



UNIVERSITI PUTRA MALAYSIA

**CIRI KEKENYALAN DAN KESAN RAWATAN HABA KE ATAS SIRI KACA
PLUMBUM ZINK FOSFAT**

KHAMIRUL AMIN MATORI

FSAS 2001 59

**CIRI KEKENYALAN DAN KESAN RAWATAN HABA KE ATAS SIRI KACA
PLUMBUM ZINK FOSFAT**

Oleh

KHAMIRUL AMIN MATORI

**Tesis ini Dikemukakan Sebagai memenuhi Keperluan untuk Ijazah Master Sains
di Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar
Universiti Putra Malaysia**

Mac 2001



Buat emak dan abah yang tersayang

**MATORI MAKSUD
NADIAH HASSINI**

Buat isteri dan anak yang tercinta

**NOSNITA A. TALIB
MUHAMMAD AFIQ KHAMIRUL AMINI**

dan

Buat kakak dan adik-adik serta keluarga yang tersayang

Kasih sayang, pengorbanan, ketabahan dan kesabaran, doa dan harapan kalian memberi dorongan yang kuat untuk diri ini menempuhi segala cabaran. Segala penat lelah dan jasa kalian tidak akan kulupakan selagi hayat dikandung badan. Nasihat, bimbingan dan perhatian kalian telah memberikan kekuatan dan semangat buat diri ini untuk mengatasi segala cabaran dan rintangan sewaktu menyiapkan tesis ini.

Abstrak tesis yang dikemukakan kepada Senat Universiti Putra Malaysia sebagai memenuhi keperluan untuk Ijazah Master Sains.

**CIRI KEKENYALAN DAN RAWATAN HABA KE ATAS SIRI KACA
PLUMBUM ZINK FOSFAT**

Oleh

KHAMIRUL AMIN MATORI

Mac 2001

Pengerusi : Profesor Madya Dr. Sidek Hj. Ab. Aziz, Ph.D

Fakulti : Sains dan Pengajian Alam Sekitar

Fabrikasi sistem siri kaca binari zink fosfat $(\text{ZnO})_x (\text{P}_2\text{O}_5)_{1-x}$, plumbum fosfat $(\text{PbO})_x (\text{P}_2\text{O}_5)_{1-x}$, dan kaca sistem ternari plumbum zink fosfat $(\text{PbO})_x [(\text{ZnO})_y (\text{P}_2\text{O}_5)_{1-y}]_{1-x}$ dengan peratusan mol x dari 0.3 hingga 0.5 telah dilakukan dengan kaedah lindapan leburan. Sifat fizikal seperti sifat kekenyalan ditentukan pada suhu bilik dengan kaedah tanpa musnah yang menggunakan teknik Pemprosesan Isyarat Berdigit, peralatan sistem Matec DSP MBS 8000. Ketumpatan kaca diukur dengan menggunakan prinsip Archimedes. Data-data halaju gelombang dan ketumpatan yang diperolehi digunakan untuk menentukan pemalar kekenyal, modulus Young, modulus pukal, nisbah Poisson dan suhu Debye bagi sistem siri kaca plumbum zink fosfat. Pemalar kenyal, modulus Young, modulus pukal dan nisbah Poison didapati meningkat dengan penambahan ZnO atau PbO dalam kaca fosfat. Penambahan plumbum oksida dalam kaca zink fosfat juga dapat meningkatkan pemalar kenyal,



modulus Young dan modulus pukal serta suhu Debye kaca yang dihasilkan. Proses rawatan haba melalui proses sepuhlindapan terhadap semua sampel kaca yang dikaji telah dijalankan pada julat suhu di antara 100°C hingga 250°C pada sela suhu 50°C. Faktor sepuhlindapan didapati menyebabkan sedikit perubahan ke atas pemalar kenyal, modulus Young dan modulus pukal kaca. Ciri-ciri kenyal kaca ini adalah berkait rapat dengan kekuatan struktur kaca.

Abstract of thesis presented to Senate of Universiti Putra Malaysia in fulfillment of requirement for the degree of Master of Science.

ELASTIC BEHAVIOUR AND EFFECT OF HEAT TREATMENT ON THE SERIES OF LEAD ZINC PHOSPHATE GLASSES

By

KHAMIRUL AMIN MATORI

March 2001

Chairman : Associate Professor Dr. Sidek Hj. Ab. Aziz, Ph.D.

Faculty : Science and Environmental Studies

Fabrications of a series of binary $(\text{ZnO})_x (\text{P}_2\text{O}_5)_{1-x}$ zinc phosphate, $(\text{PbO})_x (\text{P}_2\text{O}_5)_{1-x}$ lead phosphate and ternary $(\text{PbO})_x [(\text{ZnO})_y (\text{P}_2\text{O}_5)_{1-y}]_{1-x}$ lead zinc phosphate glasses with mole fraction x from 0.3 to 0.5 were carried out by the melt quenching technique. Their physical properties such as elastic properties were determined at room temperature by using a non-destructive test ie. the digital signal processing technique of Matec DSP MBS 8000. The glass density was measured by using the Archimedes principle. The experimental data of wave velocities and densities were then used to determine the elastic constants, Young modulus, bulk modulus, Poisson's ratio and Debye temperature in each series of lead zinc phosphate glass system. It was found that the elastic constant, Young modulus, bulk modulus, Poisson's ratio increased with the addition of ZnO or PbO in the phosphate glasses. The addition of lead oxide into the zinc phosphate glasses also caused an increment in their elastic



constants, Young modulus, bulk modulus as well as Debye temperature. Heat treatment ie. annealing of all glass samples were studied at temperature ranging from 100°C to 250°C with an increment of 50°C. The annealing factor caused a slight change in the elastic constant, Young modulus and bulk modulus of glasses. These elastic properties of glasses were found closely related to the strength of glass structures.

PENGHARGAAN

Segala puji dan lafaz syukur dipanjatkan kehadiran Allah swt, Tuhan semesta alam, yang dengan Izin dan RahmatNya memberikan kekuatan kepada saya untuk menjalankan penyelidikan dan menyiapkan penulisan tesis ini. Selawat dan salam buat junjungan besar Nabi Muhammad s.a.w., keluarga dan sahabat seluruhnya.

Di sini, ingin saya merakamkan setinggi-tinggi penghargaan dan jutaan terima kasih yang tidak terhingga untuk Profesor Madya Dr. Sidek Hj. Ab. Aziz selaku penyelia saya, di atas segala idea, bimbingan serta teguran yang membina dalam proses menyiapkan tesis ini. Sesungguhnya, kepercayaan, dorongan, tanggungjawab, sabar, dedikasi dan sifat memahami beliau menjadi tauladan dan inspirasi pada diri saya untuk mencapai kejayaan yang lebih cemerlang.

Ucapan penghargaan dan terimakasih juga saya tujukan kepada Ahli Jawatan Kuasa Penyeliaan yang lain, iaitu Profesor Dr. Abd. Halim Shaari, Profesor Madya Dr. Chow Sai Sew dan Profesor Madya Dr. Senin Hassan di atas segala bimbingan, panduan dan pandangan yang membina dalam melaksanakan projek ini.

Sekalung budi saya hulurkan kepada Jabatan Fizik, Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar kerana memberikan saya ruang untuk meneruskan pengajian. Penghargaan juga dirakamkan kepada Profesor Madya Dr. Wan Mahmood Wan Mat



Yunus selaku Ketua Jabatan, yang amat memahami dan mengambil berat tentang tugas, kerjaya dan tanggungjawab saya.

Dalam kesempatan ini juga saya ingin mengucapkan terima kasih kepada semua warga Jabatan Fizik, pensyarah, kakitangan am dan pembantu makmal yang telah memberi sokongan dan dorongan yang kuat serta pandangan yang membina dalam menjayakan projek ini.

Saya juga ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada rakan-rakan seperjuangan terutamanya Pn. Halimah, Rizal, Halim, Mieza, Syidah serta rakan-rakan yang tidak dapat disebutkan namanya, di atas segala pandangan yang bernas serta bantuan semasa proses penyelidikan ini dilakukan.

Akhirnya penghargaan yang tak terhingga juga diucapkan kepada isteri dan anak yang tercinta, pengorbanan berterusan mereka tidak dapat dinilai. Kepada semua yang terlibat dalam penulisan tesis ini, terima kasih untuk segalanya.



KANDUNGAN

	Muka Surat
DEDIKASI	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
PENGHARGAAN	vii
PENGESAHAN	ix
PENGAKUAN	xi
SENARAI JADUAL	xvi
SENARAI RAJAH	xviii
BAB	
1 PENGENALAN	1
Pendahuluan	1
Kegunaan Kaca	2
Objektif dan Pendekatan Kajian	5
Susun Atur Bab	7
2 LATAR BELAKANG KAJIAN	9
Pengenalan	9
Kajian Ultrasonik	11
Sifat Kekenyalan dan Mikrostruktur	13
Kaca Fosfat	16
Ringkasan Bab	18
3 SAINS DAN TEKNOLOGI KACA	19
Pengenalan	19
Struktur Kaca	22
Teori Pembentukan Kaca	26
Teori Jaringan Rawak	31
Kaca Fosfat	34
Fosfat Pentoksida	38
Kaca Fosfat Nadir Bumi	40



Pertimbangan Mengenai Struktur Kaca	43	
Pembentuk Jaringan	43	
Pengubahsuai Jaringan	45	
Sebatian Pertengahan atau Perantaraan	46	
Garam-garam Perangsang atau Pengeriat	47	
Kekuatan Ikatan Komponen Kaca Oksida	47	
Penghabluran Kaca	50	
Rawatan Terma	52	
Ciri-ciri Fizik Kaca	53	
Ringkasan Bab	55	
4	TEORI KEKENYALAN BAHAN	56
Pengenalan	56	
Rambatan Gelombang Dalam Bahan	57	
Perambatan Gelombang Kenyal	60	
Tegasan dan Terikan	61	
Anjakan dan Terikan	67	
Tegasan	67	
Persamaan Gerakan	70	
Hukum Hooke dan Pemalar Kenyal Bahan	73	
Perkaitan Tegasan-Terikan untuk Bahan Tidak Isotropik	75	
Pemalar Lame	82	
Persamaan Gelombang Dalam Medium Isotropik	83	
Gelombang Membujur	85	
Gelombang Melintang	86	
Terikan Isipadu Dalam Bahan yang Di bawah	87	
Tindakan Tekanan Hidrostatik		
Modulus Young	88	
Nisbah Poison	89	
Parameter Termodinamik	89	
Ringkasan Bab	91	
5	TEKNIK PENYEDIAAN KACA	92
Pengenalan	92	
Proses Penyediaan Kaca	93	
Pemilihan Bahan Kimia	93	
Proses Penimbangan	93	
Proses Pencampuran Bahan Kimia	94	
Proses Praleburan	94	
Proses Peleburan	95	
Proses Pengacuan	96	



	Proses Sepuhlindapan	97
	Pemotongan dan Penggilapan	98
	Penentuan Ketumpatan Kaca	99
	Penentuan Halaju Ultrasonik	100
	Rawatan Haba	100
	Ralat Ujikaji	101
	Ringkasan Bab	102
6	KAEDAH ULTRASONIK	103
	Pengenalan	103
	Transduser dan Agen Pelekat	104
	Kesan Piezoelektrik	106
	Teknik Ultrasonik	113
	Pengukuran Halaju	119
	Ralat Ujikaji	123
	Ringkasan Bab	124
7	SIFAT KEKENYALAN KACA PLUMBUM FOSFAT	125
	Pengenalan	125
	Kesan Pertambahan Plumbum Dalam Kaca Fosfat Pada Suhu Bilik	126
	Ketumpatan dan Isipadu Molar	126
	Halaju Membujur dan Halaju Melintang	128
	Perubahan Pemalar Kenyal Terhadap Komposisi Suhu Debye	130
	Suhu Debye	135
	Kesan Rawatan Haba Ke atas Kaca Plumbum Fosfat	137
	Ketumpatan dan Isipadu Molar	141
	Halaju Ultrasonik	143
	Modulus Kekenyalan	144
	Nisbah Poisson	147
	Suhu Debye	148
	Ringkasan Bab	149
8	SIFAT KEKENYALAN KACA ZINK FOSFAT	150
	Pengenalan	150
	Kesan Pertambahan Zink Dalam Kaca Fosfat Pada Suhu Bilik	151
	Ketumpatan	151
	Halaju Membujur dan Halaju Melintang	152
	Perubahan Pemalar Kenyal Terhadap Komposisi	154



	Suhu Debye	159
	Kesan Sepuhlindapan Terhadap Kaca Zink Fosfat	161
	Halaju Ultrasonik	166
	Perubahan Pemalar Kenyal Terhadap Komposisi	167
	Ringkasan Bab	171
9	KESAN PENAMBAHAN PLUMBUM DAN ZINK KE ATAS KACA FOSFAT	172
	Pengenalan	172
	Pencirian Kaca Plumbum Zink Fosfat Pada Suhu Bilik	173
	Kesan Rawatan Haba Ke atas Kaca Plumbum Zink Fosfat	181
	Pemalar Kenyal	187
	Nisbah Poisson	195
	Ringkasan Bab	197
10	PERBINCANGAN DAN RUMUSAN KAJIAN	198
	Pengenalan	198
	Perbandingan Kaca Plumbum Fosfat dan Kaca Zink Fosfat	199
	Kesan Penambahan Zink Oksida Dalam Kaca Plumbum Fosfat	204
	Kesan Rawatan Haba Ke Atas Sampel Kajian	205
	Kesimpulan	207
	Cadangan Kajian Lanjutan	208
	BIBLIOGRAFI	209
	VITA	218



SENARAI JADUAL

Jadual		Muka Surat
3.1 (a)	Kekuatan Ikatan Komponen Kaca Oksida (Pembentuk Rangkaian)	48
3.1 (b)	Kekuatan Ikatan Komponen Kaca Oksida (Perantaraan)	49
3.1 (c)	Kekuatan Ikatan Komponen Kaca Oksida (Pengubahsuaian Rangkaian)	49
4.1	Hubungan antara tetanda matriks dengan tetanda tensor	74
4.2	Hubungan antara tetanda tensor dan tetanda ringkas	75
7.1	Sifat kekenyalan dan sifat fizikal kaca $(\text{PbO})_{0.3}(\text{P}_2\text{O}_5)_{0.7}$	138
7.2	Sifat kekenyalan dan sifat fizikal kaca $(\text{PbO})_{0.4}(\text{P}_2\text{O}_5)_{0.6}$	139
7.3	Sifat kekenyalan dan sifat fizikal kaca $(\text{PbO})_{0.5}(\text{P}_2\text{O}_5)_{0.5}$	140
8.1	Sifat kekenyalan dan sifat fizikal kaca $(\text{ZnO})_{0.3}(\text{P}_2\text{O}_5)_{0.7}$	162
8.2	Sifat kekenyalan dan sifat fizikal kaca $(\text{ZnO})_{0.4}(\text{P}_2\text{O}_5)_{0.6}$	163
8.3	Sifat kekenyalan dan sifat fizikal kaca $(\text{ZnO})_{0.5}(\text{P}_2\text{O}_5)_{0.5}$	164



9.1	Perbandingan nilai ketumpatan dan halaju ultrasonik di antara kaca kajian dengan kaca fosfat tulen.	174
9.2	Perbandingan pemalar kenyal kaca kajian dengan kaca fosfat tulen.	176
9.3	Perbandingan kuantiti fizik kaca kajian dengan kaca fosfat tulen.	180

SENARAI RAJAH

Rajah		Muka Surat
3.1	Struktur berkaca berbanding dengan struktur hablur B_2O_3 . (a) Kaca hanya mempunyai jiran pertama atau tertib julat pendek. (b) Sebatian menghablur mempunyai julat panjang dan juga julat pendek.	23
3.2	Kaca silikat alkali. Nisbah O/Si adalah lebih tinggi berbanding dengan di dalam kaca silika tulen, dan ikatan lebih mempunyai ciri ikatan ion.	24
3.3	Ketumpatan lawan suhu ketika penyejukan: (a) silikat cair; (b) kaca yang disejukkan dengan pantas; (c) kaca disejukkan dengan perlahan-lahan; (d) bandingan silikat menghablur, (1) suhu penghabluran, (2) julat penjelmaan untuk suhu-suhu fiktif.	27
3.4	Perkaitan antara isipadu dan suhu ketika proses penyejukan suatu leburan	28
3.5	Struktur Molekul (a) PO_4 , (b) P_4O_{10}	35
3.6	Skema bagi molekul PO_4 tetrahedra	36
3.7	Skema sebahagian contoh kumpulan fosfat yang hadir dalam kaca fosfat	37
3.8	Ikatan P-O adalah lebih kuat pada kedudukan tengah berbanding dengan kedudukan pada kumpulan akhiran.	38
3.9	Struktur kaca ditambah (a) dengan R_2O dan (b) dengan RO	42
3.10	Rangkaian Pembentuk	44
3.11	Pemusnahan pempolimeran oleh kation. Garisan tebal: kedudukan pembentuk. Garisan putus-putus: kedudukan selepas penambahan Na_2O	45
4.1	(a) Rambatan gelombang membujur (b) Rambatan gelombang melintang.	58



4.2	(a) Tegasan pada arah melintang, (b) tegasan pada arah membujur (ricih)	62
4.3	Ilustrasi anjakan dan terikan	64
4.4	Rajah skema untuk enam komponen terikan	65
4.5	Skema untuk tegasan yang mungkin.	68
5.1	Skematik acuan selinder keluli kalis kotoran	96
6.1	(a) Skema hablur kuarza dan (b) keratan rentas sepanjang paksi-z	106
6.2	(a) Kesan piezoelektrik langsung dan (b) kesan piezoelektrik salingan	107
6.3	Kesan piezoelektrik yang ditunjukkan oleh sel unit bagi hablur kuarza (SiO_2).	109
6.4	Transduser Kuarza Plat Emas	111
6.5	Skema bagi sistem pengukuran ultrasonik MBS 8000 DSP	115
6.6	Pemegang sampel	120
6.7	Paparan dedenyut pada monitor	121
6.8	Contoh paparan ulangan data yang diperolehi	122
6.9	Statistik data MBS 8000 DSP	122
7.1	Perkaitan antara halaju membujur $(\text{PbO})_x(\text{P}_2\text{O}_5)_{1-x}$ terhadap % pecahan mol	127
7.2	Perkaitan antara isipadu molar $(\text{PbO})_x(\text{P}_2\text{O}_5)_{1-x}$ terhadap % pecahan mol	128
7.3	Perkaitan antara halaju melintang dan halaju membujur terhadap % pecahan mol bagi kaca $(\text{PbO})_x(\text{P}_2\text{O}_5)_{1-x}$	129
7.4	Perkaitan antara pemalar kenyal terhadap % pecahan mol bagi kaca $(\text{PbO})_x(\text{P}_2\text{O}_5)_{1-x}$	131

7.5	Perkaitan antara S_{11} , S_{12} dan S_{44} terhadap % pecahan mol bagi kaca $(PbO)_x(P_2O_5)_{1-x}$	132
7.6	Perkaitan antara Modulus kenyal terhadap % pecahan mol bagi kaca $(PbO)_x(P_2O_5)_{1-x}$	133
7.7	Perkaitan antara nisbah Poisson terhadap % pecahan mol bagi kaca $(PbO)_x(P_2O_5)_{1-x}$	135
7.8	Perkaitan antara atom perunit isipadu dan suhu Debye terhadap % pecahan mol bagi kaca plumbum fosfat	136
7.9	Perkaitan antara ketumpatan $(PbO)_x(P_2O_5)_{1-x}$ terhadap perubahan suhu sepuhlindapan.	141
7.10	Perkaitan antara isipadu molar $(PbO)_x(P_2O_5)_{1-x}$ terhadap perubahan suhu sepuhlindapan.	142
7.11	Perkaitan antara halaju ultrasonik $(PbO)_x(P_2O_5)_{1-x}$ terhadap perubahan suhu sepuhlindapan.	143
7.12	Perkaitan antara modulus pukal dan modulus Young kaca $(PbO)_x(P_2O_5)_{1-x}$ terhadap perubahan suhu sepuhlindapan.	146
7.13	Perkaitan antara nisbah Poisson kaca $(PbO)_x(P_2O_5)_{1-x}$ terhadap perubahan suhu sepuhlindapan.	147
7.14	Perkaitan antara Suhu Debye kaca $(PbO)_x(P_2O_5)_{1-x}$ terhadap perubahan suhu sepuhlindapan.	148
8.1	Perkaitan antara ketumpatan dan % pecahan mol $(ZnO)_x(P_2O_5)_{1-x}$ pada suhu bilik	151
8.2	Perkaitan antara halaju ultrasonik terhadap % pecahan mol bagi kaca $(ZnO)_x(P_2O_5)_{1-x}$	154
8.3	Perkaitan antara pemalar kenyal C_{11} , C_{12} dan C_{44} terhadap % pecahan mol bagi kaca $(ZnO)_x(P_2O_5)_{1-x}$	155
8.4	Perkaitan antara S_{11} , S_{12} dan S_{44} terhadap % pecahan mol bagi kaca $(ZnO)_x(P_2O_5)_{1-x}$	156
8.5	Perkaitan antara modulus pukal dan modulus Young terhadap % pecahan mol bagi kaca $(ZnO)_x(P_2O_5)_{1-x}$	157

8.6	Perkaitan antara nisbah Poisson terhadap % pecahan mol bagi kaca $(\text{ZnO})_x(\text{P}_2\text{O}_5)_{1-x}$	159
8.7	Perkaitan antara atom perunit isipadu dan suhu Debye terhadap % pecahan mol bagi kaca Zink Fosfat	160
8.8	Perkaitan antara ketumpatan dan isipadu molar bagi kaca $(\text{ZnO})_x(\text{P}_2\text{O}_5)_{1-x}$ terhadap perubahan suhu sepuhlindapan.	165
8.9	Perkaitan antara halaju melintang dan halaju membujur kaca $(\text{ZnO})_x(\text{P}_2\text{O}_5)_{1-x}$ terhadap perubahan suhu sepuhlindapan.	167
8.10	Perkaitan antara pemalar kenyal kaca $(\text{ZnO})_x(\text{P}_2\text{O}_5)_{1-x}$ terhadap perubahan suhu sepuhlindapan.	168
8.11	Perkaitan antara modulus pukal dan modulus Young bagi kaca $(\text{ZnO})_x(\text{P}_2\text{O}_5)_{1-x}$ terhadap perubahan suhu sepuhlindapan.	169
8.12	Perkaitan antara nisbah Poisson kaca $(\text{ZnO})_x(\text{P}_2\text{O}_5)_{1-x}$ terhadap perubahan suhu sepuhlindapan.	170
8.13	Perkaitan antara Suhu Debye kaca $(\text{ZnO})_x(\text{P}_2\text{O}_5)_{1-x}$ terhadap perubahan suhu sepuhlindapan.	170
9.1	(a) Perkaitan antara ketumpatan terhadap % pecahan mol bagi kaca plumbum zink fosfat (b) Kesan penambahan PbO dan ZnO ke atas kaca fosfat ke atas kaca (Liu, 1996)	173
9.2	Perkaitan antara halaju ultrasonik terhadap % pecahan mol bagi kaca plumbum zink fosfat	175
9.3	Perkaitan antara modulus kenyal terhadap % pecahan mol bagi kaca plumbum zink fosfat	177
9.4	Kesan penambahan PbO dan ZnO ke atas kaca fosfat terhadap suhu transformasi kaca dan suhu perlembutan kaca (Liu, 1996)	178
9.5	Perkaitan antara nisbah Poisson terhadap % pecahan mol bagi kaca plumbum zink fosfat	179
9.6	Perkaitan antara ketumpatan kaca plumbum zink fosfat terhadap perubahan suhu sepuh lindapan.	182



9.7	Perkaitan antara halaju melintang kaca plumbum zink fosfat terhadap perubahan suhu sepuhlindapan.	184
9.8	Perkaitan antara halaju membujur kaca plumbum zink fosfat terhadap perubahan suhu sepuhlindapan.	186
9.9	Perkaitan antara C_{11} dan modulus Young kaca plumbum zink fosfat terhadap perubahan suhu sepuhlindapan.	190
9.10	Perkaitan antara C_{44} dan modulus pukal kaca plumbum zink fosfat terhadap perubahan suhu sepuhlindapan.	194
9.11	Perkaitan nisbah Poisson kaca plumbum zink fosfat terhadap perubahan suhu sepuhlindapan.	196



BAB 1

Pengenalan

Pendahuluan

Penemuan pelbagai jenis kaca seperti borosilikat bagi pembuatan kanta telah secara langsung mempengaruhi perkembangan sains astronomi yang dipelopori oleh Galileo. Perkembangan sains yang lain seperti penemuan mikroskop, jangka suhu dan lain-lain lagi telah membantu perkembangan industri pembuatan kaca untuk terus berkembang luas terutama di sekitar awal kurun ke-17.

Pembuatan kaca dipercayai bermula pada tahun 3000 sebelum masihi di Mesopotamia iaitu di sekitar Iraq dan Syria. Teknologi kaca berdokumen secara rasmi bermula pada sekitar tahun 1673-1676 oleh Ravenscroft. Pada tahun 1765, Diderot dan D'Alembert telah menerbitkan satu ensiklopedia yang mengandungi maklumat jelas mengenai pembuatan kaca dan Newton pada tahun 1704 telah menerbitkan buku bertajuk 'Optics'.

Stokes, pada tahun 1871 telah berjaya membuat kaca borat dan kaca fosfat. Pada tahun 1881, Abbe dan Schott telah berjaya mencipta kanta yang berkualiti tinggi bagi kegunaan fotografi.

Kegunaan Kaca

Kajian tentang kaca amat penting kerana sifat-sifat yang unik menjadikan ianya sebagai bahan yang amat berguna. Sifat-sifat fizik kaca seperti sifat mekanikal, akustik, optik, termal, elektrik dan magnet membuatkan ianya berbeza dari bahan lain seperti plastik, kayu atau logam. Penggunaan kaca adalah amat luas kerana ia mempunyai sifat kimia yang tidak aktif, maka ia sukar untuk bertindakbalas dengan bahan lain, tidak karat atau lambat luntur. Sifat ini sesuai untuk bahan penyimpanan bahan kimia seperti asid atau alkali. Kaca boleh dilabel, diwarnakan dan disalut; ini membolehkan pelbagai rekabentuk produk kaca dapat diolah dengan lebih mudah. Kaca fotokromik, kaca fotopeka, kaca superionik dan kaca gentian optik untuk tujuan komunikasi adalah merupakan kegunaan teknologi kaca masa kini.

Kaca banyak digunakan dalam bidang optik seperti penghantaran data, sensor pengesanan, teknologi sensor dan bahan terbaik untuk laser keadaan pepejal. Peranti magneto-optik seperti laser, ditune secara magnet, amplifiers dan pengubah frekuensi untuk industri komunikasi. Kaca boleh bersifat membiasakan, memantulkan dan membenarkan cahaya melaluinya. Ini sangat penting bagi membuat peranti optik. Apabila sinar cahaya melalui sesuatu bahan, sebahagian cahaya akan diserap, sebahagian akan dipantulkan atau terbias dan sebahagian lagi akan bergerak melepasi bahan tersebut. Kaca menunjukkan sifat lutsinar kerana hanya sedikit sinar cahaya