

**PENGHABLURAN DALAM SISTEM KACA BERASASKAN ABU
JERAMI PADI**

oleh

FARAH BINTI JAAFAR

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

November 2013

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, terima kasih kepada Allah yang Maha Kuasa kerana memberikan kekuatan untuk saya menyiapkan projek penyelidikan Sarjana serta tesis ini sepenuhnya.

Pertama sekali, sekalung penghargaan didedikasikan kepada semua yang terlibat secara langsung atau tidak langsung dalam penghasilan tesis kajian bertajuk “Penghabluran dalam Sistem Kaca Berasaskan Abu Jerami Padi” ini. Tesis ini berjaya disiapkan berkat bimbingan dan tunjuk ajar yang tidak berbelah bagi penyelia projek ini; Profesor Dr. Radzali bin Othman. Sekalung ucapan terima kasih diucapkan kepada beliau. Ucapan ribuan terima kasih juga ditujukan kepada Puan Habsah Haliman, juruteknik-juruteknik atau staf-staf yang banyak membantu dalam menjayakan projek ini terutamanya; Encik Sharul Ami, Puan Haslina, Puan Fong, Encik Khairi, Encik Rashid, Encik Meor Mohd Noh, Encik Kemuridan dan ramai lagi atas tunjuk ajar dan kerjasama yang telah diberikan.

Penghargaan ini turut ditujukan kepada Kementerian Pengajian Tinggi Malaysia atas pembiayaan untuk pengajian ijazah lanjutan di bawah Pakej Rangsangan Ekonomi Kedua (Bajet Mini 2009).

Akhir sekali, terima kasih ini ditujukan khas untuk keluarga, pensyarah-pensyarah, rakan-rakan pelajar ijazah tinggi dan sealiran yang memberikan sokongan, galakan, dan tidak lokek untuk berkongsi pengalaman serta pengetahuan dengan saya. Segala bantuan dan sokongan yang diberikan amat dihargai. “Terima Kasih!”

Farah binti Jaafar

November 2013

ISI KANDUNGAN

PENGHARGAAN	ii
ISI KANDUNGAN.....	iii
SENARAI JADUAL.....	vi
SENARAI GAMBARAJAH	vii
SENARAI SINGKATAN.....	xii
SENARAI SIMBOL	xv
ABSTRAK.....	xvi
ABSTRACT.....	xviii
BAB 1 PENGENALAN	1
1.1 Pengenalan.....	1
1.2 Pernyataan Masalah	2
1.3 Objektif.....	4
1.4 Pendekatan Kajian	5
BAB 2 KAJIAN PERSURATAN.....	6
2.1 Pengenalan.....	6
2.2 Penanaman Padi	6
2.3 Penggunaan Jerami Padi dan Abu Jerami Padi	11
2.4 Sejarah Perkembangan Kaca	15
2.5 Pengenalan Kaca	17
2.6 Teori Pembentukan Kaca	20
2.6.1 Kriteria Nisbah Jejari Goldschmidt	20
2.6.2 Hipotesis Rangkaian Rawak Zachariasen.....	20
2.7 Oksida Pembentuk Kaca	23
2.7.1 Pembentuk Rangkaian	23
2.7.1.1 Silika.....	23
2.7.1.2 Boron oksida.....	23
2.7.2 Pengubahsuaian Rangkaian.....	24

2.7.2.1	Natrium oksida	24
2.7.2.2	Kalsium Oksida	24
2.7.3	Oksida Perantara.....	25
2.7.3.1	Aluminium oksida	25
2.7.3.2	Titanium Oksida dan Zirkonium Oksida.....	25
2.8	Struktur Kaca.....	25
2.9	Peleburan Kaca.....	27
2.9.1	Pengelompokan Kaca	27
2.9.2	Proses Peleburan Kaca.....	27
2.10	Seramik Kaca	29
2.10.1	Sejarah Penemuan Seramik Kaca	31
2.10.2	Kaedah Penghasilan Seramik Kaca	32
2.10.3	Aplikasi Seramik Kaca	35
BAB 3 - KAEDAH PENYELIDIKAN.....		37
3.1	Pengenalan.....	37
3.2	Penyediaan Jerami Padi dan Abu Jerami Padi	37
3.3	Pencirian Jerami Padi dan Abu Jerami Padi.....	38
3.3.1	Analisis Pendarfluor Sinar-X (XRF)	38
3.3.2	Ujian Spektroskopi Infra-Merah (FTIR)	39
3.3.3	Analisis Pembelauan Sinar-X (XRD).....	40
3.4	Pencampuran dan Pengelompokan Kaca	41
3.4.1	Bahan Mentah untuk Menghasilkan Kaca.....	41
3.4.2	Pengiraan Komposisi Kaca.....	42
3.4.3	Penyediaan Acuan Keluli Tahan Karat	46
3.4.4	Penyediaan Kelompok Kaca.....	46
3.5	Peleburan Kaca.....	47
3.6	Pengukuran Sifat Kaca	48
3.6.1	Analisis Kalorimetri Imbasan Kebezaan (DSC).....	48
3.6.2	Ujian Ketumpatan.....	49
3.6.3	Ujian Kekerasan Knoop.....	50
3.7	Olahan Haba	51
3.8	Kajian Morfologi	52

BAB 4 - KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	55
4.1 Pengenalan.....	55
4.2 Analisis ke atas Jerami Padi dan Abu Jerami Padi.....	55
4.2.1 Pemerhatian ke atas Abu Jerami Padi.....	55
4.2.2 Analisis Pendarfluor Sinar-X (XRF)	57
4.2.2.1 Jerami padi dan abu jerami padi.....	57
4.2.2.2 Mineral silika.....	59
4.2.3 Ujian Spektroskopi Infra-Merah (FTIR)	60
4.2.4 Ujian Pembelauan Sinar-X (XRD)	63
4.2.5 Kajian Morfologi	64
4.3 Peleburan Kaca.....	66
4.4 Analisis Kalorimeter Imbasan Kebezaan (DSC).....	67
4.5 Olahan Haba	69
4.6 Pencirian Sifat-sifat Kaca dan Seramik Kaca yang Terhasil.....	75
4.6.1 Analisis Pembelauan Sinar-X (XRD).....	75
4.6.2 Ujian Ketumpatan.....	82
4.6.3 Ujian Kekerasan Knoop.....	85
4.6.4 Pemerhatian Morfologi.....	87
 BAB 5 - KESIMPULAN DAN CADANGAN.....	 97
5.1 KESIMPULAN	97
5.2 CADANGAN	99
 RUJUKAN	 100
 LAMPIRAN.....	 105
 SENARAI KERTAS PENERBITAN.....	 124

SENARAI JADUAL

Muka surat

Jadual 2.1:	Perangkaan Keluasan Penanaman dan Pengeluaran Padi Malaysia, 2007 – 2011 (Jabatan Pertanian Malaysia, 2012; Jabatan Perangkaan Malaysia, 2011)	9
Jadual 2.2:	Senarai variasi padi yang telah diisytihar oleh MARDI (Nasarudin, 2010)	10
Jadual 2.3:	Komposisi karbohidrat dan nilai teori hasil etanol daripada jerami padi (Binod et al., 2010)	13
Jadual 2.4:	Kandungan silika dalam abu-abu biojisim yang utama di Thailand (Ruangtaweeep et al., 2011)	14
Jadual 2.5:	Komposisi dan ciri bagi beberapa kaca komersial (Callister, 2003)	19
Jadual 3.1:	Bahan mentah untuk menghasilkan kaca	42
Jadual 3.2:	Komposisi kaca yang dihasilkan.	43
Jadual 3.3:	Ringkasan pengiraan kelompok kaca bagi kaca mineral silika dengan penambahan 2% agen penukleusan (SLS0-N)	45
Jadual 3.4:	Ringkasan pengiraan kelompok kaca bagi kaca abu jerami padi dengan penambahan 2% agen penukleusan (SLS1-N)	46
Jadual 4.1:	Keputusan XRF bagi jerami padi serta abu jerami padi yang terhasil daripada pembakaran daripada 6 suhu berbeza	59
Jadual 4.2:	Keputusan XRF bagi mineral silika	59
Jadual 4.3:	Tempoh rendaman untuk olahan haba berdasarkan suhu penukleusan dan penghabluran untuk semua jenis kaca	70
Jadual 4.4:	Fasa-fasa yang hadir pada semua seramik kaca	81
Jadual 4.5:	Ketumpatan kaca dan beberapa hablur	83

SENARAI GAMBARAJAH

	Muka surat
Rajah 1.1: Carta alir proses penghasilan seramik kaca	5
Rajah 2.1: Morfologi pokok padi (Chang, 1965)	7
Rajah 2.2: Morfologi Spikelet Padi (Chang, 1965)	8
Rajah 2.3: Pencapaian dan unjuran penggunaan beras, 2000 – 2020; juta tan metrik (Lembaga Pemasaran Pertanian Persekutuan, 2011)	11
Rajah 2.4: Pencapaian dan unjuran pengeluaran padi mengikut kawasan, 2000 – 2020, juta tan metrik (Lembaga Pemasaran Pertanian Persekutuan, 2011)	12
Rajah 2.5: Perkaitan antara keadaan kekaca, cecair dan pepejal (Jones, 1971)	17
Rajah 2.6: Susunan sfera yang tidak teratur (a) Lapisan A yang tak kristalografik; (b) Struktur amorfus dan tak kristalografik. (Ashby et al., 2007)	26
Rajah 2.7: Dua struktur alternatif bagi silika, asas kepada kebanyakan kaca. (a) silika berhablur, (b) silika amorfus (Ashby et al., 2007)	26
Rajah 2.8: Proses Peleburan Kaca (Othman, 2005)	28
Rajah 2.9: Penghabluran kaca bagi membentuk seramik kaca (a) Pergantungan suhu dan kadar penukleusan dan pertumbuhan dengan pertindihan diabaikan, (b) Olahan haba dua peringkat (Rawlings et al., 2006)	34
Rajah 2.10: Penghabluran kaca bagi membentuk seramik kaca (a) Pergantungan suhu dan kadar penukleusan dan pertumbuhan (b) Olahan haba peringkat tunggal (Rawlings et al., 2006)	34
Rajah 3.1: Jerami padi yang telah dikisar pada saiz 1mm	38

Rajah 3.2:	Gambarajah optik spektrometer parutan serakan infra-merah (Bray & Sibilia, 1988).	40
Rajah 3.3:	Kelompok kaca yang telah disediakan untuk proses peleburan.	47
Rajah 3.4:	Profil Suhu Peleburan Kaca	48
Rajah 3.5:	Profil pembakaran untuk ujian DSC bagi kedua-dua jenis kaca.	49
Rajah 3.6:	Profil suhu olahan haba untuk kaca-kaca yang dihasilkan.	51
Rajah 3.7:	Pengukuran ketebalan lapisan menghablur	52
Rajah 3.8:	Konfigurasi Senapang Pancaran Medan	53
Rajah 4.1:	Menunjukkan abu jerami padi yang terhasil daripada pembakaran suhu-suhu berikut; a) 850°C, b) 900°C, c) 950°C, d) 1000°C, e) 1050°C dan f) 1100°C	56
Rajah 4.2:	Peratusan kuantiti abu jerami padi yang terhasil	57
Rajah 4.3:	Spektrum ujian spektroskopi infra-merah bagi jerami padi	61
Rajah 4.4:	Spektrum ujian spektroskopi infra-merah (FTIR) bagi abu jerami padi pada suhu 850°C(T1), 900°C(T2), 950°C(T3), 1000°C(T4), 1050°C(T5) dan 1100°C(T6)	62
Rajah 4.5:	Analisis XRD bagi abu jerami padi pada suhu 850–1100°C	64
Rajah 4.6:	Analisis SEM bagi bahagian (a) luar dan (b) dalam sampel jerami padi	65
Rajah 4.7:	Mikrograf SEM bagi abu jerami padi yang dibakar pada suhu 1050°C	66
Rajah 4.8:	Gambarajah kaca-kaca yang terhasil	66
Rajah 4.9:	Analisis kalorimeter imbasan kebezaan (DSC) bagi kaca SLS0	68
Rajah 4.10:	Analisis kalorimeter imbasan kebezaan (DSC) bagi kaca SLS1	69
Rajah 4.11:	Seramik kaca-seramik kaca mineral silika yang terhasil	71

Rajah 4.12:	Seramik kaca-seramik kaca abu jerami padi yang terhasil	71
Rajah 4.13:	Imej permukaan patah bagi spesimen a) GC1-SLS0 dan b) GC1-SLS1.	73
Rajah 4.14:	Peratus ketebalan lapisan menghablur bagi seramik kaca mineral silika	74
Rajah 4.15:	Peratus ketebalan lapisan menghablur bagi seramik kaca abu jerami padi	75
Rajah 4.16:	Analisis XRD bagi seramik kaca mineral silika tanpa penambahan TiO_2	77
Rajah 4.17:	Analisis XRD bagi seramik kaca abu jerami padi tanpa penambahan TiO_2	77
Rajah 4.18:	Analisis XRD bagi seramik kaca mineral silika dengan penambahan 2% TiO_2	78
Rajah 4.19:	Analisis XRD bagi seramik kaca abu jerami padi dengan penambahan 2% TiO_2	78
Rajah 4.20:	Analisis XRD bagi seramik kaca mineral silika dengan penambahan 5% TiO_2	79
Rajah 4.21:	Analisis XRD bagi seramik kaca abu jerami padi dengan penambahan 5% TiO_2	79
Rajah 4.22:	Analisis XRD bagi seramik kaca mineral silika dengan penambahan 10% TiO_2	80
Rajah 4.23:	Analisis XRD bagi seramik kaca abu jerami padi dengan penambahan 10% TiO_2	80
Rajah 4.24:	Nilai ketumpatan bagi kaca mineral silika dan kaca abu jerami padi dengan kandungan agen penukleusan yang berbeza.	83

Rajah 4.25:	Nilai ketumpatan bagi seramik kaca mineral silika yang berbeza kuantiti agen penukleusan	84
Rajah 4.26:	Nilai ketumpatan bagi seramik kaca abu jerami padi yang berbeza kuantiti agen penukleusan	84
Rajah 4.27:	Nilai kekerasan Knoop bagi kaca mineral silika dan kaca abu jerami padi mengikut kuantiti agen penukleusan	86
Rajah 4.28:	Nilai kekerasan Knoop bagi seramik kaca mineral silika yang berbeza kuantiti agen penukleusan	86
Rajah 4.29:	Nilai kekerasan Knoop bagi seramik kaca abu jerami padi yang berbeza kuantiti agen penukleusan	87
Rajah 4.30:	Analisis SEM pada permukaan patah seramik kaca (GC1, GC2 dan GC3)-SLS0 di bahagian luar (hablur) dan dalam (kekaca) seramik kaca mineral silika.	89
Rajah 4.31:	Analisis SEM pada permukaan patah seramik kaca (GC1, GC2 dan GC3)-SLS1 di bahagian luar (hablur) dan dalam (kekaca) seramik kaca abu jerami padi.	90
Rajah 4.32:	Analisis SEM pada permukaan patah seramik kaca (GC1, GC2 dan GC3)-SLS0-N di bahagian luar (hablur) dan dalam (kekaca) seramik kaca mineral silika.	91
Rajah 4.33:	Analisis SEM pada permukaan patah seramik kaca (GC1, GC2 dan GC3)-SLS1-N di bahagian luar (hablur) dan dalam (kekaca) seramik kaca abu jerami padi.	92
Rajah 4.34:	Analisis SEM pada permukaan patah seramik kaca (GC1, GC2 dan GC3)-SLS0-N2 di bahagian luar (hablur) dan dalam (kekaca) seramik kaca mineral silika.	93

- Rajah 4.35: Analisis SEM pada permukaan patah seramik kaca
(GC1, GC2 dan GC3)-SLS1-N2 di bahagian luar (hablur) dan
dalam (kekaca) seramik kaca abu jerami padi. 94
- Rajah 4.36: Analisis SEM pada permukaan patah seramik kaca
(GC1, GC2 dan GC3)-SLS0-N3 di bahagian luar (hablur) dan
dalam (kekaca) seramik kaca mineral silika. 95
- Rajah 4.37: Analisis SEM pada permukaan patah seramik kaca
(GC1, GC2 dan GC3)-SLS1-N3 di bahagian luar (hablur) dan
dalam (kekaca) seramik kaca abu jerami padi. 96

SENARAI SINGKATAN

SINGKATAN	NAMA PENUH
$\text{Na}_2\text{O-CaO-SiO}_2$	Soda-kapur-silika
SiO_4	Tetrahedron silika
SiO_2	Silika
Si	Silikon
P_2O_5	Fosfat
Ge_2O_3	Germanat
B_2O_3	Borat
Na_2O	Natrium oksida
Na_2CO_3	Natrium karbonat
CaCO_3	Kalsium karbonat
CaO	Kalsium oksida
Y_2O_3	Itrium oksida atau itria
Al_2O_3	Aluminium oksida
K_2O	Kalium oksida
Fe_2O_3	Ferum(III) oksida
TiO_2	Titanium dioksida
H_3BO_3	Asid borik
Na_2SO_4	Natrium sulfat
As_2O_3	Arsenik oksida
Sb_2O_3	Antimoni (II) oksida
CO	Carbon monoksida
Cl	Klorin

SO ₄	Sulfat
KBr	Kalium bromida
CO ₂	Karbon dioksida
Co	Kobalt
Mn	Mangan
Cr	Kromium
Fe	Ferum
Pb	Plumbum
As	Arsenik
Cu	Kuprum
Mg	Magnesium
Sr	Strontium
Na	Natrium
N	Nitrogen
T _g	Suhu peralihan kaca
T _c	Suhu Penghabluran
T _m	Takat Lebur
SEM	Mikroskop imbasan elektron
XRF	Ujian pendarfluor sinar-X
FTIR	Ujian spektroskopi infra-merah
DSC	Kalorimetri imbasan kebezaan
XRD	Ujian pembelauan sinar-X
ASTM	American Society for Testing and Materials
SLS0	Kaca mineral silika
SLS1	Kaca silika abu jerami padi

SLS0-N	Kaca mineral silika + 2% TiO ₂
SLS1-N	Kaca silika abu jerami padi + 2% TiO ₂
SLS0-N2	Kaca mineral silika + 5% TiO ₂
SLS1-N2	Kaca abu jerami padi + 5% TiO ₂
SLS0-N3	Kaca mineral silika + 10% TiO ₂
GC1	Seramik kaca 1
GC2	Seramik kaca 2
GC3	Seramik kaca 3
T/Ha	Tan/Hektar

SENARAI SIMBOL

%	Peratus
°	Darjah
°C	Darjah Celsius
°C/min	Darjah Celsius per minit
min	Minit
sm	Sentimeter
% berat	Peratus berat
g	Gram
g/cm ³	Gram per sentimeter padu
T	Suhu
ml	Mililiter
g/mol	Gram per mol
ρ	Ketumpatan
nm	nanometer
V/cm	Voltan per sentimeter
A/cm	Ampere per sentimeter
μ Pa	Mikron paskal
@	Atau

PENGHABLURAN DALAM SISTEM KACA BERASASKAN ABU JERAMI PADI

ABSTRAK

Jerami padi adalah bahan buangan yang banyak didapati di dunia, khususnya di Malaysia. Peluang penggunaan abu jerami padi sebagai sumber silika bagi menghasilkan kaca dan seramik kaca adalah amat cerah kerana abu jerami padi mempunyai kandungan silika yang tinggi. Perbandingan antara seramik kaca mineral silika (SLS0) dan seramik kaca abu jerami padi (SLS1) dalam sistem kaca soda-kapur-silika telah dikaji untuk mengesahkan bahawa abu jerami padi dapat meningkatkan sifat-sifat seramik kaca. Pengabuan jerami padi dilakukan pada suhu 850, 900, 950, 1000, 1050 dan 1100°C. Seterusnya, 1050°C telah dipilih sebagai suhu pengabuan yang optimum berdasarkan analisis pembelauan sinar-X (XRD) dan analisis pendarfluor sinar-X (XRF). Abu jerami padi ini digunakan sebagai salah satu komponen dalam kelompok kaca untuk menghasilkan kaca dan seramik kaca. Kelompok-kelompok kaca berbeza mengikut kuantiti agen penukleusan, TiO₂ iaitu 0% (SLS0 dan SLS1), 2% (SLS0-N dan SLS1-N), 5% (SLS0-N2 dan SLS1-N2) dan 10% (SLS0-N3 dan SLS1-N3) daripada berat kaca. Kaca seterusnya dileburkan pada suhu 1500°C selama 5 jam. Kaca-kaca mineral silika yang terhasil adalah tidak berwarna tetapi menjadi semakin keruh dengan peningkatan TiO₂. Sementara itu, kaca abu jerami padi menunjukkan sedikit warna hijau semula jadi dan warna ini semakin jelas dengan peningkatan kuantiti TiO₂. Namun begitu, kaca abu jerami padi dengan 10% TiO₂ memberikan warna kecoklatan. Warna-warna bagi kaca abu jerami padi yang terhasil boleh dikaitkan dengan komposisi kimia bagi kelompok kaca. Seterusnya, kaca-kaca yang telah disediakan akan diolah haba pada suhu 750°C dan 920°C bagi tiga tempoh rendaman yang berbeza iaitu 2 (GC1), 3 (GC2) dan 5

jam (GC3) untuk menghasilkan seramik kaca. Semua seramik kaca yang terhasil adalah legap tetapi penghabluran tidak berlaku secara menyeluruh. Lapisan hablur berjaya dihasilkan pada permukaan seramik kaca sahaja dan fasa kekaca masih kelihatan pada bahagian dalam seramik kaca. Peratusan lapisan menghablur meningkat dengan peningkatan tempoh rendaman. Penghabluran yang optimum diperoleh daripada kedua-dua jenis seramik kaca dengan penambahan 5% TiO_2 pada tempoh rendaman olahan haba 5 jam yang memberikan peratus ketebalan lapisan menghablur tertinggi bagi seramik kaca mineral silika dan seramik kaca abu jerami iaitu 76.91% dan 68.95% masing-masing. Fasa wolastonit (ICDD: 27-0088) adalah fasa utama yang hadir dalam semua seramik kaca yang dihasilkan dan fasa yang lain yang turut hadir adalah natrium kalsium silikat (ICDD: 23-0671 dan 37-0282) dan kalsium titanium silikat (ICDD: 51-0091). Nilai ketumpatan bagi kaca dan seramik kaca mineral silika dan abu jerami padi adalah tidak begitu ketara perbezaannya. Namun begitu, ia meningkat dengan peningkatan TiO_2 . Selain daripada itu, nilai kekerasan bagi kaca dan seramik kaca abu jerami padi adalah lebih tinggi berbanding kaca dan seramik kaca mineral silika dan ia menunjukkan peningkatan dengan meningkatnya kandungan TiO_2 . Morfologi permukaan patah dapat menggambarkan kekerasan seramik kaca. Oleh sebab nilai kekerasan tidak begitu ketara perbezaannya, iaitu dalam julat 501.6HK – 529.7HK, morfologi permukaan patah bagi kesemua seramik kaca yang terhasil kelihatan tidak jauh berbeza. Namun begitu, morfologi pada permukaan patah bagi semua jenis seramik kaca adalah semakin padat dengan pertambahan tempoh rendaman (2 jam, 3 jam dan 5 jam) pada peringkat penghabluran olahan haba.

CRYSTALLIZATION IN GLASS SYSTEMS BASED ON PADI STALK ASH

ABSTRACT

Rice straw is a waste material, abundantly found in the world, especially in Malaysia. The utilization of rice straw ash as a source of silica to produce glass and glass-ceramic is promising because rice straw ash has a high silica content. The comparison between silica mineral (SLS0) and rice straw ash (SLS1) glass-ceramics in soda-lime-silica glass system was performed to verify that the rice straw ash can enhance the properties of the glass-ceramics. The ashing of rice straw was conducted at 850, 900, 950, 1000, 1050 and 1100°C. Subsequently, 1050°C was selected as the optimum ashing temperature based on X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence (XRF) analyses. This ash was used as a component in the glass batches to produce rice straw glasses and glass-ceramics. The batches of glass are varied by the quantity of the nucleating agent, TiO₂ which was 0% (SLS0 and SLS1), 2% (SLS0-N and SLS1-N), 5% (SLS0-N2 and SLS1-N2) and 10% (SLS0-N3 and SLS1-N3) of the glass weight. The batches were then melted at 1500°C for 5 hours. The silica mineral glasses were colorless but the colour became cloudy with an increase in TiO₂, whilst the rice straw glass formed a natural light green tint colour and the colour became more obvious with an increase in TiO₂. However, the rice straw ash glass with 10% of TiO₂ gave a brownish colour. The colours of the rice straw ash glasses produced can be attributed to the chemical composition of the glass batches. The as-prepared glasses were then heat-treated at 750°C and 920°C for three different soaking times; 2 (GC1), 3 (GC2) and 5 hours (GC3) to produce glass-ceramics. The glass-ceramics produced were opaque but they were not fully crystallized. The crystallized layers were successfully produced only on the surface

of the glass-ceramics whilst the interior of the glass-ceramics still exhibited a glassy phase. The percentage of crystallized layers increased with an increase in soaking time. Optimum crystallization was obtained in the glass-ceramics with an addition of 5% TiO₂ at 5 hours soaking time of heat treatment which have the highest percentage of crystallized layer for silica mineral glass-ceramics and rice straw ash glass-ceramics, viz 76.91% and 68.95%, respectively. Wollastonite (ICDD: 27-0088) was the main phase present in all glass-ceramics produced and other minor phases were sodium calcium silicate (ICDD: 23-0671 and 37-0282) and calcium titanium silicate (ICDD: 51-0091). The density values of silica mineral and rice straw ash glasses and glass-ceramics were not very much different. Nevertheless, it was found to increase with an increase in TiO₂. Much more significantly, the hardness of rice straw ash glasses and glass-ceramics were higher than the silica mineral glasses and glass-ceramics, and this increased with increasing TiO₂ content. The morphologies of the fracture surfaces can depict the hardness of the glass-ceramics. Since the hardness values were not noticeably different, in the range of 501.6HK – 529.7HK, the morphologies of the fracture surfaces were not much different. However, the morphologies of the fracture surfaces for all types of glass-ceramic appeared denser with an increase of soaking time (2 hours, 3 hours and 5 hours) at the crystallization stage for the heat treatment.

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pengenalan

Kajian ini bertujuan untuk mempelbagaikan penggunaan jerami padi di Malaysia dengan penghasilan kaca dan seramik kaca daripada abu jerami padi. Pencirian abu jerami padi perlu dilakukan terlebih dahulu bagi mendapatkan suhu optimum pembakaran jerami padi dan seterusnya menghasilkan kaca dan seramik kaca daripadanya.

Jerami padi adalah salah satu daripada bahan sisa lignoselulosik di dunia yang diperoleh sebagai baki atau lebihan dari proses pengeluaran beras. Jumlah pengeluaran beras dunia adalah ketiga terpenting selepas gandum dan jagung. Statistik *Food and Agricultural Organization (FAO)* berhubung pengeluaran beras tahunan bagi seluruh dunia dalam tahun 2010 adalah kira-kira 672 juta tan (Statistik FAO, 2012). Setiap kilogram tuaian akan disusuli dengan pengeluaran 1–1.5 kg jerami padi (Binod et al., 2010). Ia memberikan anggaran penghasilan jerami padi sebanyak 672–1008 juta tan pada setiap tahun di seluruh dunia yang sebahagian besar daripadanya menjadi sisa pertanian. Pilihan untuk melupuskan jerami padi menjadi terhad disebabkan oleh ketumpatan pukal yang rendah, degradasi perlahan dalam tanah, kecenderungan melindungi penyakit tunjang padi dan kandungan mineral yang tinggi (Binod et al., 2010).

Walaupun sisa itu mengandungi bahan-bahan yang boleh memberi manfaat kepada masyarakat, nilai ketaranya adalah lebih rendah jika dibandingkan dengan kos pengumpulan, pengangkutan dan pemprosesan untuk kegunaan berfaedah. Oleh sebab itu, sisa yang ditinggalkan boleh menyebabkan masalah alam sekitar. Jika sisa boleh digunakan, ia tidak lagi dianggap sisa, tetapi menjadi satu sumber yang baru.

Pelbagai kajian telah dibangunkan dengan menggunakan jerami padi bagi menghasilkan gas atau bahan api (Suramaythangkoor & Gheewala, 2010; Zheng et al., 2012; Binod et al., 2010; Wattanasiriwech et al., 2010) dan juga baja pertanian (Sulaiman, 2011; Lembaga Pemasaran Pertanian Persekutuan, 2011), tetapi penyelidikan dalam menghasilkan kaca atau seramik kaca daripada abu jerami padi adalah amat terhad. Kajian sarjana yang dilakukan ini adalah untuk mengkaji peleburan kaca dan mekanisma penghabluran dalam sistem seramik kaca berasaskan sisa pertanian (jerami padi). Kandungan silika yang tinggi serta komponen-komponen lain yang hadir dalam abu jerami padi membuatnya berkemampuan dalam menghasilkan seramik kaca yang berkualiti.

Seramik kaca adalah bahan polihablur yang disediakan menerusi penghabluran terkawal produk kaca yang telah dibentuk. Sifat seramik kaca adalah bergantung kepada jenis serta peratusan fasa hablur yang terbentuk dan komposisi kaca baki. Oleh sebab itu, penentuan tahap penghabluran dan penyiasatan tentang transformasi kaca induk dalam seramik kaca adalah penting (Karamanov & Pelino, 1999). Penyelidikan ini bermatlamat menukarkan jerami padi kepada produk perindustrian berharga.

1.2 Penyataan Masalah

Orang ramai lebih cenderung untuk memberi perhatian kepada kesan pertanian terhadap persekitaran tetapi kesan pencemaran yang tidak terlihat atau tidak jelas melibatkan kos ekonomi yang terbesar. Sektor pertanian menjejaskan kualiti udara dan atmosfera dalam empat cara yang utama iaitu zarah jirim dan gas rumah hijau (GHG) dari pembersihan tanah dengan pembakaran terutamanya hutan dan sisa-sisa padi; metana daripada pengeluaran beras dan ternakan; nitrus oksida daripada baja dan najis; dan ammonia daripada najis dan urin (FAO, 2012).

Perkembangan dan permintaan bagi meningkatkan pengeluaran padi pada masa kini akan menyebabkan pertambahan aktiviti pembakaran jerami padi secara terbuka. Kegiatan ini akan mewujudkan beberapa masalah kepada persekitaran terutamanya kualiti udara. FAO (2012) melaporkan bahawa pelepasan gas rumah hijau daripada sektor pertanian kini menyumbang 30 peratus daripada jumlah pencemaran dunia yang disebabkan oleh kegiatan manusia. Sebanyak 40 peratus daripada 540 juta tan pembebasan metana di dunia setiap tahun turut berpunca daripada sektor pertanian dan pengeluaran padi menyumbang 11 peratus daripadanya.

Pembakaran secara terbuka juga masih diamalkan oleh petani-petani di Malaysia. Menurut Husin (2010), tindakan petani Paya Paman, Chukai melakukan pembakaran sisa jerami padi dan rumput kering di tanah sawah bagi membersihkannya menyebabkan laluan jalan Air Putih ke Bandar Chukai diselubungi asap tebal sehingga membahayakan pengguna jalan raya kerana jarak penglihatan menjadi terhad. Selain daripada itu, pembakaran terbuka itu juga turut memberi kesan pencemaran alam sekitar yang boleh menjejaskan kesihatan orang ramai.

Pada tahun 2004, satu kemalangan telah berlaku di Kilometer 59.8 Lebu Raya Utara-Selatan, dekat Kobah, Kedah yang melibatkan 21 buah kenderaan termasuk yang merempuh antara satu sama lain apabila terperangkap dalam kepulan asap tebal hasil pembakaran jerami padi (Utusan Malaysia, 2004). Utusan Malaysia (2004) turut melaporkan bahawa pada 13 Mac tahun sebelumnya di Kilometer 60.4, kira-kira satu kilometer sahaja dari tempat kejadian, telah berlaku kemalangan melibatkan 20 buah kenderaan. Kemalangan besar itu turut mengulang sejarah 25 Julai 1999 apabila 21 buah kereta berlanggar antara satu sama lain di Kilometer

160.9 Lebu Raya Utara-Selatan, dekat Jawi, Seberang Perai yang berpunca daripada pembakaran terbuka jerami padi (Utusan Malaysia, 2004).

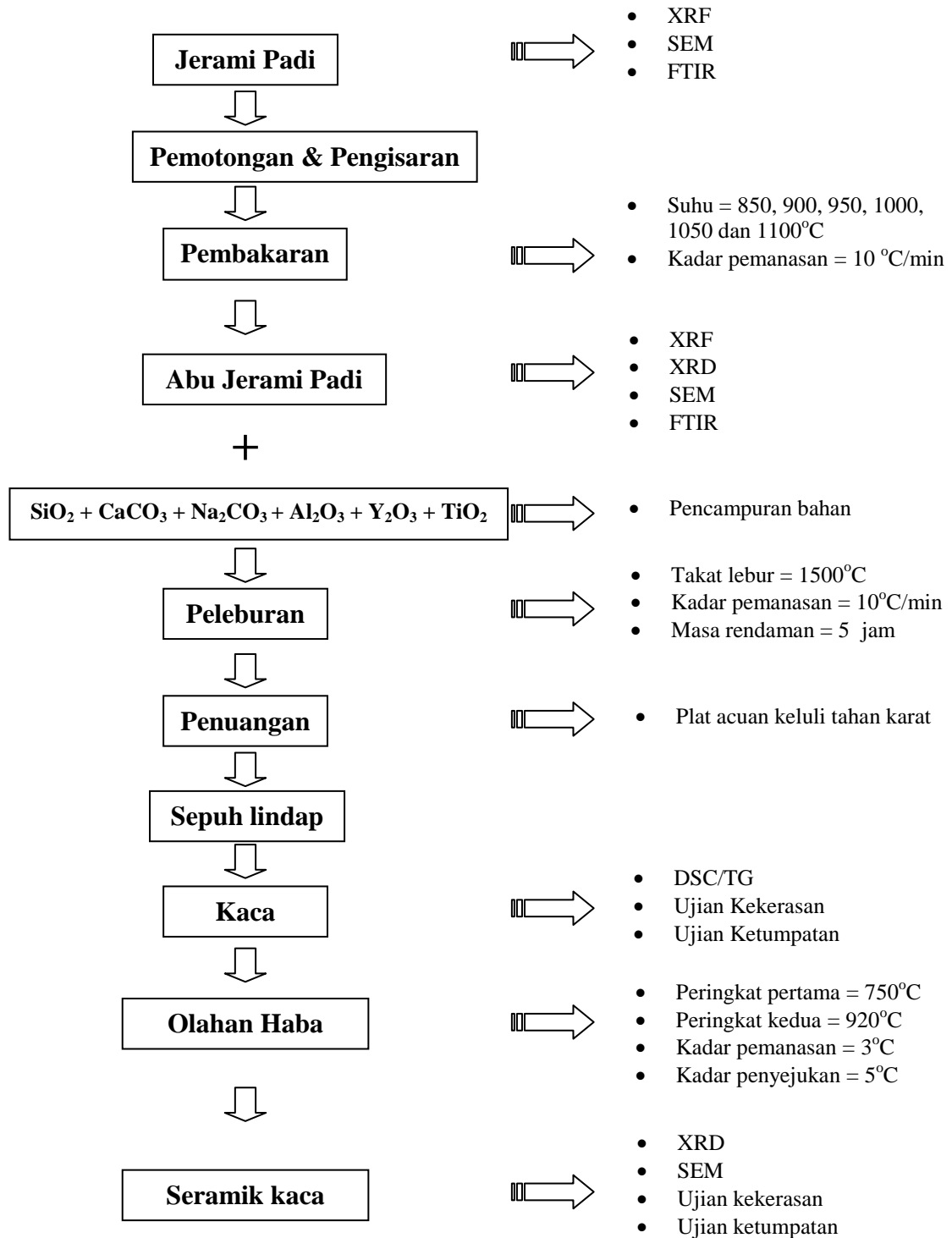
Oleh sebab itu, dalam usaha mengurangkan pembakaran jerami padi secara terbuka ini, banyak pihak telah menjalankan penyelidikan dalam menghasilkan produk-produk yang berasaskan jerami padi seperti gas, etanol dan baja (Matsumura et al., 2005; Binod et al., 2010; Karimi et al., 2006). Selain daripada mengelakkan masalah-masalah yang timbul, inovasi tersebut juga diharapkan dapat menambahkan pendapatan para petani. Kajian ini bertujuan untuk menambahkan kepelbagaian penggunaan jerami padi dan mengkaji penghabluran dalam sistem kaca berasaskan jerami padi.

1.3 Objektif

- Untuk mendapatkan suhu pembakaran yang optimum bagi menghasilkan abu jerami padi.
- Untuk mengurangkan penggunaan mineral silika dalam penghasilan kaca dengan menggunakan abu jerami padi.
- Untuk menghasilkan kaca dan seramik kaca dengan sifat-sifat yang baik menggunakan abu jerami padi.
- Untuk mengkaji penghabluran dalam sistem seramik kaca.

1.4 Pendekatan Kajian

Ringkasan gerak kerja penyelidikan yang telah dilakukan dalam menghasilkan seramik kaca bagi kajian ini adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.1.



Rajah 0.1: Carta alir proses penghasilan seramik kaca

BAB 2

KAJIAN PERSURATAN

2.1 Pengenalan

Projek penyelidikan ini menggunakan bahan buangan pertanian iaitu jerami padi yang mudah didapati di Malaysia. Abu jerami padi mengandungi kandungan silika yang tinggi dan ini membolehkannya digunakan sebagai salah satu komponen dalam penghasilan kaca dan seramik kaca bagi menggantikan atau mengurangkan penggunaan mineral silika.

2.2 Penanaman Padi

Beras merupakan makanan ruji penduduk Asia terutamanya di Malaysia. Peningkatan pengeluaran beras ini akan menyebabkan pertambahan hasil sampingannya seperti sekam dan jerami padi. Jerami padi merupakan sisa tanaman lignoselulosik yang sangat mudah didapati di dunia. Pengeluaran tahunannya adalah kira-kira 731 juta tan yang meliputi Afrika, Asia, Eropah dan Amerika (Binod et al., 2010).

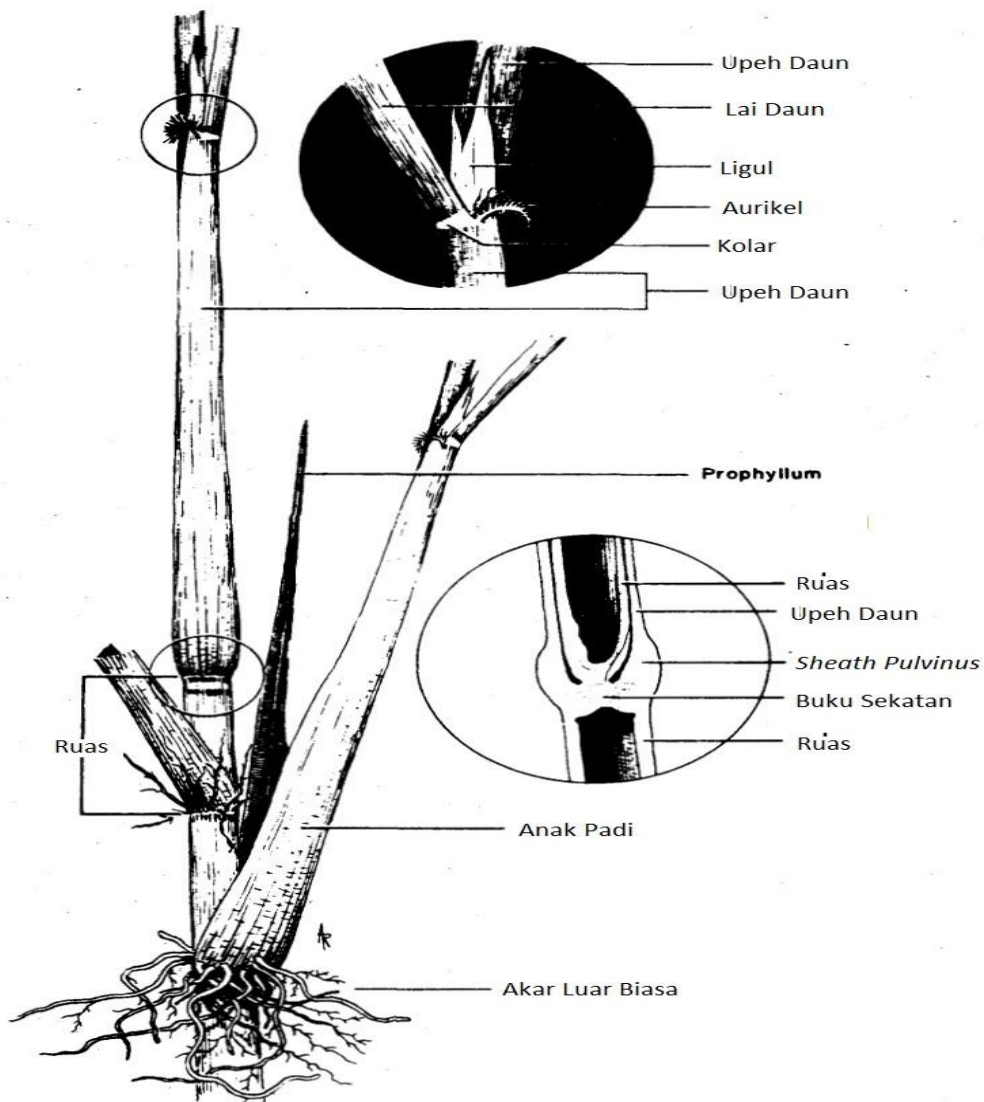
Nama saintifik bagi pokok padi adalah *Oryza sativa* dan tergolong dalam famili *Poacea* (Chang, 1965). Morfologi pokok padi dapat diperhatikan pada Rajah 2.1. Pokok padi terdiri daripada bahagian daun, batang, bunga dan biji padi.

Menurut Chang (1965), batang padi terdiri daripada buku (*nodes*) dan ruas (*internode*) dan ruas muda adalah licin dan padat manakala ruas matang mempunyai bahagian dalam berliang dan bergerigi.

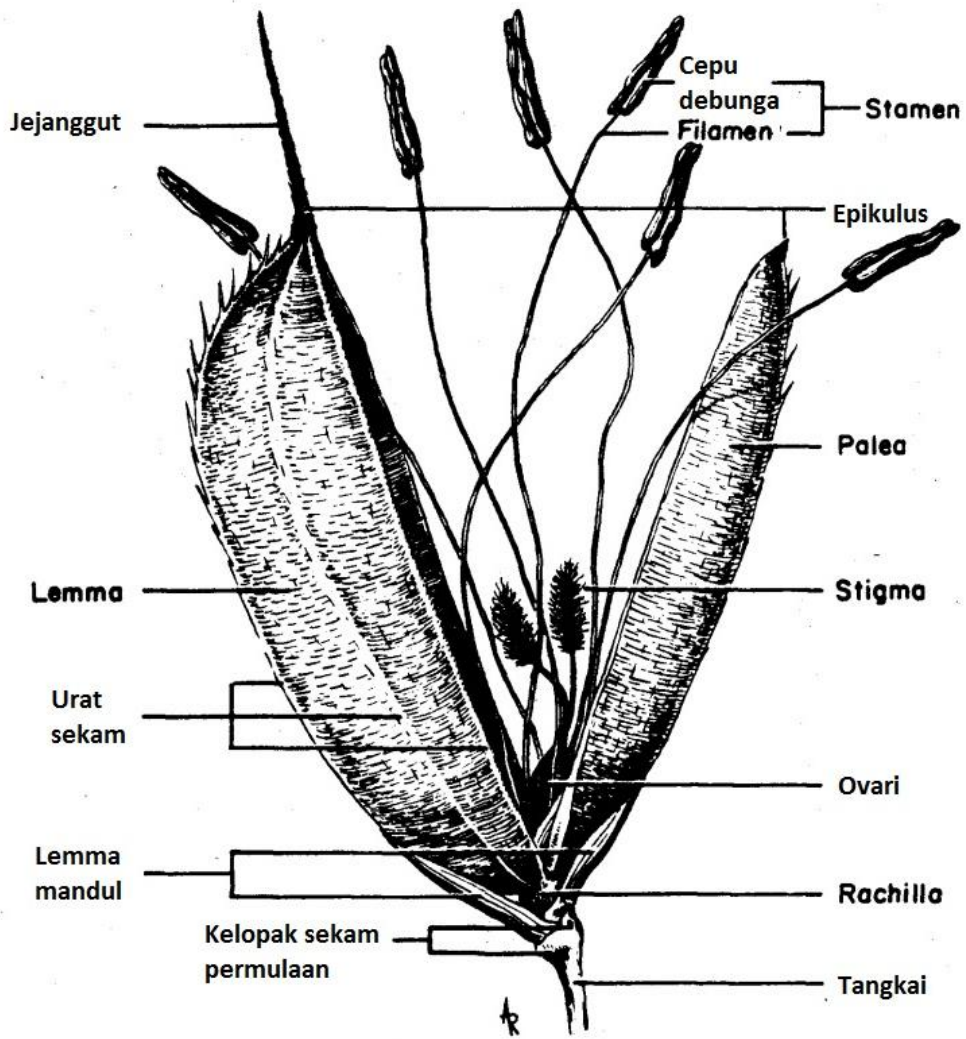
Pada bahagian batang dan ruas, terdapat daun dan kudup (bunga) yang dapat membesar menjadi anak padi. Spikelet (bunga padi) mempunyai dua kelopak yang melindungi bahagian-bahagian dalam bunga seperti yang digambarkan dalam Rajah

2.2. Spikelet terdiri daripada stamen, epikulus, stigma, ovari, lemma dan palea, anak jentu (rachilla), lemma mandul, pedikel dan janggut (Chang, 1965).

Jujuk-jujuk utama yang terdapat dalam jerami padi adalah selulosa (32–47%), hemiselulosa (19–27%), lignin (5–24%) dan abu (13–20%) . Komponen yang terdapat dalam abu jerami padi bergantung kepada jenis padi, iklim serta lokasi geografi pertumbuhan padi tersebut (Zaky et al., 2008).



Rajah 2.1: Morfologi pokok padi (Chang, 1965)



Rajah 2.2: Morfologi Spikelet Padi (Chang, 1965)

Berdasarkan Jabatan Perangkaan Malaysia (2011) dan Jabatan Pertanian Malaysia (2012), keluasan penanaman dan pengeluaran padi di Malaysia dari tahun 2007 hingga 2011 adalah semakin meningkat dari tahun ke tahun. Ringkasan perangkaan keluasan penanaman dan pengeluaran padi ini dapat dilihat pada Jadual 2.1.

Pelbagai jenis padi telah dibangunkan dan ditanam di Malaysia seperti yang telah disenaraikan dalam Jadual 2.2. Menurut Nasarudin (2010), jenis padi yang banyak ditanam di Malaysia pada masa kini adalah dari jenis MR 219 dan MR 220. Padi MR 219 dan MR 220 dihasilkan melalui kacukan antara baka MR 137 dan MR 151. Jenis-jenis padi ini mempunyai kerintangan yang sangat baik terhadap tiga perosak utama padi iaitu penyakit karah, hawar daun bakteria serta penyakit merah (Pejabat Pertanian Daerah Manjung, 2009).

Jadual 2.1: Perangkaan Keluasan Penanaman dan Pengeluaran Padi Malaysia, 2007 – 2011 (Jabatan Pertanian Malaysia, 2012; Jabatan Perangkaan Malaysia, 2011)

Tahun	Keluasan Penanaman (Hektar)	Pengeluaran Padi (Tan)
2007	676,111	2,375,604
2008	656,602	2,353,032
2009	674,928	2,511,043
2010	677,884	2,548,000
2011	687,516	2,575,988

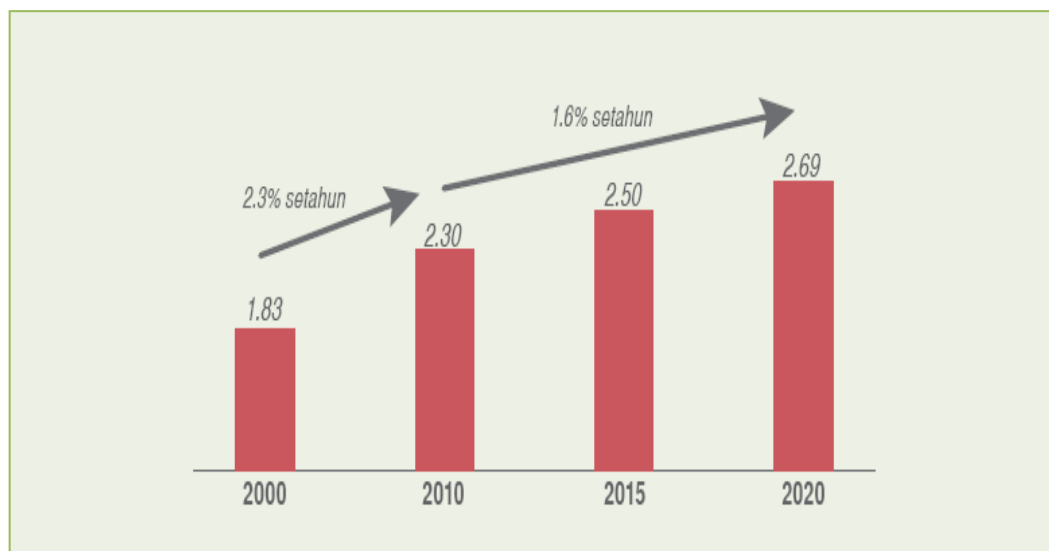
Jadual 2.2: Senarai variasi padi yang telah diisytihar oleh MARDI (Nasarudin, 2010)

Bil.	Variasi	Tahun Isytihar	Umur Matang (hari)	Hasil Potensi Tan/Hektar	Catatan
1	MALINJA	1964	137-147	2.5 – 4.0	
2	MAHSURI	1965	134-138	3.0 – 4.5	
3	RIA	1966	125-127	4.5 - 5.6	
4	BAHAGIA	1968	137-145	3.5 – 5.0	
5	MURNI	1972	135-140	4.0 -.5.6	
6	MASRIA	1972	123-126	3.0 – 4.4	pulut
7	JAYA	1973	123-127	3.5-5.0	
8	SRI MALAYSIA I	1974	135-145	4.5-5.5	
9	SRI MALAYSIA II	1974	128-130	3.9-5.0	
10	PULUT MALAYSIA I	1974	135-145	3.9-5.0	pulut
11	SETANJUNG (MR 1)	1979	135-143	4.1-6.3	
12	SEKENCANG (MR 7)	1979	120-125	3.1-5.0	
13	SEKEMBANG (MR 10)	1979	140-146	3.2-5.8	
14	KADARIA (MR 27)	1981	125-132	2.9-5.0	
15	PULUT SIDING (MR 47)	1981	135-143	2.7-4.7	pulut
16	MANIK (MR 52)	1984	140-145	4.0-5.0	
17	MUDA (MR 71)	1984	126-132	5.0-5.5	
18	SEBERANG (MR 77)	1984	133-135	5.0-5.5	
19	MAKMUR (MR73)	1985	130-140	4.5-5.5	
20	MR 84	1986	124-137	4.0-6.2	
21	MR 81	1988	132-137	4.2-6.0	
22	MR 103	1990	124-140	4.6-6.3	
23	MR 106	1990	125-140	4.5-7.1	
24	PULUT HITAM	1990	132-136	3.8-4.7	pulut
25	MR 123	1991	114-120	4.8-6.1	
26	MR 127	1991	120-128	4.7-6.0	
27	MR 159	1995	124-139	3.0-5.4	rintang PMY
28	MR 167	1995	121-132	4.0-6.0	
29	MR 185	1997	112-119	6.0-9.2	
30	MR 211	1999	99-100	6.0-9.6	matang awal
31	MRQ 50	1999	123	4.0-5.0	wangi
32	MR 219	2001	105-111	6.5-10.7	
33	MR 220	2003	105-113	5.0-9.6	
34	MRQ 74	2005	125	4.5-5.5	wangi
35	MR 232	2006	103-113	6.5-8.7	

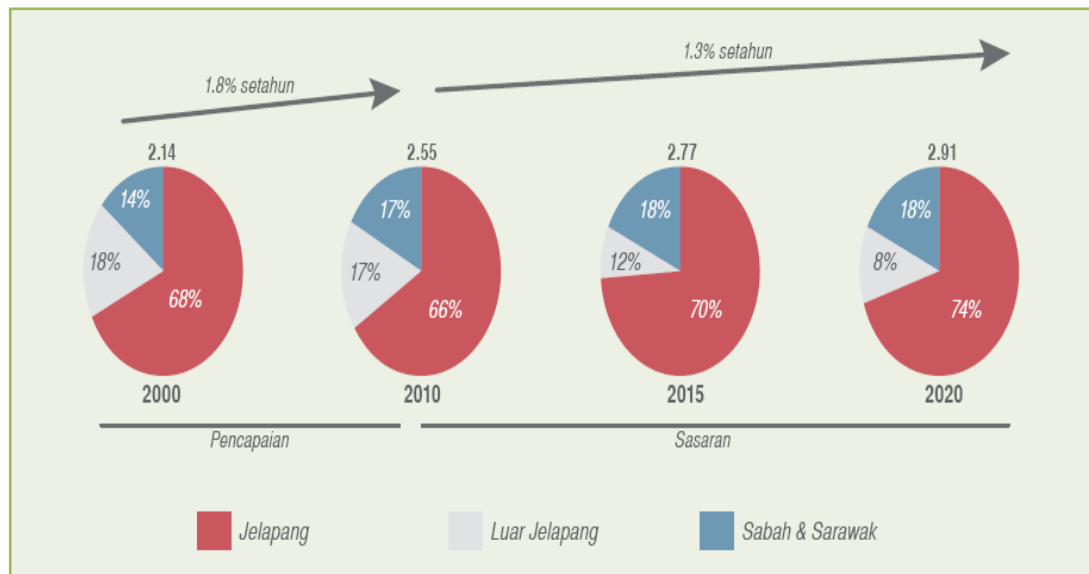
2.3 Penggunaan Jerami Padi dan Abu Jerami Padi

Pada masa kini, pembakaran secara terbuka adalah amalan utama untuk melupuskan jerami padi, tetapi ia meningkatkan pencemaran udara dan seterusnya menjejaskan kesihatan awam.

Menurut Lembaga Pemasaran Pertanian Persekutuan (2011), penggunaan beras dijangka akan meningkat daripada 2.30 juta tan metrik pada tahun 2010 kepada 2.69 juta tan metrik pada tahun 2020 iaitu pertumbuhan sebanyak 1.6% setiap tahun disebabkan oleh pertambahan penduduk (Rajah 2.3). Pengeluaran padi pula dijangka meningkat daripada 2.55 juta tan metrik pada tahun 2010 kepada 2.91 juta tan metrik pada tahun 2020 iaitu pertumbuhan sebanyak 1.3% setiap tahun (Rajah 2.4).



Rajah 2.3: Pencapaian dan unjuran penggunaan beras, 2000 – 2020; juta tan metrik (Lembaga Pemasaran Pertanian Persekutuan, 2011)



Rajah 2.4: Pencapaian dan unjuran pengeluaran padi mengikut kawasan, 2000 – 2020, juta tan metrik (Lembaga Pemasaran Pertanian Persekutuan, 2011)

Seiring dengan peningkatan permintaan pengeluaran beras, usaha dalam menggalakkan penggunaan bahan sampingan seperti jerami padi dan sekam padi untuk menghasilkan produk sampingan seperti makanan ternakan, bahan binaan, bahan api bio (*biofuel*), media tanaman, baja organik dan lain-lain akan turut dipergiat (Lembaga Pemasaran Pertanian Persekutuan, 2011).

Pelet makanan ternakan daripada jerami padi telah dicipta serta dikomersialkan oleh syarikat Watanwaja Agrofarm Sdn. Bhd. (WAF) yang terletak di Simpang Lima, Sungai Besar, Selangor (Azmi, 2011). Pihak Lembaga Kemajuan Pertanian Muda (MADA) telah menandatangani memorandum persefahaman (MoU) dengan Jabatan Alam Sekitar (JAS) Malaysia pada 20 Ogos 2007 bagi menjalankan projek pengkomposan jerami padi menggunakan cacing. Ini adalah hasil perbincangan MADA-JAS Negeri Kedah bagi menangani masalah pembakaran terbuka jerami padi yang berleluasa (Kementerian Pertanian dan Asas Tani, 2010).

Selain itu, baja jerami padi turut dihasilkan oleh syarikat berasaskan bioteknologi dan berstatus BioNexus (status yang dianugerahkan oleh Perbadanan

Bioteknologi Malaysia), MyAgri. Ia dilakukan melalui proses pereputan jerami padi dengan menggunakan produk berasaskan mikrob. Produk D'Comp bio-Plus merupakan produk utama keluaran MyAgri (Sulaiman, 2011).

Oleh kerana perubahan iklim diakui memberi ancaman kepada pembangunan, minat terhadap kegunaan alternatif bagi sisa agro-industri untuk aplikasi tenaga semakin berkembang. Dalam konteks ini, jerami padi menjadi pilihan yang berpotensi untuk keperluan tenaga pada masa hadapan.

Asia dapat mengeluarkan sisa jerami padi dengan kuantiti yang besar iaitu 667.59 juta tan dan secara teorinya jumlah yang menyamai 668 juta tan ini dapat menghasilkan 282 bilion liter etanol jika teknologi pengurusannya telah sedia ada (Binod et al., 2010). Kajian Binod et al. (2010) memberi gambaran keseluruhan teknologi sedia ada untuk penghasilan bioetanol menggunakan jerami padi.

Teknologi untuk menukarkan bahan mentah kepada etanol telah dibangunkan dengan dua platform yang boleh dirujuk iaitu platform gula dan platform sintesis gas (Binod et al., 2010). Jadual 2.3 menunjukkan hasil etanol yang boleh diterbitkan daripada komposisi karbohidrat yang tertentu.

Jadual 2.3: Komposisi karbohidrat dan nilai teori hasil etanol daripada jerami padi
(Binod et al., 2010)

Selulosa (komposisi karbohidrat)	38.6%
Hemiselulosa (komposisi karbohidrat)	19.7%
Nilai teori hasil etanol (L/kg kering)	0.42
Nilai teori hasil etanol (gal/MT kering)	110

Di Mesir, jumlah jerami padi yang dilupuskan setiap tahun adalah kira-kira 3 juta tan dan kerajaan Mesir telah membina 2 unit platform untuk menukarkan jerami

padi dalam bentuk gas untuk digunakan sebagai bahan api (Zaky et al., 2008). Ran et al. (2012) turut menyatakan lignoselulosa adalah sumber tenaga yang boleh diperbaharui dan mesra alam untuk menghasilkan bahan api bio seperti H₂ yang dianggap sebagai alternatif paling baik bagi bahan api fosil.

Selain digunakan sebagai sumber tenaga, Ruangtawee et al. (2011) pula mengkaji kandungan silika yang terdapat dalam abu-abu biojisim yang utama di Thailand untuk penghasilan kaca seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.4. Abu jerami padi mempunyai kandungan silika yang tinggi dan dapat digunakan sebagai salah satu sumber silika dalam pembentukan kaca (Chackraverty & Kaleemullah, 1991; Abdel-Mohdy et al., 2009).

Jadual 2.4: Kandungan silika dalam abu-abu biojisim yang utama di Thailand
(Ruangtawee et al., 2011)

Jenis Biojisim	Suhu(°C)	Kandungan Silika (%)			
		400	600	800	1000
Sekam padi		85.0	85.9	90.4	92.1
Daun tebu		68.0	69.7	65.6	67.9
Jerami padi		69.9	71.6	81.2	85.0
Pokok kayu putih (Eucalyptus)		2.1	1.5	1.7	1.5
Hampas tebu		47.3	49.7	53.1	63.7
Tangkai daun kelapa sawit		65.7	67.7	60.3	65.2
Tandan kelapa sawit		46.8	47.7	44.4	48.0
Tempurung kelapa		12.1	9.3	12.9	25.4
Batang jagung (Corn Stubble)		34.6	34.1	33.6	39.8
Ubi kayu		1.4	0.9	5.3	9.5
Kayu pokok getah		10.9	8.0	7.7	5.4

2.4 Sejarah Perkembangan Kaca

Kaca mengikut takrifan *American Society for Testing and Materials*, ASTM (1945) adalah hasil pelakuran bahan tak organik yang telah menyejuk kepada keadaan tegar tanpa berlaku penghabluran (Othman, 2005).

Kaca adalah salah satu daripada bahan yang pertama digunakan oleh generasi awal. Mereka menggunakan kaca yang terhasil daripada alam semula jadi yang dikenali sebagai obsidian. Obsidian digunakan untuk membuat kapak, pisau, mata anak panah, dan alat-alat yang hampir sama kegunaannya yang banyak dijumpai di seluruh dunia.

Masa sebenar manusia belajar membuat kaca tidak diketahui tetapi dipercayai bahawa kaca dihasilkan di Parsi sekitar 7,000 SM. Serpihan kaca hijau legap muncul sekitar 5,000 SM dan serpihan-serpihan barangan kaca banyak ditemui di Mesir (Morey, 1954).

Kaca yang pertama dihasilkan adalah untuk tujuan hiasan. Ia adalah batuan atau bebola kecil. Batu permata kaca yang berharga dihasilkan di Mesir dan diperkenalkan kepada negara-negara lain. Sebagai pertukaran, orang Mesir akan kembali dengan emas, gading dan barang berharga yang lain. Bermula 3,000 tahun dahulu, botol dan mangkuk kaca yang kecil turut dihasilkan (Persson, 1983).

Pembangunan teknologi kaca yang penting adalah dengan penggunaan paip tiup (*blow pipe*) pada abad pertama atau kedua sebelum masihi. Teknik ini dapat menghasilkan kaca yang berongga yang boleh diperolehi pada harga yang berpatutan serta untuk kegunaan harian seperti bekas simpanan dan pasu (Melcher et al., 2010). Selepas penggunaannya, perkembangan teknik dan pembuatan kaca menjadi semakin pesat.

Semasa Empayar Rom, pengeluaran kaca adalah meluas yang merangkumi pelbagai bidang. Ini disahkan dengan penemuan kaca yang kebanyakannya dalam kehidupan seharian dan seni bina *domus* (kediaman). Malangnya, beberapa kaca termusnah semasa letusan gunung berapi Vesuvius pada 79 Masihi (Francesco et al., 2010).

Pada abad pertama Masihi, kaca tingkap banyak digunakan di gereja dan biara. Kaca pertama telah diwarnakan disebabkan kehadiran pelbagai bendasing seperti oksida daripada besi dan kadmium. Kaca yang tidak berwarna dikatakan pertama kali dihasilkan 1,500 tahun dahulu (Persson, 1983).

Pada masa itu, pembuatan kaca dibangunkan di Rom dan ia menular ke negara-negara lain di Eropah. Kerja mengenai kaca banyak dipelopori di Venice dan perkembangan penting bermula abad ke-11. Pada tahun 1291, kilang di Venice telah berpindah ke pulau berdekatan iaitu Murano. Murano masih menjadi pusat pengeluaran kaca hasilan tangan di Itali (Morey, 1954).

Pada abad ke-16, kaca dihasilkan di seluruh Eropah. Kaca Bohemia sangat terkenal disebabkan kecantikannya. Kilang kaca di England telah mengeluarkan pinggan mangkuk kaca kristal plumbum yang bermutu tinggi. Sweden terkenal dengan barangan kaca kristal yang berseni (Persson, 1983).

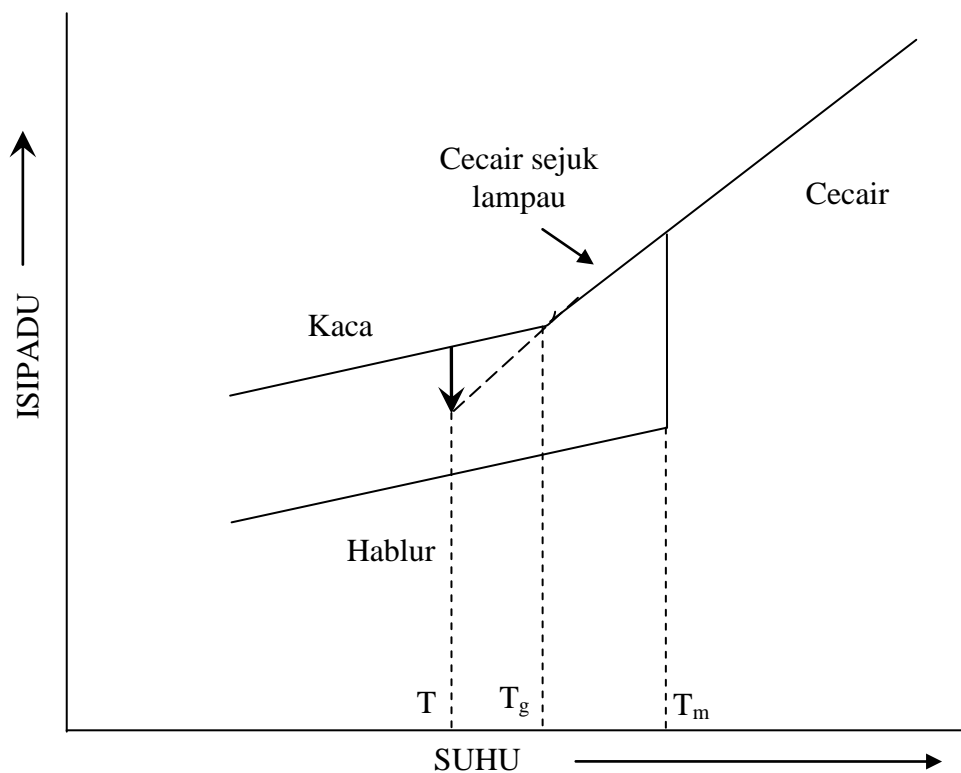
Sektor pembuatan pertama yang ditubuhkan di Amerika adalah kilang kaca. Peneroka Inggeris mula menghasilkan kaca di Amerika pada permulaan abad ke-17 di James Towne, Virginia (Persson, 1983).

Pada masa kini, kaca dihasilkan di kebanyakan negara di seluruh dunia. Banyak produk kaca dihasilkan dalam susunan proses yang sepenuhnya automatik. Walaupun kaca adalah salah satu bahan yang agak lama, sifat kaca yang unik dan

masih belum diketahui sepenuhnya menjadikan kaca satu bahan yang paling menarik untuk dikaji dan diteroka.

2.5 Pengenalan Kaca

Perbezaan isipadu dengan suhu bagi sesuatu bahan yang boleh wujud dalam tiga keadaan jirim perlu diambil kira untuk memahami perkaitan antara keadaan kekaca, pepejal dan cecair seperti yang dilakarkan dalam Rajah 2.5. Bermula dengan suhu yang tinggi pada penghujung gambarajah, cecair disejukkan kepada takat lebur (T_m). Ia akan sama ada menjadi pepejal hablur dengan perubahan isipadu yang tak selanjar atau terus sebagai cecair sejuk lampau di bawah suhu ini. Adalah penting untuk dimaklumi bahawa cecair sejuk lampau berada dalam keadaan seimbang termodinamik dalaman iaitu strukturnya mempunyai tenaga bebas yang rendah daripada struktur berdekatan (Jones, 1971; Rawson, 1980).



Rajah 2.5: Perkaitan antara keadaan kekaca, cecair dan pepejal (Jones, 1971)

Jika disejukkan secara berperingkat di bawah takat lebur, pasti terdapat perbezaan dalam tenaga bebas antara pepejal seimbang dan keadaan cecair. Oleh sebab itu, kecenderungan peningkatan dalam penghabluran atau penyahkacaan dapat diperhatikan. Walau bagaimanapun, ketiadaan nukleus yang bersesuaian akan menyebabkan cecair sejuk lampau akan tampak hampir stabil sepenuhnya kecuali dalam julat yang agak terhad (Jones, 1971).

Pada suhu tertentu keluk isipadu melawan suhu untuk cecair lampau sejuk menunjukkan satu pembengkokan dan diteruskan dengan keluk yang baru yang hampir sama dengan keluk hablur. Rantau suhu seterusnya terbentuk disebabkan suhu transformasi, T_g . Keluk yang menarik perhatian adalah bawah T_g , keluk tidak lagi dalam keseimbangan. Jika penyejukan dihentikan dan ditetapkan pada suhu T , kaca akan terus terjadi secara perlahan (ditunjukkan oleh anak panah) sehingga isipadu yang sepadan dengan keluk keseimbangan yang boleh dilihat pada garis putus-putus (Jones, 1971).

Sesuatu cecair atau cecair sejuk lampau yang mempunyai kelikatan antara 10^{12} hingga poise, ia dipanggil kaca. Nilai kelikatan atau suhu transformasi, T_g boleh mengenalpasti sempadan antara cecair atau cecair sejuk lampau dan keadaan kekaca (Rawson, 1980).

Hasilan kaca dapat dikelaskan kepada beberapa kategori iaitu mengikut bentuk akhir, mengikut sebatian pembentuk kaca dan mengikut sebatian komposisi kimia. Bentuk akhir kaca terdiri daripada kaca leper, kaca bekas, gentian kaca atau kaca khas. Sebatian pembentuk kaca pula terdiri daripada kaca oksida dan kaca bukan oksida. Contoh kaca oksida adalah kaca silikat (SiO_2), kaca fosfat (P_2O_5), kaca germanat (Ge_2O_3) dan kaca borat (B_2O_3). Sebaliknya, kaca bukan oksida pula adalah kaca kalkogenida dan kaca halida. Kaca soda-kapur-silika ($\text{Na}_2\text{O-CaO-SiO}_2$), kaca

borosilikat, kaca aluminosilikat dan kaca plumbum pula dikategorikan mengikut sebatian komposisi kimia (Othman, 2005).

Kaca soda-kapur silika adalah kaca yang banyak dihasilkan di dunia. Kebiasaannya, kaca soda-kapur silika mempunyai lebih kurang 70% berat SiO_2 dan yang selebihnya adalah terutama sekali Na_2O (soda) dan CaO (kapur) (Callister, 2003). Komposisi bagi beberapa jenis yang biasa dijumpai dapat dilihat pada Jadual 2.5.

Jadual 2.5: Komposisi dan ciri bagi beberapa kaca komersial (Callister, 2003)

Jenis Kaca	Komposisi (%berat)						Ciri-ciri dan Aplikasi
	SiO_2	Na_2O	CaO	Al_2O_3	B_2O_3	Lain	
Silika terlakur	>99.5						Takat lebur tinggi, pengembangan terma yang sangat rendah – kanta
96% Silika (Vycor)	96				4		Rintangan kejutan terma dan kimia – perkakas makmal
Borosilikat (Pyrex)	81	3.5		2.5	13		Rintangan kejutan terma dan kimia – perkakas ketuhar
Kaca Bekas (soda-kapur)	74	16	5	1		4MgO	Takat lebur rendah, mudah dikerjakan dan tahan lama – botol kaca
Gentian kaca	55		16	15	10	4MgO	Mudah ditarik dalam gentian – komposit kaca-resin
Flin Optik	54	1				37PbO , $8\text{K}_2\text{O}$	Ketumpatan dan indeks biasan tinggi – lensa optik
Seramik kaca (Pyroceram)	43.5	14		30	5.5	6.5TiO_2 , $0.5\text{As}_2\text{O}_3$	Mudah difabrikasi; kuat; kerintangan kejutan terma - perkakas ketuhar

2.6 Teori Pembentukan Kaca

Pembentukan kaca digarap daripada teori-teori pembentukan yang telah dicadangkan oleh Goldschmidt iaitu Kriteria Nisbah Jejari Goldschmidt dan dikembangkan oleh Zachariasen dalam Hipotesis Rangkaian Rawak Zachariasen.

2.6.1 Kriteria Nisbah Jejari Goldschmidt

Dalam tahun 1926, Goldschmidt yang dianggap sebagai pengasas kimia hablur moden, memerhatikan bahawa wujud pertalian 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 dan anion ini ada kesan ke atas struktur hablur ion kerana ini menentukan bilangan anion yang boleh dipadatkan sekeliling sesuatu kation. Kebanyakan hablur yang mempunyai nisbah jejari 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 di sekeliling kation A adalah satu kemestian untuk pembentukan kaca (Othman, 2005).

2.6.2 Hipotesis Rangkaian Rawak Zachariasen

Pada tahun 1932, Zachariasen telah memperluas dan memberikan asas logik kepada pemerhatian Goldschmidt. Pada mulanya, beliau mengatakan bahawa kriteria Goldschmidt tidak begitu memuaskan walaupun sebagai suatu peraturan empiris kerana tidak semua oksida yang mempunyai nisbah jejari berkenaan membentuk kaca, contohnya BeO. Beliau menganalisis masalah tersebut seperti berikut:

- i. Daya dalam kaca oksida mesti 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 rangkaian dalam kaca adalah tidak simetri dan berkala seperti mana pada hablur.

- iii. Rangkaian kaca dicirikan oleh suatu “unit sel” yang infinit besarnya dan mengandungi bilangan atom yang infinit di mana tidak ada dua daripadanya mempunyai struktur yang setara.

Jika bentuk kaca hendak mempunyai tenaga dalaman yang hanya sedikit lebih tinggi daripada bentuk hablur, Zachariasen percaya bahawa ia mesti mengandungi polihedron yang sama jenis seperti dalam hablur dan disambungkan dengan cara yang serupa. Oleh kerana bentuk berhablur silika mengandungi tetrahedron SiO_4 yang bersambungan di penjuru, silika kekaca mesti turut mengandungi tetrahedron SiO_4 yang bersambungan dipenjurunya. Perbezaan antara bentuk berhablur dan kekaca adalah arah terpilih relatif tetrahedron bersebelahan dalam kaca silika kekaca adalah terbolehubah manakala dalam silika berhablur, ianya adalah malar pada keseluruhan struktur.

Peraturan yang digariskan oleh Zachariasen adalah:

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. Jika rangkaian itu adalah tiga dimensi, sekurang-kurangnya tiga penjuru setiap polihedron mesti dikongsi.

Jika oksida yang berformula A_2O dan AO tidak dapat mematuhi peraturan ini, ia seharusnya tidak dapat membentuk kaca. Ini terbukti 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:

- a) Oksida-oksida A_2O_3 jika oksigen membentuk segitiga disekeliling atom A.
- b) Oksida-oksida AO_2 dan A_2O_5 jika oksigen membentuk tetrahedron, dan
- c) Oksida-oksida AO_3 , A_2O_7 dan AO_4 jika oksigen membentuk oktahedron.

Oleh sebab itu, peraturan 2 boleh dikhususkan kepada bilangan oksigen mengelilingi A mestilah 3 dan 4. 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 pada masa kertas kerja Zachariasen dikemukakan kerana semuanya mematuhi peraturan Zachariasen.

Berdasarkan teori Zachariasen, dapat dirumuskan bahawa semua kaca oksida mesti mengandungi suatu jumlah besar pelbagai kation pembentuk kaca atau kation lain yang boleh menggantikannya secara isomorfus. Ini termasuk kation Al^{3+} yang diketahui boleh menggantikan Si^{4+} secara isomorfus dalam banyak struktur silikat.

Hipotesis Zachariasen turut mendapat kritikan awal daripada:

- i) Morey (1934) iaitu pernyataan bahawa kestabilan kaca ditentukan oleh tenaga dalaman hablur yang setara adalah tidak betul.
- ii) Haag (1935) pula mengatakan bahawa tidak perlu dianggap kaca oksida mesti mempunyai struktur yang bercirikan rangkaian tiga dimensi yang infinit.

Namun begitu, secara keseluruhannya, Hipotesis Zachariasen boleh dianggap sebagai memberi sumbangan yang berharga kerana ia memperkenalkan prinsip dan konsep kimia hablur dalam kajian kaca organik (Othman, 2005).

2.7 Oksida Pembentuk Kaca

Oksida B, Si, P, Ge, As, Sb dapat membentuk kaca dengan sendirinya. Oksida Al, Ga, Ti, C, N, V, Bi, S, Se, Mo, Te, dan W tidak boleh membentuk kaca dengan sendiri, iaitu mesti bergabung dengan unsur lain.

Teori pembentukan kaca menyatakan, komposisi kaca terdiri daripada pembentuk rangkaian (oksida asid), pengubahsuai rangkaian (oksida bes) dan oksida perantara (amfoterik) (McMillan, 1964).

2.7.1 Pembentuk Rangkaian

Oksida yang dapat membentuk kaca apabila dileburkan dan disejukkan dipanggil pembentuk rangkaian kerana kemampuannya untuk membina rangkaian rawak tiga dimensi (McMillan, 1964).

2.7.1.1 Silika

Silika atau silikon dioksida, SiO_2 mempunyai takat lebur pada 1720°C dengan berat molekul 60.1. Silika boleh didapati secara meluas iaitu 59 peratus berat daripada kerak bumi. Kebiasaannya, silika wujud dalam bentuk kuarza dan tidak boleh larut dalam semua asid kecuali asid hidroflorik tetapi mudah diserang oleh alkali kaustik panas (Othman, 2005)

2.7.1.2 Boron oksida

Boron oksida atau boria tak wujud secara bebas dan biasanya wujud dalam bentuk asid borik (H_3BO_3) atau borat. Boron oksida (B_2O_3) dapat membentuk kaca dengan sendiri. Ia digunakan dalam enamel suhu rendah dan bersama-sama silika dalam kumpulan penting kaca borosilikat (Othman, 2005).

2.7.2 Pengubahsuai Rangkaian

Pengubahsuai rangkaian adalah antara oksida yang tidak dapat membina jaringan terus dan ia memberi kesan dengan melemahkan rangkaian kaca (McMillan, 1964). Natrium oksida adalah sangat baik sebagai pengubahsuai rangkaian. Kalsium oksida, magnesium oksida dan barium oksida juga bertindak sebagai oksida pembolehkan rangkaian. Logam kation menempati celahan dan ion-ion oksigen menyumbang kepada perkaitan kaca dengan ion-ion pembentuk rangkaian seperti SiO_2 (McMillan, 1964).

2.7.2.1 Natrium oksida

Natrium oksida adalah satu contoh yang baik sebagai oksida pengubahsuai. Natrium oksida atau soda tidak wujud secara bebas dan biasanya diperolehi daripada natrium karbonat, natrium sulfat dan lain-lain. Ia mempunyai berat molekul 62.0g/mol. Sebagai pengubahsuai rangkaian, ia melemahkan rangkaian silika dalam kaca, menjadikannya lebih bendalir (Othman, 2005). Pengenalan Na_2O ke dalam komposisi kaca akan menyebabkan perubahan ke atas sifat-sifat kaca termasuklah penurunan kelikatan kaca dan peningkatan pekali pengembangan termal yang disebabkan oleh pelemahan ikatan dalam rangkaian kaca (McMillan, 1964).

2.7.2.2 Kalsium Oksida

Kapur atau kalsium oksida (CaO) mempunyai berat molekul 56.1g/mol. Ianya adalah suatu fluks yang melemahkan rangkaian silika dan meningkatkan kebendaliran pada suhu tinggi. Pada suhu rendah, cas dubel ion kalsium merapatkan rangkaian menyebabkannya lebih tegar dan lebih tahan terhadap serangan air. Jumlah berlebihan boleh menimbulkan masalah penyahkacaan.