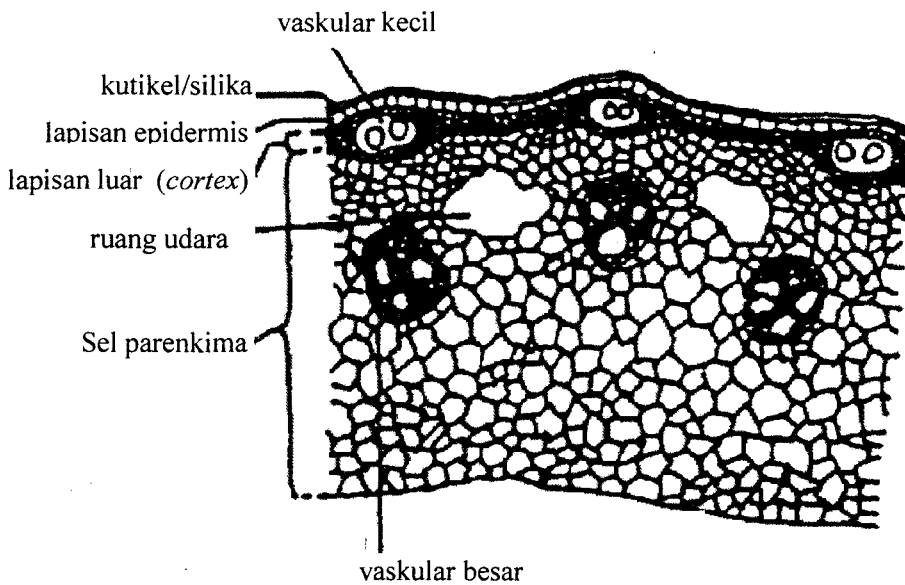
Jerami merupakan sisa buangan pokok padi selepas musim menuai padi. Oleh kerana itu, jerami yang tertinggal selepas proses penuaian akan dibakar untuk penanaman padi yang seterusnya.

Jerami padi terdiri daripada batang, sarung daun, bilah daun dan panikel. Panjang jerami secara kasarnya adalah 1 hingga 2 meter dan boleh melebihi 7 meter jika terendam di dalam takungan air yang dalam (Juliano, 1985). Morfologi jerami padi ditunjukkan secara terperinci seperti dalam Rajah 2.3, manakala keratan rentas struktur bagi jerami padi di dalam Rajah 2.4 (Juliano, 1985).



Rajah 2.3 Morfologi jerami padi secara terperinci; jerami padi (a), keratan rentas batang (b), keratan rentas dalam daun (c) dan bahagian atas jerami padi (d) (Juliano, 1985)

Struktur jerami terdiri daripada sel parenkima, lapisan epidermis, lapisan luar (*cortex*) dan kutikel/silika. Sel parenkima terdiri daripada vaskular besar dan kecil, ruang udara dan ditumpatkan oleh granul kanji. Kandungan lembapan dalam jerami selepas dituai adalah 55-70 %. Protein, lemak, karbohidrat, lignin, selulosa dan silika merupakan kandungan utama di dalam jerami, (Juliano, 1985).

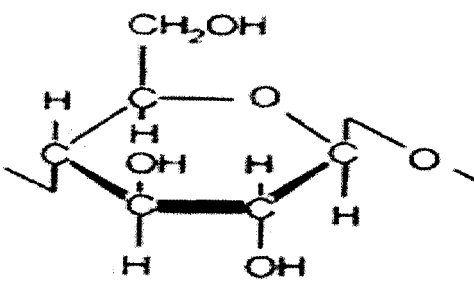
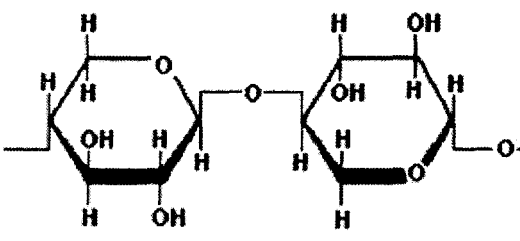
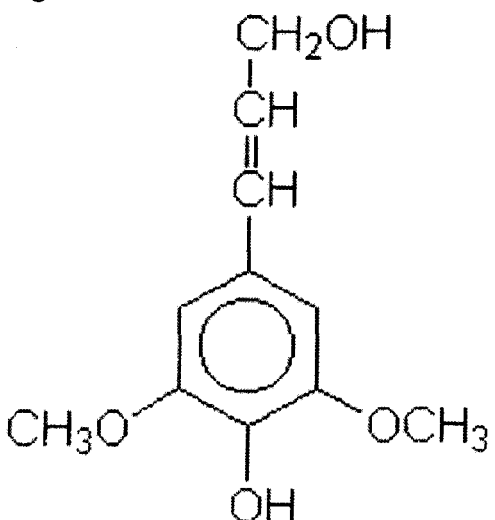


Rajah 2.4 Keratan rentas struktur bagi jerami (Juliano, 1985).

Menurut Xiao dan rakan-rakan (2001), kayu dan jerami secara umumnya dipertimbangkan sebagai bahan komposit semulajadi kerana komposisi utamanya adalah polisakarida (selulosa dan hemiselulosa) dan lignin. Bahan pembentuk selulosa terdiri daripada dua komponen yang bersifat hidrofilik dan kemudiannya bersifat hidrofobik. Walaubagaimanapun, bahan-bahan ini tidak larut sepenuhnya dalam pelarut organik dan hanya sedikit larut dalam air dan pelarut organik kerana terdapat ikatan hidrogen di antara polisakarida dan pelekatan lignin dengan polisakarida. Jadual 2.2 menerangkan

mengenai selulosa, hemiselulosa dan lignin (Xiao dan rakan-rakan, 2001; [www.cfr.washington.edu/classes/PSE.102/Lectures/ppt/Lecture\\_6\\_Wood\\_Chemistry.ppt](http://www.cfr.washington.edu/classes/PSE.102/Lectures/ppt/Lecture_6_Wood_Chemistry.ppt), 2008).

Jadual 2.2 Penerangan mengenai selulosa, hemiselulosa dan lignin.

Bahan	Penerangan
<p>Selulosa</p> 	<p>Formula kimia bagi selulosa adalah <math>(C_6H_{10}O_5)_n</math>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Selulosa merupakan suatu rantaian lurus polimer dan molekul selulosa saling bersambung antara satu sama lain dan membentuk gentian.</li> <li>Kandungan selulosa di dalam jerami 32–47 % berat (Karimi dan rakan-rakan, 2006).</li> </ul>
<p>Hemiselulosa</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disambung dengan gula polimer tanpa warna (~ 50 hingga 300 unit gula)</li> <li>Komposisinya berbeza bergantung kepada spesies</li> <li>5 unit gula karbon: xilosa, arabinosa</li> <li>6 unit gula karbon: manosa, galaktosa, glukosa</li> <li>Kumpulan metoksil dan asetil (asid asetik dan metanol).</li> <li>Kandungan hemiselulosa di dalam jerami 19–27 % berat (Karimi dan rakan-rakan, 2006).</li> </ul>
<p>Lignin</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lignin adalah bahan biopolimer</li> <li>Tiada gula</li> <li>Gam semulajadi bertindak sebagai pelekat di antara selulosa dan hemiselulosa.</li> <li>Kandungan lignin di dalam jerami 5–24 % berat (Karimi dan rakan-rakan, 2006).</li> </ul>

### 2.3.1 Penggunaan Abu Jerami

Abu jerami terhasil daripada proses pembakaran jerami pada suhu tertentu. Batuan silika yang dihancurkan digunakan sebagai juzuk utama dalam resepi atau formula untuk menghasilkan kaca bermula sekitar awal 700 sebelum Masihi (Frank, 1982). Menurut Frank lagi, abu kayu merupakan sumber utama alkali iaitu ia boleh wujud dalam bentuk unsur natrium atau kalium bergantung kepada komposisi kayu.

Suatu kajian yang telah dijalankan di Amerika Syarikat membuktikan bahawa bahan buangan pertanian seperti gandum, sekam serta jerami padi, barli dan alfafa juga amat berguna di dalam sektor biojisim dan tenaga (Zygarlicke dan rakan-rakan, 2005), di mana:

- I. Suatu pengiraan terperinci telah dijalankan dan menunjukkan pertumbuhan stabil tenaga biojisim dari tahun 1996, dengan anggaran penghasilan biojisim kepada tenaga elektrik sebanyak 1.47 %.
- II. Penghasilan tenaga daripada biojisim semakin berkembang dan penggunaan akan dimaksimumkan dengan mengkaji strategi pembakaran yang lebih berkesan menjelang tahun 2010.
- III. Sesetengah pakar meramalkan bahawa 14-15 % penggunaan tenaga dunia adalah daripada sumber biojisim.

Kajian mengenai abu pada masa kini amat meluas secara amnya tetapi masih amat terhad bagi abu jerami. Kajian secara mendalam penggunaan jerami padi sebagai suatu bahan alternatif sumber tenaga sedang giat di jalankan di negara Jepun (Matsumura dan rakan-rakan, 2005). Penggunaan abu turut dipelbagaikan di mana jerami dan abu jerami telah gunapakai di dalam bidang biojisim dan tenaga (Thy

dan rakan-rakan, 2006) dan sebagai pengisi bagi komposit matriks polimer (Han dan rakan-rakan, 2007).

Jadual 2.3 menunjukkan kajian yang dilakukan oleh Jenkin dan rakan-rakan (1995), mengenai abu yang terhasil apabila jerami padi, jerami gandum, hampas serta daun tebu dan pokok fir dibakar pada suhu 800-900 °C.

Jadual 2.3 Keputusan analisis Pendarfluor Sinar-X (XRF) yang dilakukan pada suhu 800-900 °C.

Oksida (% abu)	Jerami padi	Jerami gandum	Daun tebu	Hampas tebu	Pokok fir
SiO <sub>2</sub>	74.31	35.84	57.38	46.61	12.26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.40	2.46	-	17.69	2.83
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.15	-	2.63	0.08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.73	0.97	1.74	14.14	4.24
CaO	1.61	4.66	13.05	4.47	37.08
MgO	1.89	2.51	4.30	3.33	5.86
Na <sub>2</sub> O	1.85	10.50	0.27	0.79	3.16
K <sub>2</sub> O	11.30	18.40	13.39	4.15	17.00
SO <sub>3</sub>	0.84	5.46	7.31	2.08	11.20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.65	1.47	2.27	2.72	1.86
Lain-lain	3.40	17.58	0.29	1.39	4.43
Jumlah abu	19.60	13.00	5.04	2.44	0.45
Klorin (% bakar kering)	0.74	2.02	0.22	0.03	0.01

## BAHAGIAN B : Kaca dan Seramik Kaca

### 2.4 Sejarah Perkembangan Kaca dan Seramik Kaca

Kaca merupakan bahan yang unik iaitu memiliki sifat lutsinar, rapuh dan lengai terhadap bahan kimia (McMillan, 1964). Malangnya kerapuhan menghadkan penggunaan kaca di dalam aplikasi struktur dan pembinaan (Sglavo dan rakan-rakan, 2004). Menurut Frank (1982), pembuatan kaca dipercayai bermula di Mesopotamia iaitu di sekitar Iraq dan Syria pada tahun 3000 sebelum Masihi. Namun begitu rekod bertulis menunjukkan pembuatan kaca hanya berlaku dan dicatatkan sekitar tahun 650 sebelum Masihi.

Menurut Doremus (1994), Michael Faraday antara saintis yang terawal yang membuat kajian asas mengenai kaca. Pertengahan kurun ke-19, Buff mengkaji keberaliran dan elektrolisis kaca dan kemudiannya Warburg dan Tegetmeier membuktikan elektrolisis kaca yang memenuhi hukum Faraday.

Di England, penciptaan mesin peniup botol berongga bermula pada tahun 1886. Mesin ini telah digunakan secara meluas oleh syarikat Ashley bagi mengeluarkan produk botol secara besar-besaran. Pada tahun 1915, *University of Sheffield*, UK telah menubuhkan Jabatan Teknologi Kaca yang bertujuan untuk membuat kerja penyelidikan serta mengajar mata pelajaran tersebut sebagai bidang khusus sehingga hari ini (Doremus, 1994).

Teori tentang pembentukan kaca diperkenalkan agak terkemudian, contohnya Griffith telah mengemukakan teori kekuatan dan kerapuhan kaca pada tahun 1920, manakala pada tahun 1932, Zachariassen berjaya mengemukakan teori rangkaian rawak bagi pembentukan kaca oksida (Doremus, 1994). Perkembangan ini telah menyebabkan pusat penyelidikan dibuka secara meluas contohnya, *General Electric Company* (GEC) di Britain, untuk mengkaji bidang kaca dan seramik kaca dalam elektronik. Makmal penyelidikan Corning di Amerika Syarikat telah berjaya menukarkan kaca kepada seramik kaca. Seramik kaca ini bukan sahaja mempunyai ketahanan kimia yang tinggi, malah mempunyai kerintangan terma yang baik.

Penyelidikan tentang aplikasi kaca dan seramik kaca dalam sektor industri telah menghasilkan pelbagai jenis kaca dan seramik kaca antaranya superkonduktor (Aksan dan Yakinci, 2004), kaca fotokromik (Poirier dan rakan-rakan, 2007), kaca optik (Na dan rakan-rakan, 2007) dan kaca fotopeka (Chen dan rakan-rakan, 2008). Selain itu

kaca turut diaplikasikan di dalam pembinaan (Poutos dan rakan-rakan, 2008), automotif (Taga, 1997) dan juga perubatan (Rainer dan rakan-rakan, 2008).

## **2.5 Teori Pembentukan Kaca**

Terdapat beberapa pendekatan bagi pembentukan kaca yang telah dicetuskan dan dikenali sebagai teori struktur dan teori kinetik dalam pembentukan kaca (Othman, 2005).

### **2.5.1 Teori Struktur Pembentuk Kaca**

#### **2.5.1.1 Kriteria Nisbah Jejari Goldschmidt**

Idea mengenai struktur tak organik pembentuk kaca tercetus bila Goldschmidt dalam tahun 1926 memerhatikan bahawa wujud suatu hubungan antara keupayaan membentuk kaca dengan saiz relatif anion oksigen dan kation A. Oksida pembentuk kaca mempunyai nisbah jejari ion  $R_A/R_O$  dalam julat 0.2-0.4. Nisbah jejari kation/anion mempunyai kesan ke atas struktur hablur ion kerana ini menentukan bilangan anion yang boleh dipadatkan di sekeliling sesuatu anion. Kebanyakan hablur yang mempunyai nisbah jejari di antara 0.2-0.4 mempunyai empat anion disekeliling setiap kation dan anion tersebut terletak di penjuru suatu tetrahedron. Justeru itu, Goldschmidt mempercayai bahawa susunan tetrahedron ion-ion oksigen disekeliling kation A adalah perlu untuk pembentukan kaca (Shelby, 2005).



### 2.5.1.2 Hipotesis Rangkaian Rawak Zachariasen

Beberapa tahun selepas itu, Zachariasen telah menerbitkan satu kertas kerja yang lebih teliti berdasarkan idea Goldschmidt yang tidak memenuhi peraturan empiris pembentuk kaca kerana tidak semua oksida mempunyai nisbah jejari yang dikatakan membentuk kaca contohnya  $\text{BeO}$ ,  $\text{GeO}_2$  dan  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Masalah tersebut telah beliau analisis seperti berikut:

- I. Daya dalam kaca oksida mestilah menyerupai daya dalam hablur yang berkaitan kerana sifat-sifat mekanik kedua-dua bentuk adalah serupa.
- II. Atom-atom dalam kaca mesti membentuk rangkaian tiga dimensi yang dipanjangkan seperti mana dalam hablur, tetapi kesamaran corak-corak belauan sinar-X menunjukkan bahawa rangkaian dalam kaca adalah tidak simetri dan berkala seperti mana dalam hablur.
- III. Rangkaian kaca dicirikan oleh suatu "unit sel" yang infiniti besarnya dan mengandungi bilangan atom yang infiniti, di mana tidak ada dua daripadanya mempunyai struktur yang setara.

Maka dengan ini, Zachariasen telah membuat suatu peraturan yang dinamakan Peraturan Zachariasen. Terdapat empat perkara yang dititikberatkan di dalam peraturan ini iaitu:

1. Tidak ada atom oksigen yang disambungkan kepada lebih daripada dua atom A.
2. Bilangan atom oksigen yang mengelilingi atom A mestilah kecil.
3. Polihedron oksigen berkongsi penjuru sesama sendiri bukannya tepi atau muka.
4. Sekurang-kurangnya tiga penjuru setiap polihedron mesti dikongsi.

Jadi oksida yang berformula  $A_2O$  dan  $AO$  tidak boleh mematuhi peraturan ini dan seharusnya tidak akan membentuk kaca. Ini didapati benar kerana tidak ada oksida daripada unsur-unsur Kumpulan I dan II yang membentuk kaca kecuali mungkin air. Peraturan 1,2 dan 4 dipatuhi oleh:

- I. Oksida-oksida  $A_2O_3$  jika oksigen membentuk segitiga disekeliling atom A.
- II. Oksida-oksida  $AO_2$  dan  $A_2O_5$  jika oksigen membentuk tetrahedron.
- III. Oksida-oksida  $AO_3$ ,  $A_2O_7$  dan  $AO_4$  jika oksigen membentuk oktahedron.

Oleh itu, Peraturan 2 boleh dikhususkan untuk kaca yang mempunyai bilangan oksigen mengelilingi A mestilah tiga atau empat. Oksida-oksida membentuk kaca seperti  $SiO_2$ ,  $GeO$ ,  $B_2O_3$ ,  $P_2O_5$  dan  $As_2O_3$  adalah hanya oksida mudah yang diketahui membentuk kaca di dalam kertas kerja Zachariasen.

Sebagai rumusan idea Zachariasen, peraturan ini bermaksud semua kaca oksida mestilah mempunyai suatu jumlah besar pelbagai kation pembentuk kaca atau kation lain yang boleh menggantikannya secara isomorfus. Namun begitu, masih terdapat kritikan terhadap hipotesis Zachariasen iaitu:

1. Kenyataan bahawa kestabilan kaca ditentukan oleh tenaga dalamannya melebihi tenaga dalaman hablur yang setara adalah tidak betul mengikut Morey dalam tahun 1934 (Othman, 2005).
2. Pada tahun 1934, Haag pula menyatakan bahawa tidak perlu dianggap kaca oksida mesti mempunyai struktur yang bercirikan rangkaian tiga dimensi yang infiniti.

Secara keseluruhannya, hipotesis Zachariasen boleh dianggap sebagai memberi sumbangan yang berharga kerana ianya memperkenalkan prinsip dan konsep kimia hablur dalam kajian kaca tak organik.

### 2.5.2 Struktur Kaca

Struktur kaca hari ini secara umumnya berdasarkan idea asal Zachariasen dan diletakkan di bawah kumpulan teori rangkaian rawak. Aturan Zachariasen untuk pembentukan kaca di dalam oksida ringkas untuk sistem kaca silika adalah seperti berikut (Shelby, 2005):

- I. Nombor koordinasi oksigen dengan kation rangkaian adalah kecil.
- II. Perkongsian oksigen polihedra hanya berlaku di pepenjuru dan bukannya berlaku di tepi atau muka.
- III. Sekurang-kurangnya tiga pepenjuru setiap oksigen polihedra mestilah dikongsi dan membentuk rangkaian tiga dimensi .

Aturan Zachariasen untuk pembentukan kaca di dalam oksida ringkas diubahsuai bagi kaca kompleks seperti berikut:

- I. Atom oksigen tidak boleh disambungkan kepada lebih dari 2 atom A (kation trivalen).
- II. Sampel kaca mesti mengandungi peratusan kation rangkaian yang tinggi di mana dikelilingi oleh oksigen tetrahedra atau segitiga.
- III. Oksigen tetrahedra atau segitiga hanya boleh dikongsi di pepenjuru dengan yang lain.
- IV. Sesetengah oksigen disambung hanya dengan dua kation rangkaian dan tidak membentuk ikatan dengan kation lain.