

Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral

**PENGHASILAN KACA DARI ABU KAYU MANGGA**

oleh

**SALINA BINTI SAIDIN**

Penyelia: Profesor Radzali Othman

Disertasi ini diserahkan untuk memenuhi sebahagian daripada syarat keperluan bagi ijazah  
Sarjana Muda Kejuruteraan dengan kepujian  
(Kejuruteraan Bahan)

Universiti Sains Malaysia

Mac 2005



## PENGHARGAAN

Setinggi-tinggi kesyukuran ke hadrat Allah SWT kerana dengan limpah kurnia-Nya, kajian ini dapat disiapkan dengan jayanya. Sekalung penghargaan terima kasih yang tidak terhingga kepada Professor Radzali Othman yang banyak memberi tunjuk ajar dan bimbingan kepada saya sepanjang menjalankan projek ini. Ucapan ini juga turut ditujukan kepada pensyarah-pensyarah Pusat pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral kerana telah memberi sumbangan idea dan nasihat dalam menjayakan projek ini. Tidak dilupakan kepada Dekan dan kakitangan Pusat pengajian.

Terima kasih yang tidak terhingga juga diberikan kepada para juruteknik makmal terutamanya kepada En. Sharul Ami, Pn. Fong Lee Lee, En. Kemuridan, En. Mokhtar, En Helmi dan En. Sayuti di atas bantuan peralatan dan kerjasama yang diberikan semasa proses kajian dijalankan. Tidak dilupakan juga juruteknik daripada Pusat Pengajian Awam yang telah membantu saya dalam menjayakan kajian ini.

Selain itu, saya turut tujukan ucapan terima kasih ini kepada ahli-ahli kumpulan projek tahun akhir yang berada di bawah seliaan Prof. Radzali Othman kerana sebagai rakan kumpulan mereka banyak membantu saya dalam menjalankan kajian ini. Tanpa kerjasama dan pertolongan daripada mereka, rasanya tidak dapat saya menyiapkan projek tahun akhir ini dengan jayanya. Terima kasih juga kepada ahli keluarga saya kerana memberi dorongan bagi menyiapkan projek ini. Akhir kata, terima kasih kepada semua individu-individu lain yang turut sama terlibat secara langsung atau tidak langsung yang tidak saya nyatakan di sini, saya amat menghargai bantuan anda semua dalam menjayakan projek ini. Hanya Allah S.W.T sahaja yang dapat membalas jasa baik anda.

-penulis-

Salina Saidin

## ABSTRAK

Suatu kaca inovatif berasaskan sistem aluminosilikat,  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-CaO}$  telah dihasilkan menggunakan abu pokok mangga sebagai sumber utama kalsium oksida, CaO. Abu pokok mangga telah dihasilkan secara tertutup dengan pembakaran cip kayu kering pada suhu  $1000^\circ\text{C}$  dengan tempoh rendaman 40 minit. Analisis XRD menunjukkan abu yang terhasil mengandungi fasa CaO dan analisis XRF mengesahkan bahawa kandungan CaO adalah 71% berat. Selain itu, taburan saiz partikel dan analisis DSC/TG juga dilakukan ke atas abu pokok mangga. Suatu sumber pasir tempatan yang telah dibersihkan secara berperingkat bagi menyingkirkan bendasing yang hadir digunakan dalam komposisi kaca sebagai sumber utama  $\text{SiO}_2$ . Komposisi kelompok kaca telah dikira sebelum peleburan kaca dilakukan pada suhu  $1500^\circ\text{C}$  dengan tempoh rendaman selama 5 jam. Suatu kaca yang cerah dan bebas gelembung udara telah berjaya dihasilkan. Ujian ke atas kaca ini memberikan nilai ketumpatan  $2.64 \text{ g/cm}^3$  dan nilai kekerasan Vickers 617.3 HV. Seterusnya olahan haba ke atas kaca pokok mangga ini dilakukan pada suhu penukleusan  $890^\circ\text{C}$  selama 1 jam rendaman dan suhu pertumbuhan hablur  $910^\circ\text{C}$  selama 5 jam juga telah berjaya menghasilkan suatu bahan seramik kaca. Mikroskop Imbasan Elektron (SEM) telah digunakan untuk meneliti morfologi dan saiz hablur yang terhasil.

## **PRODUCTION GLAS USING ASH OF MANGO WOOD**

### **ABSTRACT**

An innovative glass based on aluminosilicate system,  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-CaO}$  was produced of using mango wood ash as part the principal source of calcium oxide, CaO. Mango wood ash burning by dried mango chips in closed system at  $1000^\circ\text{C}$  for 40 minutes soaking time. XRD analysis showed that the ash produced is high in CaO and XRF analysis confirmed that the CaO content in the wood ash is 71 weight %. Particle size distribution and DSC/TG analysis were also conducted on the ash. A local silica sand was processed by washing, scrubbing and magnetic separation to separate out the impurities before being used in the glass composition to supply the  $\text{SiO}_2$  requirement. The batch composition was calculated before melting the glass at  $1500^\circ\text{C}$  for 5 hours soaking duration. A clear and bubble-free glass is successfully produced. Density and hardness (Vickers) tests conducted on the glass gave values of  $2.64 \text{ g/cm}^3$  and 617.3 HV respectively. Subsequently heat treatment on the glass at  $890^\circ\text{C}$  (nucleation) for 1 hour followed by  $910^\circ\text{C}$  (crystal growth) for 5 hours has also successfully produced a glass ceramic. Scanning Electron Microscopy (SEM) was used to analysis the morphology and size of the crystals produced.

## SENARAI KANDUNGAN

<b>PENGHARGAAN</b>	ii
<b>ABSTRAK</b>	iii
<b>ABSTRACT</b>	iv
<b>KANDUNGAN</b>	v
<b>SENARAI JADUAL</b>	x
<b>SENARAI RAJAH</b>	xii
<b>SENARAI SIMBOL</b>	xi
<b>BAB 1 : PENGENALAN</b>	1
1.1 Objektif Kajian	2
1.2 Skop Kajian	3
<b>BAB 2 : KAJIAN PERSURATAN</b>	
2.1 Sejarah Perkembangan Teknologi Kaca	6
2.2 Definisi Kaca	8
2.3 Teori Pembentukan Kaca	8
2.3.1 Transformasi Kaca	10
2.3.2 Hipotesis Rangkaian Rawak Zachariasen	12
2.4 Pengelasan Kaca	15
2.5 Kesan Bahan Mentah Oksida Ke Atas Kaca	17
2.6 Abu Kayu	
2.6.1 Pemilihan Abu Kayu Pokok Mangga	20

2.6.2	Kajian Awal Abu Kayu	21
2.6.3	Keputusan Analisis Terma Dan Kimia	24
2.7	Dolomit	
2.7.1	Dolomit Dalam Pembuatan Kaca	28
2.7.2	Kelebihan Menggunakan Dolomit Dalam Penghasilan Kaca	29
2.8	Seramik Kaca	29
<b>BAB 3 : BAHAN DAN KAEDAH UJIKAJI</b>		<b>32</b>
3.1	Penyediaan Bahan Mentah	33
3.1.1	Penyediaan abu kayu mangga	33
3.1.2	Penyediaan pasir silika (SiO <sub>2</sub> )	38
3.1.2.1	Kaedah Pensampelan dan Pengklasifikasian saiz pasir silika	40
3.1.2.2	Pembasuhan air biasa	40
3.1.2.3	Pengskraban gesel Air biasa	41
3.1.2.4	Penskaraban Gesel secara berasid.	41
3.1.2.5	Pengasingan Partikel Bermagnet	42
3.1.3	Penyediaan serbuk Dolomit ( BRM 2)	43
3.1.4	Penyediaan Bahan Tambah Lain	44
3.1.5	Pengiraan komposisi kelompok kaca	46
3.2	Pencirian Sifat	48
3.2.1	Pencirian Secara Kimia	
3.2.1.1	Analisis FTIR (Spektrokopi pancaran Infra-Merah)	48
3.2.1.2	Analisis XRD (Pembelauan sinar-x)	50

3.2.1.3 Analisis XRF ( Pancaran Pendaflour sinar-x )	51
3.2.2 PENCIRIAN SECARA FIZIKAL	
3.2.2.1 Taburan partikel saiz	52
3.2.2.2 Mikroskop Optik	53
3.2.2.3 Analisis Terma (DSC/TGA)	53
3.2.2.4 Penentuan peratus kandungan LOI ( <i>Loss of Ignition</i> )	54
3.2.2.5 Penyediaan Kelompok Bahan Mentah	55
3.3 PELEBURAN	55
3.4 PENCIRIAN SIFAT KACA	
3.4.1 Ujian ketumpatan	57
3.4.2 Ujian kekerasan Vickers	58
3.5 OLAHAN HABA	60
3.6 KAJIAN SEM	61
3.6.1 Penyediaan sampel ujian SEM	62
<b>BAB 4 : KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>	
4.1 PENGHASILAN ABU KAYU MANGGA	63
4.1.1 Keputusan Abu Yang Terhasil	65
4.1.2 Keputusan Analisis XRF	66
4.1.3 Keputusan Analisis XRD	68
4.1.4 Keputusan ujian FTIR	70
4.1.5 Analisis saiz partikel	72



4.2 PASIR SILIKA	
4.2.1 Keputusan Pasir Silika	73
4.2.2 Keputusan Pasir Silika Pemerhatian ke atas Pasir Silika	75
4.2.3 Keputusan Ketumpatan Pasir	76
4.2.4 Keputusan XRF	77
4.2.4 Analisis keputusan XRD	78
4.2.5 Keputusan Analisis Saiz Partikel	80
4.3 DOLOMIT	
4.3.1 Analisis keputusan XRF	81
4.1.1 Keputusan Analisis XRD	83
4.1.5 Keputusan Analisis DSC/TGA	84
4.4 PENYEDIAAN BAHAN MENTAH	85
4.5 PELEBURAN KACA	85
4.6 OLAHAN HABA	
4.6.1 Keputusan Analisis DSC/TGA	88
4.7 PENCIRIAN SIFAT-SIFAT KACA YANG TERHASIL	
4.7.1 Kekerasan	89
4.2.2 Ketumpatan	90
4.8 KAJIAN SEM TERHADAP MIKROSTRUKTUR SERAMIK KACA	91

**BAB 5 : KESIMPULAN DAN CADANGAN**

5.1 KESIMPULAN 95

5.2 CADANGAN 97

**SENARAI RUJUKAN 99**

**LAMPIRAN A**

## SENARAI JADUAL

### BAB 2

Jadual 2.1 : Senarai bahan pembentuk kaca dan suhu leburnya (Rahim,1998)	15
Jadual 2.2 : Sifat dan ciri-ciri bahan kimia untuk penghasilan kimia (JMG,2004)	18
Jadual 2.3 : Kesan peratusan komposisi bahan mentah utama penghasilan kaca (JMG,2004)	19
Jadual 2.4 : Kandungan abu suhu rendah bagi spesis kayu yang berbeza (Misra et. al, 1993)	22
Jadual 2.5 : Analisis elemen dalam abu pada 600 <sup>0</sup> C (% berat abu) (Misra et. Al, 1993)	23
Jadual 2.6 : Pemeruwapan elemen dalam abu kayu pada suhu 1300 <sup>0</sup> C (Misra et. al,1993)	27

### BAB 3

Jadual 3.1 : Senarai komposisi dalam bahan mentah kaca mangga.	45
Jadual 3.2 : Peratus (% berat) komposisi kaca yang mengandungi oksida itrium	46
Jadual 3.3 : Berat bahan mentah yang diperlukan untuk menghasilkan 40g kaca Mangga	47

### BAB 4

Jadual 4.1 : Pemerhatian ke atas abu kayu yang terhasil	64
Jadual 4.2 : Perbezaan komposisi abu hasil dari ujian XRF	66
Jadual 4.3 : Pemerhatian ke atas pasir silica menggunakan Mikroskop Optik	75
Jadual 4.4 : ketumpatan pasir asal, pasir diskrab asid dan pasir bersih	76

Jadual 4.5 : Peratus komposisi pasir asal dan pasir bersih yang telah menjalani proses pembasuhan dan pengasingan partikel magnet.	77
Jadual 4.6 : Keputusan peratus komposisi dolomit	81
Jadual 4.7 : Kekerasan mikro Knoop (HK) dan kekerasan mikro Vickers (HV) bagi kaca abu kayu mangga yang terhasil.	89
Jadual 4.8 : Ketumpatan kaca abu kayu mangga	90

## SENARAI RAJAH

### BAB 1

- Rajah 1.1 : Carta alir bagi penyediaan bahan mentah dalam penghasilan kaca mangga 4
- Rajah 1.2 : Carta alir proses penghasilan kaca mangga 5

### BAB 2

- Rajah 2.1 : Hubungan antara keadaan kaca, hablur dan cecair (Rahim, 1998) 11
- Rajah 2.2 : Struktur berkala pada hablur dan vitreus (tidak berkala) 13
- Rajah 2.3 : : Keputusan TGA bagi abu suhu rendah dari pelbagai spesies kayu  
(Misra et. al, 1993) 24
- Rajah 2. 4 : Keputusan TGA bagi abu suhu rendah dari pelbagai spesies kayu  
(Misra et. al.1993). 25
- Rajah 2. 5 : Keputusan DTA bagi abu suhu rendah pelbagai jenis kayu pokok  
(Misra et. al, 1993) 26
- Rajah 2.6 : Kitar olahan haba yang lazim digunakan dalam penghasilan kaca seramik  
menunjukkan peringkat rendaman bagi penukleusan dan penghabluran  
(Lewis,1989) 30
- Rajah 2. 7 : Pertindihan di antara lengkuk penukleusan dengan kadar  
pertumbuhan hablur terkawal (Pye,1972). 31

### **BAB 3**

Rajah 3.1 : Dahan kayu pokok mangga yang telah dibuang kulit dan dikeringkan.	34
Rajah 3.2 : Batang kayu pokok mangga yang telah dibuang kulit dan dikeringkan.	34
Rajah 3.3 : Kayu pokok mangga yang telah dirincih sekecil 1.5cmx1.5cm menjadi bentuk cip.	35
Rajah 3.4 : Graf suhu melawan masa pembakaran untuk penghasilan abu kayu mangga.	36
Rajah 3.6 : Carta alir pembasuhan pasir silika	39
Rajah 3.7 : Graf peleburan kaca mangga ( suhu melawan masa)	56
Rajah 3.8 : Graf suhu melawan masa bagi proses olahan haba untuk menghasilkan kaca seramik.	60

### **BAB 4**

Rajah 4.1 : Keputusan analisis XRD abu batang kayu mangga bentuk serbuk	68
Rajah 4.2 : keputusan analisis XRD abu dahan kayu mangga bentuk serbuk	68
Rajah 4.3 : Keputusan analisis FTIR abu batang mangga (serbuk)	70
Rajah 4.4 : Keputusan analisis FTIR abu dahan mangga (serbuk)	70
Rajah 4.5 : Keputusan analisis FTIR abu batang mangga (cip)	71
Rajah 4.6 : Graf analisis saiz partikel abu kayu mangga	72
Rajah 4.7 : Keputusan analisis XRD pasir asal	78
Rajah 4.8 : Keputusan analisis XRD pasir bersih	79
Rajah 4.9 : Graf ujian saiz partikel untuk pasir asal	80
Rajah 4.10 : Graf saiz partikel bagi pasir bersih	80
Rajah 4.11 : Keputusan analisis XRD serbuk dolomit	83
Rajah 4.12 : Keluk DSC dan TGA serbuk dolomit yang dianalisis sehingga suhu	

1200 <sup>0</sup> C.	84
Rajah 4. 13 : Kaca yang terhasil daripada percampuran abu kayu mangga	87
Rajah 4.14 : Keluk DSC dan TGA serbuk kaca abu mangga sehingga suhu 1200 <sup>0</sup> C	88
Rajah 4.15 : Mikrograf SEM bagi permukaan sampel seramik kaca yang diolah haba pada suhu 910 <sup>0</sup> C (pembesaran 1000x)	92
Rajah 4.16 : Mikrograf SEM bagi permukaan sampel seramik kaca yang diolah haba pada suhu 910 <sup>0</sup> C (pembesaran 5000x)	92
Rajah 4.17 : Mikrograf SEM bagi permukaan sampel seramik kaca yang diolah haba pada suhu 910 <sup>0</sup> C (pembesaran 10000x)	93
Rajah 4.18 : Mikrograf SEM bagi permukaan sampel seramik kaca yang diolah haba pada suhu 910 <sup>0</sup> C (pembesaran 10000x)	93
Rajah 4.19 : Mikrograf SEM bagi permukaan sampel seramik kaca yang diolah haba pada suhu 910 <sup>0</sup> C (pembesaran 20000x)	94
Rajah 4.20 : Mikrograf SEM bagi permukaan sampel seramik kaca yang diolah haba pada suhu 910 <sup>0</sup> C (pembesaran 20000x)	94

## SENARAI SIMBOL

K <sub>2</sub> O	Kalium Oksida
CaO	Kalsium Oksida
MgO	Magnesium Oksida
SiO <sub>2</sub>	Silika
CaCO <sub>3</sub>	Kalsium Karbonat
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alumina
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Kalium Karbonat
KNO <sub>3</sub>	Kalium Nitrat
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ytrium Oksida
XRF	Pendaflour Sinar - X
XRD	Pembelauan Sinar -X
SEM	Mikroskop Elektron Imbasan
HCL	Asid Hidroklorik
DSC	Kalorimetri Imbasan Kebezaan
DTA	Analisis Kebezaan Terma
TGA	Analisis Termogravimetri
ICPES	Spektroskopi Pancaran Plasma Terganding Beraruhan
FTIR	Spektroskopi Pancaran Infra-Merah
MSG	Malaysian Sheet Glass
JMG	Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia



## **BAB 1**

### **Pengenalan**

Kajian ini merupakan sebahagian daripada gagasan projek besar yang menggunakan abu kayu pokok tempatan dalam penghasilan kaca di bawah bimbingan Prof. Radzali Othman. Oleh itu, kajian projek tahun akhir ini melibatkan penggunaan kayu pokok mangga untuk menghasilkan abu yang dapat menggantikan salah satu bahan mentah utama dalam penghasilan kaca. Komposisi yang terdapat di dalam abu kayu pokok mangga ini akan di kaji dan dianalisis untuk melihat keberkesanan dan kesesuaiannya dalam proses penggantian bahan mentah utama tersebut. Melalui analisis XRF yang telah dibuat, abu kayu dari pokok mangga ini mempunyai kandungan CaO yang tinggi berbanding unsur-unsur lain terutamanya pada bahagian batang pokok. Kajian ini telah menambahkan kepelbagaian kegunaan pokok mangga yang selama ini biasanya hanya buahnya sahaja yang menjadi perhatian masyarakat untuk dikomersialkan. Penggunaan abu kayu dari pokok mangga adalah tidak mustahil boleh berlaku kerana kejayaan pertama yang melibatkan abu kayu durian dalam penghasilan kaca telah membanggakan pihak USM dan Negara kita kerana telah memenangi anugerah dan pengiktirafan di peringkat antarabangsa. Oleh itu, kajian ini telah membuktikan bahawa pokok-pokok tempatan juga boleh digunakan dalam menjanakan industri dan teknologi yang semakin berkembang maju di zaman moden ini. Penyelidikan dan pembangunan kaca di rantau ini terutamanya di Asia dan amnya di Malaysia telah membuktikan bahawa USM sentiasa berusaha dan bersaing dalam memartabatkan bidang penyelidikan di Negara kita.

## **1.1 OBJEKTIF KAJIAN**

Kajian ini merupakan satu kesinambungan daripada kajian projek tahun akhir 2003/2004 yang julung kali dijalankan di Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan & Sumber Mineral, USM. Berdasarkan inovasi sains kepada kursus kejuruteraan bahan, USM, kajian ini diperluaskan berdasarkan sifat-sifat yang wujud hasil daripada kajian ini untuk digunakan dalam perkembangan industri kaca yang supaya boleh dikomersialkan. Kajian ini adalah berdasarkan kajian yang dijalankan oleh Radzali dan Makishima di dalam penentuan komposisi bahan mentah bagi penghasilan kaca mangga serta kejayaan kaca abu durian oleh Zubaidah di bawah bimbingan Prof. Radzali Othman. Kandungan alkali di dalam abu kayu mangga di analisis dan abu tersebut telah di bahagi kepada dua bahagian iaitu abu dari batang dan abu dari dahan pokok mangga. Kemudian, abu kayu mangga ditukargantikan dengan bahan mentah dalam kajian mengikut komposisi unsur yang hadir di dalam abu kayu durian untuk penghasilan kaca. Teori tatacara dan komposisi asas adalah mengikut kajian kaca abu sebelum ini dan diolah mengikut keperluan bagi memperbaiki kelemahan kajian yang terdahulu.

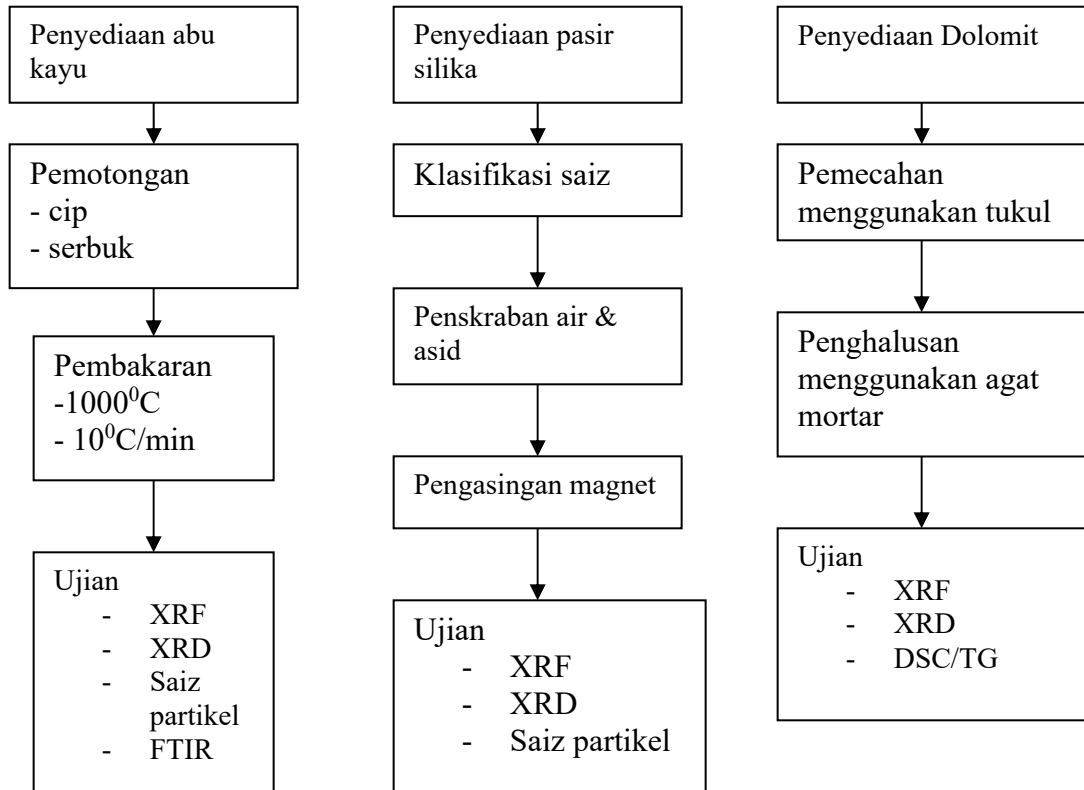
Berikut merupakan objektif-objektif kajian yang telah dijalankan :-

1. Menyediakan serta menghasilkan abu kayu dari pokok buah tropika tempatan (pokok mangga)serta menganalisa komposisi kimianya.
2. Menyediakan pasir tempatan dan menganalisa ketulenan silika serta komposisi kimianya.
3. Menentukan sifat-sifat kaca yang terhasil.
4. Memperbaiki kelemahan kajian kaca abu yang terdahulu terutamanya dalam masalah kelikatan dan gelembung udara.

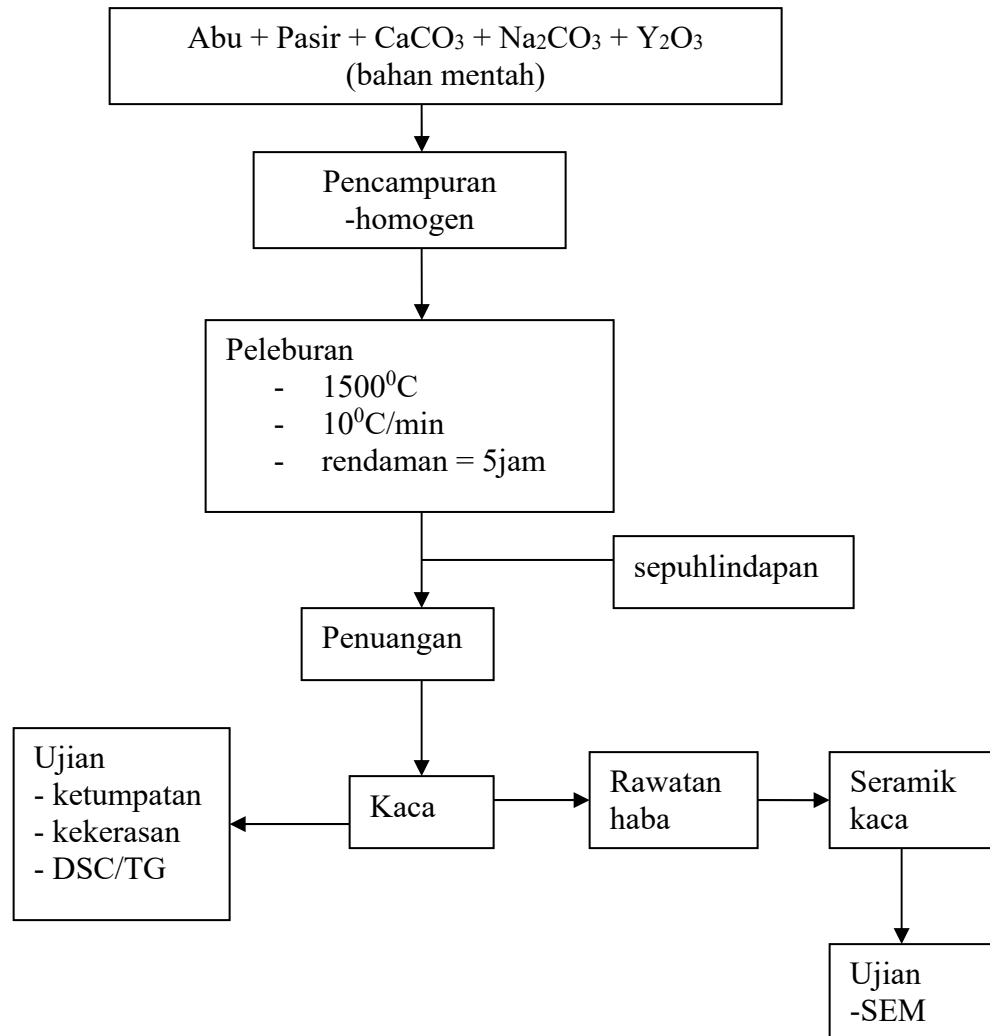
## 1.2 SKOP KAJIAN

Penyediaan kaca mangga ini berdasarkan sistem kaca soda aluminosilikat yang didopkan dengan unsur nadir bumi seperti Yitrium. Penyediaan bahan untuk penukargantian bahan mentah asal dalam penghasilan kaca bermula dari beberapa peringkat. Penyediaan bahan mentah terbahagi kepada empat iaitu penyediaan abu dari kayu pokok mangga, pembersihan pasir silika dan enyediaan dolomit serta persediaan sebelum proses peleburan kaca dijalankan. Peringkat penyediaan kajian ini bermula dengan penghasilan abu daripada kayu pokok mangga yang di potong kepada bentuk cip dan sesetengahnya di mesin kepada bentuk serbuk untuk di bakar menggunakan relau pada suhu 1000<sup>0</sup>C. Kemudian, penyediaan pasir silika yang merupakan salah satu bahan mentah utama. Pembersihan pasir silika memerlukan beberapa peringkat dan kaedah tertentu bagi menjamin ketulenan pasir tersebut. Manakala penyediaan dolomit pula bermula daripada seketul batu dolomit yang besar kepada serbuk yang halus dengan menggunakan beberapa kaedah. Setelah itu, penumpuan diberikan dalam proses penukargantian abu kayu mangga dalam komposisi kaca untuk kebolehasilan kaca. Kaca yang terhasil akan dikaji sifat-sifat yang wujud seperti ketumpatan dan kekerasan kaca dengan menjalankan ujian kekerasan mikro knoop dan mikro Vickers dan ujian ketumpatan dengan menggunakan mesin pengesan ketumpatan. Selain itu, sifat-sifat optik dalam kaca tersebut di kaji dengan memerhatikan sifat pencampuran homogenus, kebebasan daripada bendasing dan gelembung udara apabila disejukkan dan warna.

Berikut adalah carta alir ( Rajah 1.1 dan Rajah 1.2) bagi penghasilan kaca mangga.



Rajah 1.1 : Carta alir bagi penyediaan bahan mentah dalam penghasilan kaca mangga



Rajah 1.2 : Carta alir proses penghasilan kaca mangga

## **BAB 2**

### **KAJIAN PERSURATAN**

Bab ini menerangkan serba sedikit mengenai perkembangan sejarah kaca di seluruh dunia dengan pencapaian dan kejayaannya dalam memperkenalkan industri kaca di seluruh dunia, terutamanya kaca soda silika dan penggunaan abu dalam penghasilannya.

#### **2.1 SEJARAH PERKEMBANGAN TEKNOLOGI KACA**

Kaca semulajadi ditemui sejak zaman dahulu lagi, ia dibentuk apabila beberapa jenis batuan melebur pada keadaan fenomena suhu tinggi. Contohnya ia berlaku ketika letupan valkano (gunung berapi), cahaya yang tajam (kilat) atau akibat daripada serpihan meteorit dan kemudian ia menyejuk dan memejal secara pantas. Manusia zaman batu percaya peralatan memotong seperti pisau, lembing dan permata yang digunakan adalah hasil penemuan orang obsidian dan tektit. Kaca yang terhasil daripada letusan gunung berapi juga dikenali sebagai hyalopsit, 'iceland agate' atau 'mountain mahagony' (GlassOnline,1988).

Tetapi menurut sumber lain, pembuatan kaca dipercayai bermula pada tahun 3000 sebelum masihi di Mesopotamia iaitu di sekitar Iraq dan Syria. Ia bermula apabila kapal pedagang Phoenician karam dan terdampar di muara Sungai Belus. Pedagang-pedagang ini menyalakan api untuk memasak dengan menggunakan tungku dari soda. Keesokkan harinya, didapati kaca kelihatan di atas timbunan abu. Selain itu, dinyatakan juga bahawa kaca ditemui semasa pembakaran tembikar di mana vitrikasi terjadi akibat sentuhan dari silika pada tembikar dengan sebahagian abu alkali semasa proses pembakaran untuk dijadikan licau. Kaca seterusnya diperkenalkan ke Mesir apabila Negara itu menakluki Syria pada tahun 1500 sebelum masihi.

Perkembangan kaca terus maju, bermula dengan penggunaan acuan besi pada tahun 1847 dan tahun 1860-an pula penyelidik mencipta mesin pencetak barangan kaca berongga seperti botol teknik tekan dan tiup. Pada tahun 1871 Stokes telah berjaya membuat kaca titanat, kaca borat dan kaca fosfat. sejak penemuan teknik ini, kegunaan kaca telah dipelbagaikan dan pengeluaran secara besar-besaran dijalankan sehinggalah kaca dikilangkan pada awal abad ke-19 semasa era revolusi perindustrian. Pelbagai pusat penyelidikan telah ditubuhkan oleh pihak kerajaan dan swasta.

Kaca yang telah dihasilkan sejak beribu-ribu tahun digunakan sebagai barang-barang perhiasan dan barang yang berharga. Pada hari ini, pelbagai jenis dan komposisi kaca telah dihasilkan mengikut penciriannya dan kegunaannya. Antara jenis kaca yang wujud pada masa ini ialah kaca silica aluminosilikat, kaca soda, kaca borosilikat dan kaca fosfat. Perkembangan dalam kemahiran kaca telah menyebabkan industri kaca pada masa ini telah mencapai tahap yang membanggakan. Pencapaian sains ini membantu industri lain berkembang maju seperti industri sains astronomi yang dipelopori oleh Galileo, kaca optik yang ditemui oleh Faraday dan pembuktian Hukum Boyle atau pembuatan air suling di dalam makmal. Penemuan mikroskop, jangkasuhu dan yang lain telah juga membantu perkembangan industri pembuatan kaca untuk terus berkembang luas.

## **2.2 DEFINISI KACA**

Takrifan kaca yang lazim digunakan adalah dikemukakan oleh ‘American Society for Testing Materials’ (ASTM) dalam tahun 1945 ialah “Kaca adalah hasil pelakuran yang tidak organik yang telah menyejuk kepada keadaan tegar tanpa berlaku penghabluran”. Bagaimanapun, takrifan ASTM ini adalah agak terbatas kerana banyak bahan organik yang boleh membentuk kaca, contohnya gliserol. Dengan perkembangan teknologi masa kini, terdapat banyak kaedah-kaedah lain dalam penghasilan kaca selain daripada penyejukan leburan. Antara kaedah lain ialah pemendapan dari fasa wap, atau “sputtering” dalam sistem bertekanan rendah dan kaca yang terhasil dari segi sifat dan komposisi adalah sama dengan kaedah peleburan.

## **2.3 TEORI PEMBENTUKAN KACA**

Terdapat beberapa bahan seperti kaca yang kewujudan makroskopiknya menunjukkan ciri fasa pepejal, tetapi secara makroskopiknya menunjukkan ciri sama dengan fasa cecair. Tetapi sifat kaca adalah berbeza dengan sifat cecair dan sesetengah perkara berbeza dengan sifat pepejal. Pembentukan kaca memerlukan ketelitian kawalan suhu yang baik. Ini bermakna pembentukan kaca memerlukan kawalan perubahan termodinamik yang sangat teliti (Rahim,1998). Kaca juga mempunyai sifat amorfus, bukan organik, lutcahaya atau lutsinar yang disebabkan oleh pasir dan sedikit oksida daripada logam ataupun bahan lain. Amorfus bermaksud pepejal kaca tidak mengalami pembentukan hablur. Struktur bahan kaca dapat dibezakan dari struktur bahan berhablur kerana kaca tidak mempunyai struktur dalaman yang mencirikan struktur hablur. Struktur kaca amnya merupakan satu rangkaian rawak iaitu rangkaian yang tidak berulang dan tidak simetri.



Struktur kaca yang amorfus menyebabkan tiada susunan molekul yang teratur terhasil apabila ia dalam keadaan cecair. Molekul dalam keadaan bahan cecair terjalin dalam ikatan yang longgar dan biasanya dalam bentuk rawak. Bila cecair bergerak, ikatan ini akan terungakai dan membentuk susunan yang lain. Kebolehan bahan ini mengalir merupakan suatu ukuran bagaimana suatu susunan boleh dihasilkan. Kaca mengalir pada tahap kepekatan yang amat tinggi pada suhu rendah dan pergerakannya boleh diukur pada satu tempoh yang panjang. Ia mengalir dengan mudah pada suhu tinggi dan tahap pengalirannya kurang pada suhu rendah. Semasa proses penyejukan pula, kaca berkeadaan likat dan berkeupayaan untuk terhalang dari berubah oleh penyusunan molekul-molekul maka ia digelar sebagai '*super cooled liquid*' oleh para saintis.

Manakala maksud bagi lutcahaya dan lutsinar pula adalah lebih kurang sama iaitu cahaya boleh melalui objek tersebut. Tetapi apabila cahaya melalui bahan lutcahaya, adalah kabur jika dibandingkan dengan bahan lutsinar. Ini menunjukkan perbezaan kualiti bagi bahan seperti kaca. Kaca juga mudah dibentuk dan sesuai dijadikan bahan hiasan seperti barangan antik dan perhiasan rumah. Kaca juga bersifat membias, memantul dan membenarkan cahaya melaluinya dan sifat ini penting bagi pembuatan peranti optik.

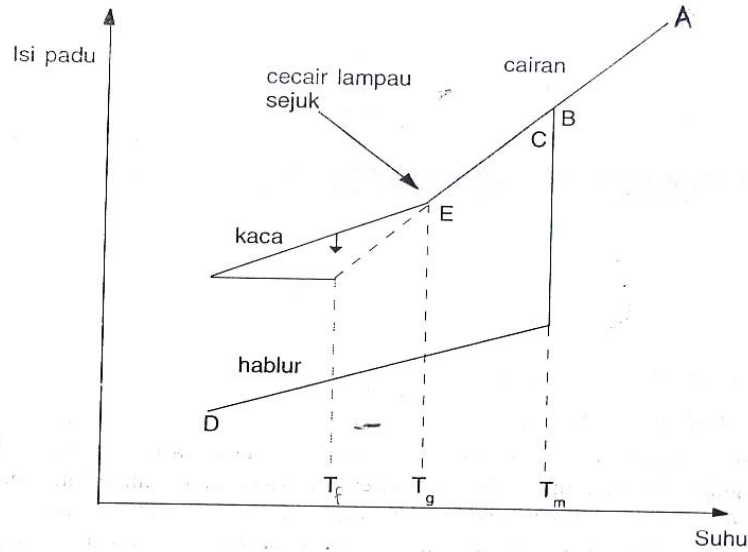
Percampuran setiap partikel kandungan bahan mentah penghasilan kaca secara fizikal merapatkan satu sama lain tanpa mempunyai ikatan secara kimia pada tahap atom. Setiap kaca tidak mempunyai komposisi karbon dan oksigen. Apabila kaca ingin dihasilkan, kandungan komposisi bahan mentah dicampur bersama, dipanaskan sehingga peringkat peleburan dan dikacau sekali lagi untuk mendapatkan berat yang homogen dan akhirnya dibenarkan menyejuk. Kaca yang telah menyejuk dan tegar boleh menjadi cecair apabila dikenakan haba yang tinggi atau melebihi takat lebur kaca tersebut. Pada suhu bilik

kaca adalah rapuh. Apabila pecah, ia akan menunjukkan corak seperti kulit kerang pada permukaan pecah. Corak ini dikenali sebagai “conchoidal fracture” (O.Naess,2001).

### **2.3.1 TRANSFORMASI KACA**

Penyejukan cecair yang berlaku dengan mudah menjadi semakin kaku sehingga ia menjadi tegar ataupun menjadi pepejal yang mana struktur dalamannya masih dalam keadaan cecair. Disebabkan ia disejukan jauh ke bawah dari suhu pembekuan, ia dikenali sebagai cecair sejuk lampau. Cecair sejuk lampau adalah dalam keadaan metastabil. Pada titik pembekuan, biasanya cecair akan bertukar menjadi pepejal kerana melalui cara ini, tenaga dalaman dapat diminimumkan dan sistem menjadi stabil. Ini bermakna tenaga berkadaran dengan suhu sistem. Bagi cecair lampau pula, ia mengandungi lebih tenaga haba berbanding suhu yang berkadaran. Ini akan menyebabkan ia menjadi tidak stabil dan akan stabil jika ia merentasi keadaan perantaraan tenaga tinggi. Cecair yang membentuk kaca menunjukkan peningkatan kekakuan ataupun kelikatan yang sangat pantas apabila suhu jatuh di bawah takat lebur, biasanya antara  $1350^{\circ}\text{C}$ -  $1600^{\circ}\text{C}$ .

Penjelasan mengenai pembentukan kaca yang berlaku dalam julat suhu transformasi lebih mudah diterangkan dengan merujuk kepada Rajah 2.1. Rajah 2.1 memperlihatkan suatu cairan bahan pembentuk kaca yang didinginkan daripada suhu lebur sehingga menjadi pepejal digambarkan melawan isipadu bahan per unit jisim bahan.



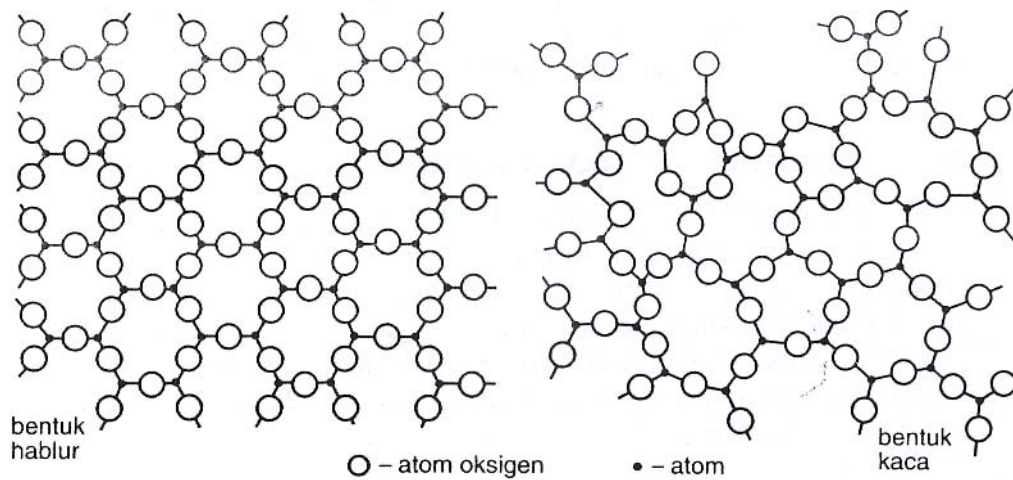
Rajah 2.1 : Hubungan antara keadaan kaca, hablur dan cecair (Rahim, 1998)

Pada titik A, penyejukan dimulakan. Pada kawasan  $A \rightarrow B$ , bahan berbentuk cecair, iaitu berada dalam julat suhu lebur. Pengecutan atau pengurangan isipadu berlaku dari titik A ke B disebabkan oleh amplitud gerakan getaran atom-atom menurun dan struktur cecair pula menjadi semakin padat apabila suhu menurun. Ini mengurangkan ruang antara atom yang menyebabkan bahan sedikit mengecut. Disebabkan pengecutan ini, pengecutan konfigurasi juga turut berlaku ke atas bahan tersebut. Penyusunan semula ikatan antara atom berlaku semasa penurunan suhu untuk mencapai konfigurasi yang stabil pada sebarang suhu. Apabila kelikatan semakin bertambah (titik C), pengurangan isi padu bahan bukan disebabkan oleh pengecilan struktur tetapi hanya disebabkan oleh pengurangan amplitud getaran atom sahaja. Pada titik  $T_m$ , pendinginan boleh berlaku dengan dua cara, iaitu secara terus didinginkan melalui titik E atau akan mengalami perubahan isi padu mendadak menjadi hablur melalui titik D (pada suhu penghabluran,  $T_c$ ). Kaca dibentuk dengan melakukan pendinginan yang sangat cepat (lampau sejuk) bagi mengelakkan cecair melalui

laluan BCD, iaitu menjadi hablur. Peringkat ini adalah paling kritikal bagi pembentukan kaca kerana kecenderungan untuk menjadi hablur sangat besar kerana perbezaan nyata antara tenaga bebas cecair dengan pepejal. Pertukaran bentuk keadaan cecair lampau sejuk kepada pepejal berlaku pada suhu,  $T_g$  dan dipanggil *suhu transformasi kaca*. Pada suhu ini, tahap kebebasan akan hilang dan kaca dalam keadaan metastabil dan kelikatan bahan berada di sekitar  $10^{13}$  Poise. Kedua-dua kejadian tersebut bergantung kepada ketulenan kandungan bahan yang digunakan dan juga kepada kepantasan kadar pendinginan yang dilakukan.

### **2.3.2 HIPOTESIS RANGKAIAN RAWAK ZACHARIASEN**

Zacharisen mengatakan bahawa tenaga lebihan bagi struktur kaca bukanlah besar, kerana kalau tidak ia akan menyebabkan pendevitifikasi berlaku. Tetapi teori ini telah dikritik oleh Morey. Zacharisen percaya bahawa jika bentuk kekaca hendak mempunyai tenaga dalam lebih tinggi sedikit daripada bentuk hablur, ianya mesti mengandungi polihedra yang sama jenis seperti dalam hablur dan disambung dengan cara yang serupa. Perbezaannya antara bentuk berhablur dengan kekaca adalah arah yang terpilih relatif tetrahedral bersebelean dalam silica vitreus adalah terbolehubah manakala dalam bentuk berhablur ianya adalah malar dikeseluruhan struktur. Perbezaan ini ditunjukkan dalam Rajah 2.2 yang membandingkan struktur satu oksida hipotektikal  $A_2O_3$  dalam kedua-dua bentuk berhablur dan vitreus.



Rajah 2.2 : Struktur berkala pada hablur dan vitreus (tidak berkala)

Berdasarkan teori ini, kaca oksida boleh terbentuk hanya jika ia memenuhi syarat-syarat berikut, iaitu :

- a) Atom oksigen harus tidak terikat kepada lebih daripada dua atom logam.
- b) Bilangan oksigen yang mengelilingi atom logam harus kecil.
- c) Polihedra oksigen harus berkongsi di bahagian sudut, bukan di sebelah muka atau tepi.
- d) Sekurang-kurangnya tiga sudut atom oksigen bagi setiap polihedra harus dikongsi.

Syarat keempat sentiasa terjadi apabila syarat lain dipenuhi dan ia ditambah sekiranya rangkain itu adalah tiga dimensi.

Bagi oksida yang tidak berupaya membentuk kaca, apabila di campur dengan oksida lain yang sesuai, kaca akan terbentuk dan ia mengambil bahagian dalam pembentukan unit struktur kaca. Oksida seperti ini dipanggil oksida pertengahan, contohnya  $Al_2O_3$ . Oksida ini perlu ditambah dengan  $MgO$  atau  $CaO$  untuk membentuk kaca yang stabil. Hasil percampuran oksida pertengahan dan dengan oksida pembentuk kaca

seperti  $\text{SiO}_2$ , ia bukan sahaja mengambil bahagian dalam pembentukan kaca, tetapi menyebabkan sifat kaca berubah suai.

Zacharisen telah menerima dua kritikan, pertama ialah mengenai kestabilan kaca ditentukan oleh tenaga dalamnya tetapi telah disangkal oleh Morey (1934) dan yang kedua ialah daripada Haag (1935). Haag (1935) menyatakan bahawa tidak perlu dianggap kaca oksida mesti mempunyai struktur yang bercirikan rangkaian tiga dimensi yang infinit. Beliau membuat kesimpulan bahawa “nampaknya seolah-olah sesuatu leburan mengandungi kumpulan-kumpulan atom yang diikat oleh daya-daya kuat (kemungkinan homopolar dalam kebanyakan kes) dan jika kumpulan ini begitu besar dan tidak teratur hinggakannya ke kekisi hablur menjadi sukar, leburan sedemikian cenderung menunjukkan penyejukan lampau dan pembentukan kaca”. Pendekatan Haag adalah lebih umum dari Zacharisen dan tidak membataskan jenis struktur yang diperlukan selain dari pembentukan kumpulan besar dan teratur dalam leburan yang mempunyai ikatan dalam yang kuat.

Walaupun menghadapi kritikan, teori rangkaian rawak Zacharisen – Warren telah diterima umum buat beberapa tahun, terutama sekali di Eropah Barat dan Amerika Syarikat. Hanyalah baru-baru ini batasan-batasan dikenalpasti sepenuhnya hasil dari penemuan beberapa kaca oksida yang tidak mematuhi peraturan Zacharisen. Teori ini mungkin juga mempunyai kesan tidak menggalakkan dari segi pencairan komposisi-komposisi “pembentuk” kaca yang baru. Sebaliknya ia adalah sumbangan yang berharga kerana memperkenalkan prinsip-prinsip dan konsep kimia hablur ke dalam kajian kaca-kaca tak organik. Ini telah terbukti lebih berhasil berbanding dengan konsep-konsep sebelumnya (Radzali, 1989).

## 2.4 PENGKELASAN KACA

Terdapat beberapa bahan telah dikenal pasti boleh membentuk kaca pada julat suhu tertentu.

Beberapa bahan tersebut dinyatakan dalam Jadual 2.3 seperti berikut :

Jadual 2.1 : Senarai bahan pembentuk kaca dan suhu leburnya (Rahim,1998)

<b>Bahan</b>	<b>Suhu Lebur (K)</b>
SiO <sub>2</sub>	1996
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	723
Se	490
As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	573
ZnCl <sub>2</sub>	591
BeF <sub>2</sub>	823
GeO <sub>2</sub>	1389
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	551-582

Berdasarkan kepada beberapa bahan yang dapat membentuk kaca dengan begitu sempurna, kaca dapat dikelaskan kepada beberapa jenis iaitu :

a) Kaca Oksida

Bahan silika (SiO<sub>2</sub>) merupakan salah satu komponen terpenting dalam kaca jenis ini. Bahan ini boleh dicampur dengan kumpulan oksida lain bagi membentuk kaca yang lebih baik. Campuran ini digunakan bagi mendapatkan sifat kaca yang lebih baik. Dengan pencampuran tersebut, maka julat pembentukan kaca oksida sangat

luas. Antara oksida tersebut termasuk  $\text{Li}_2\text{O-SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O-SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O-SiO}_2$  dan lain-lain.

b) Kaca kalkogenida

Kaca ini terbentuk berdasarkan kepada unsur S, Se, Te dan dicampur dengan unsur As, Sb, Ge dan lain-lain. Kaca jenis ini mempunyai sifat elektrik dan optik yang sangat menarik. Masalah besar kaca jenis ini ialah untuk mendapatkan ketulenan bahan yang sangat tinggi kerana bahan yang digunakan banyak benda asing yang sukar dipisahkan.

c) Kaca Magnet dan Kaca Logam

Kaca magnet terdiri daripada campuran yang mengandungi bahan magnet seperti ferit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) atau kromit ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). Kaca magnet mudah diaruh oleh medan magnet dan boleh bertindak sebagai penyimpan data. Kaca logam pula terdiri daripada beberapa aloi seperti Au-Si, Pd-Si, Co-P, Fe-B dan lain-lain yang telah didinginkan daripada keadaan cecair.

d) Kaca Halida

Kaca jenis ini terbentuk berdasarkan kepada sebatian logam halida seperti zirkonia tetraflorida ( $\text{ZrF}_4$ ), zink klorida ( $\text{ZnCl}_2$ ) dan berilium florida ( $\text{BeF}_2$ ). Kaca jenis ini mempunyai sifat optik yang baik dan boleh ditembusi cahaya sehingga ke julat inframerah dan pada masa ini ia digunakan sebagai alat komunikasi gentian optik jarak jauh.



## **2.5 KESAN BAHAN MENTAH OKSIDA KE ATAS KACA**

Secara umumnya, bahan-bahan mentah yang digunakan dalam penghasilan kaca diklasifikasikan kepada tiga kumpulan utama, iaitu :

1. Oksida pembentuk kaca
2. Oksida penstabil
3. Oksida pengubahsuai

Sifat-sifat kaca yang terhasil adalah berbeza mengikut komposisi bahan mentah masing-masing. Oleh itu, pengawalan bahan mentah yang digunakan memainkan peranan utama bagi memperolehi sifat-sifat kaca yang diinginkan. Sekiranya komposisi kimia kaca tidak berada dalam julat variasi yang dibenarkan, maka keadaan pengerjaan kaca akan terganggu. Bahan mentah hendaklah diperiksa dan ditimbang dengan sebaik mungkin bagi mengelakkan sebarang kecacatan pada sifat kaca yang terhasil. Jadual 2.2 dan Jadual 2.3 menunjukkan secara ringkas kesan pelbagai konstitusi oksida ke atas sifat fizik dan kimia sifat kaca yang terhasil.

Jadual 2.2 : Sifat dan ciri-ciri bahan kimia untuk penghasilan kimia (JMG,2004)

Nama Bahan	Sifat dan Ciri-ciri
Natrium Karbonat, $\text{Na}_2\text{CO}_3$ <i>(Soda Ash)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menurunkan suhu pembakaran</li> <li>- Merendahkan kadar kelikatan kaca</li> <li>- Meningkatkan pengembangan terma dan bertindak sebagai fluks</li> <li>- Merendahkan ketahanan tindakbalas kimia</li> </ul>
Kalsium Karbonat, $\text{CaO}$ <i>(Lime)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- meningkatkan keupayaan hakisan/serangan kimia</li> <li>- merendahkan pengembangan terma</li> <li>- mempercepatkan pembekuan</li> <li>- meningkatkan suhu sepuhlindap (<math>450^{\circ}\text{C}</math>-<math>700^{\circ}\text{C}</math>)</li> <li>- meningkatkan kebolehaliran kaca lebur</li> </ul>
Potasium karbonat, $\text{K}_2\text{CO}_3$ <i>(potash)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- agen fluks yang kuat tetapi lebih berat dan kurang efektif dari soda ash</li> <li>- memberikan kilauan pada kaca</li> </ul>
Yitrium ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tapak penukleusan bagi penghabluran kaca</li> </ul>
Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- meningkatkan kelikatan agen penstabil</li> <li>- rintang luluhawa dan tahan lasak (Glasser,1965)</li> </ul>
Zink Oksida ( $\text{ZnO}$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- membantu pembakaran dan merendahkan kadar kelikatan</li> <li>- meningkatkan keupayaan dari serangan asid</li> <li>- digunakan dalam pembuatan kaca yang berwarna</li> </ul>

Kesan yang akan berlaku terhadap kaca yang terhasil sekiranya peratusan komposisi bahan utama penghasilan kaca berkurangan atau berlebihan.

Jadual 2.3 : Kesan peratusan komposisi bahan mentah utama penghasilan kaca

(JMG,2004)

<b>Bahan utama</b>	<b>Peratus disyorkan</b>	<b>Kesan</b>
Silika (SiO <sub>2</sub> )	50% ke atas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- jika &lt;50%, kaca akan menjadi terlucair atau lembut.</li> <li>- jika terlalu tinggi,&gt;80% ia akan</li> <li>- menyebabkan kaca mengalami kelikatan</li> </ul>
Natrium oksida (Na <sub>2</sub> O)	3% - 25%	<ul style="list-style-type: none"> <li>- jika melebihi 25%,kaca akan mengalami vitrifikasi di mana permukaan kaca menjadi berwarna apabila sejuk dan terlalu cair.</li> <li>- Kurang dari 3% akan menyukarkan lagi proses peleburan.</li> </ul>
Kalsium Oksida (CaO)	3% - 10%	<ul style="list-style-type: none"> <li>- jika kandungan bahan ini kurang, akan berlaku vitrifikasi, ikatan menjadi longgar dan mudah terurai.</li> <li>- Kaca tersebut terlalu mudah terdedah kepada hakisan.</li> </ul>
Potasium (K <sub>2</sub> O)	1% - 9%	<ul style="list-style-type: none"> <li>- jika 10% ke atas, ianya akan memudahkan vitrifikasi kaca menjadi lembut.</li> </ul>

## 2.6 ABU KAYU

Penggunaan abu kayu sebagai komposisi kaca telah berkembang di pertengahan Utara Perancis pada kurun ke-12 hingga ke-18. komposisi kalsia, kalia dan magnesia adalah bergantung kepada jenis tumbuhan yang digunakan. Setiap unsur yang hadir akan memberikan kesan ke atas kaca yang terhasil. Kaca yang paling popular ialah kaca *facon de Venise*, yang mana kaca tersebut lebih lutsinar, tanpa warna dan memiliki kilauan yang lebih baik. Ini menunjukkan bahawa kehadiran abu kayu yang mempunyai unsur kalium, kalsium dan magnesium yang bertindak sebagai agen pelakuran dan digunakan tanpa penulenan serta pengekstrakan akueus memberikan sifat yang baik (Barrera dan Velde,1989).

### 2.6.1 PEMILIHAN ABU KAYU POKOK MANGGA

Kajian ini melibatkan penggunaan kayu pokok mangga untuk menghasilkan abu yang dapat menggantikan salah satu bahan mentah utama dalam penghasilan kaca. Komposisi yang terdapat di dalam abu kayu pokok mangga ini akan di kaji dan di analisa untuk melihat keberkesanan dan kesesuaiannya dalam proses penggantian bahan mentah utama tersebut. Nama saintifik bagi pokok mangga adalah *Mangifera Indica Linn* iaitu dari famili *Anacardiaceace* dan bagi masyarakat tempatan ia dikenali sebagai mangga atau mempelam. Ia merupakan salah satu buah-buahan tempatan yang popular dan sedang dikomersialkan disebabkan oleh keenakkannya yang dapat menawan selera penggemarnya. Rasanya yang manis dan masam sesuai dimakan begitu sahaja atau dibuat jeruk, kek, dan sebagainya mengikut kreativiti. Oleh itu, tanaman pokok mangga secara berkelompok telah dikenalkan oleh jabatan pertanian di Negara kita bagi menjamin industri makanan daripada buah mangga dapat dikekalkan dan ditingkatkan sehingga ke peringkat antarabangsa. Pokok

mangga berasal daripada rantau India, Myanmar dan Asia Tenggara. Manakala, kawasan utama di Malaysia adalah di negeri Kedah, Perak, Perlis dan Selangor. Pokok ini sesuai di tanam pada kawasan bertanah gambut. Oleh itu, ia mudah di dapati di kawasan sawah padi. Pokok mangga terdiri daripada batang utama dan batang yang bercabang dia atasnya. Bentuk pokok tersebut bergantung kepada kepadatan system cabang. Kebanyakannya berbentuk kubah, oval dan memanjang. Melalui analisis XRF yang telah dibuat, abu kayu dari pokok mangga ini mempunyai kandungan CaO yang tinggi berbanding unsur-unsur lain terutamanya di dalam di bahagian batang. kajian ini telah menambahkan kepelbagaian kegunaan pokok mangga yang selama ini biasanya hanya buahnya sahaja yang menjadi perhatian masyarakat untuk dikomersialkan.

## **2.6.2 KAJIAN AWAL ABU KAYU**

Kajian awal penghasilan abu kayu telah dijalankan oleh Misra et. al pada tahun 1992. Manakala kajian terbaru mengenai abu kayu telah dijalankan oleh Zubaidah pada tahun 2004 terhadap abu kayu durian dalam penghasilan kaca. Misra et. al telah menjalankan ujian ke atas lima jenis kayu bagi mengkaji komposisi unsur dan molekul mineral yang terdapat di dalam abu kayu tersebut. Lima jenis kayu pokok yang terpilih ialah pokok pain (***Pinus ponderosa Dougl.ex Laws***), aspen (***Populus tremuloides Micx.***), oak putih (***Quercus afba L.***), oak merah (***Quercus rubra***), dan poplar kuning (***Liriodendron tulipifera L.***) dan dua jenis kulit kayu iaitu oak putih dan Douglas – fir (***Pseudotsuga menziesii*** (Marib.) Franco). Antara kajian yang telah dilakukan ke atas kayu pokok-pokok ini ialah menggunakan analisis termogravimetri (TGA), analisis kebezaan terma (DTA), spektroskopi pancaran plasma terganggu beraruh (ICPES) dan pembelauan sinar-x (XRD). Kajian yang dilakukan adalah berfungsi suhu. Penguraian karbonat dan

pemeluwapan kalium, sulfur dan sebilangan kecil amalan kuprum dan boron dikaji berfungikan suhu. Secara keseluruhan, kehilangan berat adalah bergantung kepada jenis kayu. Jisim K, B, S, Na dan Cu menurun manakala jisim Mg, P, Mn, Al, Fe dan Si tidak berubah dengan suhu relative kepada Ca yang dianggap malar. Pensinteran abu didapati berlaku manakal pelakuran abu tidak berlaku. Pada suhu 600<sup>0</sup>C, abu didapati mengandungi CaCO<sub>3</sub> dan K<sub>2</sub>Ca(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> manakala pada suhu 1300<sup>0</sup>C, abu pokok-pokok kayu yang dikaji ini mengandungi CaO dan MgO sebagai kandungan utamanya. Kebanyakan abu tidak menunjukkan tanda melebur apabila dipanaskan. Pada suhu melebihi 800<sup>0</sup>C, abu menunjukkan tanda bahawa ia mengalami proses persinteran tetapi ketulan abu yang terbentuk boleh dihancurkan dengan mudah. Bagi sesetengah abu terutamanya jenis pain akan melebur apabila dipanaskan pada suhu melebihi 1300<sup>0</sup>C dan mengalami pemejalan semula apabila disejukan (Misra et. al, 1993). Kandungan abu yang diperolehi dalam kaedah ini disenaraikan dalam Jadual 2.4 sebagai peratus berat abu kayu kering.

Jadual 2.4 : Kandungan abu suhu rendah bagi spesis kayu yang berbeza (Misra et. al, 1993)

<b>Spesis Kayu</b>	<b>Abu, berat kering (%)</b>
Aspen	0.43
Poplar kuning	0.45
Oak putih	0.87
Kulit oak putih	1.64
Kulit 'Douglars-fir'	1.82

Jadual 2.5 menunjukkan kandungan unsur-unsur yang hadir di dalam abu pada suhu rendah (600°C) dengan menggunakan alat spektroskopi pancaran plasma terdinding beraruhan (ICPES).

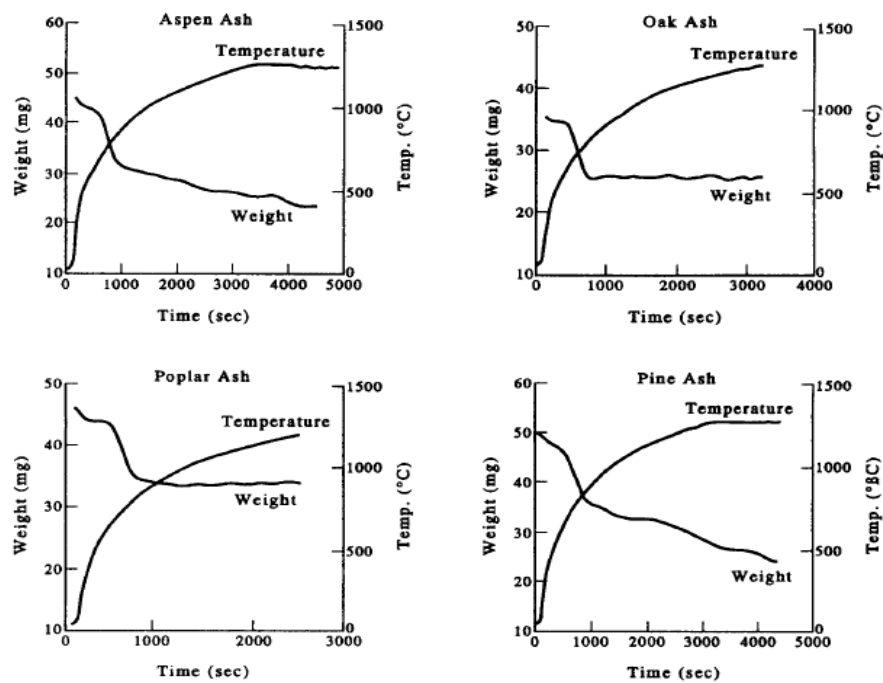
Jadual 2.5 : Analisis elemen dalam abu pada 600°C (% berat abu) (Misra et. Al, 1993)

Elemen	Pain	Aspen	Poplar	Oak Merah	Oak Putih	Kulit oak Putih	Kulit D Fir
Kalsium	29.05	21.17	25.67	36.58	31.35	36.14	34.26
Potassium	16.24	11.25	7.93	6.08	10.25	0.97	2.78
Magnesium	7.03	3.55	9.09	5.20	7.57	0.34	0.37
Sulfur	1.07	0.70	1.02	1.80	1.21	0.40	0.52
Fosforus	0.84	1.18	0.95	1.56	0.56	0.08	0.51
Alumina	0.47	0.14	0.35	0.68	<0.03	<0.03	0.59
Natrium	0.06	0.06	2.30	0.08	<0.06	<0.06	<0.06
Silika	-	0.11	-	-	0.13	0.12	0.24

Daripada Jadual 2.5, didapati kandungan utama abu kayu ialah kalsium, kalium dan magnesium. Kandungan kalsium oksida yang tinggi dalam pokok oak merah, kulit oak putih dan kulit Douglas fir iaitu melebihi 30% sulfur, fosforus dan mangan hadir sekitar 1%. Besi, aluminium, natrium dan silikon hadir secara relatifnya dalam amaun yang kecil. Oksigen dan karbon tidak dapat ditentukan oleh ICPES. Kebanyakan nitrogen berlaku penukaran kepada  $\text{NH}_3\text{NO}_3$  dan  $\text{N}_2$  semasa pembakaran. Manakala abu pain dan aspen

mengandung amaun kalium yang lebih tinggi berbanding abu poplar dan abu oak. Kandungan logam alkali lain, contohnya natrium biasanya rendah di dalam semua jenis abu kecuali bagi abu polar yang mengandungi 2.3 % Na.

### 2.6.3 KEPUTUSAN ANALISIS TERMA DAN KIMIA



Rajah 2.3 : Keputusan TGA bagi abu suhu rendah dari pelbagai spesies kayu (Misra et. al,1993)