

**KAJIAN PRESTASI MORTAR TERUBAHSUAI BERGENTIAN SEMULAJADI
DI DALAM PERSEKITARAN AGRESIF**

oleh

FAIZAL BIN MD. HANAFIAH

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

April 2008

DEDIKASI

Khas untuk

*Isteriku Nurul Huda Yusof dan Puteriku Aishah Humairah Faizal..
Ayahanda Hj Md. Hanafiah Md. Ali dan Bonda Hjh Rahmah Mohd Ali..
Kekanda Noor Hanim Md. Hanafiah dan Dr Enna Mohd Hanafiah..
Adinda Aida Md. Hanafiah, Norzehan Md. Hanafiah dan Muhammad Faiz Hanafiah..*

*Berkat doa, sokongan dan pengorbanan kalian,
tesis ini berjaya disempurnakan dengan jayanya.*

serta...

*Profesor Ir. Dr. Mahyuddin Ramli dan
Profesor Madya Ir. Nik Fuaad Nik Abllah*

*Penyeliaan, tunjuk ajar dan nasihat kalian,
telah memantapkan penyelidikan ini..*

PENGHARGAAN

Dengan nama Allah yang Maha Pemurah lagi Maha Penyayang dan selawat ke atas junjungan besar Nabi Muhammad s.a.w. Syukur ke hadrat Ilahi, dengan limpah, kurnia dan perkenanNya, tesis Ijazah Doktor Falsafah ini berjaya disempurnakan dengan jaya dan sempurna.

Penulis ini berterima kasih kepada Kementerian Sains, Teknologi dan Inovasi Malaysia (*MOSTI*) di atas penganugerahan skim biasiswa *National Science Fellowship, NSF*. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada *Institut Pengajian Siswazah, IPS* bagi pihak Universiti Sains Malaysia di atas perantukan skim Pembantu Siswazah serta *Profesor Ir. Dr. Mahyuddin Bin Ramli* di atas perantukan skim Pembantu Pelajar. Segala skim-skim yang diterima telah memudahkan penulis menjalankan proses penyelidikan dan penulisan tesis.

Seterusnya, penulis ingin berterima kasih kepada Penyelia Utama iaitu *Profesor Ir. Dr. Mahyuddin Bin Ramli* dan Penyelia Kedua iaitu *Profesor Madya Ir. Nik Fuaad Bin Nik Abllah* di atas segala panduan, nasihat serta tunjuk ajar yang dicurahkan sepanjang tempoh penyelidikan. Penulis amat berbesar hati dan terharu di atas kesabaran dan bimbingan yang tidak pernah pudar oleh para penyelia yang di hormati dan di sanjungi. Kalian telah menjadikan penulis seorang pelajar yang tabah dan cekal menghadapi cabaran dan dugaan demi mendalami ilmu pengetahuan.

Penulis juga rasa terhutang budi kepada saudara Rozainal Rosli, kakitangan Makmal Simen dan Konkrit, Makmal Struktur, Makmal Tanah, Makmal Kayu dan Logam, Makmal Alam Sekitar, Makmal Teknologi Maklumat dan Institut Pengajian Siswazah serta para pensyarah di atas kerjasama yang diberikan sepanjang tempoh penyelidikan.

Akhir sekali, untuk keluarga tersayang khasnya buat mak dan abah. Wasallam

SUSUNAN KANDUNGAN

	Muka surat
DEDIKASI	i
PENGHARGAAN	ii
JADUAL KANDUNGAN	iii - xii
SENARAI JADUAL	xiii - xv
SENARAI RAJAH	xvi - xxvi
SENARAI PENERBITAN DAN SEMINAR	xxvii
ABSTRAK	xxviii - xxix
ABSTRACT	xxx - xxxi
BAB SATU : PENGENALAN	1
1.1 Teknologi Konkrit Bergentian	1
1.2 Konkrit Diperkukuh Gentian	4
1.3 Terminologi	5
1.4 Persekitaran Marin	6
1.5 Struktur Marin	7
1.5.1 Zon Bawah Air	8
1.5.2 Zon Atas Air	9
1.6 Isu Dan Permasalahan Penyelidikan	9
1.7 Matlamat Penyelidikan	10
1.8 Objektif Penyelidikan	11
1.9 Skop Penyelidikan	12
1.10 Susunan Tesis Penyelidikan	13
BAB DUA : KAJIAN LITERATUR	16
2.1 Pendahuluan	16
2.2 Pengkelasan Gentian	17
2.3 Gentian Semulajadi	18
2.4 Gentian Tumbuhan	19
2.5 Sifat Matrik	20
2.6 Konsep Interaksi Gentian Dan Matrik	20

2.7	Teknologi Pembuatan	21
2.8	Komposisi Gentian Semulajadi	21
2.9	Prinsip Penulangan Gentian	22
2.10	Faktor Yang Mempengaruhi Ciri-Ciri Konkrit Diperkukuh Gentian	24
2.11	Sifat Komposit Campuran Segar	24
2.12	Sifat Semasa Perubahan Campuran Segar Ke Komposit Keras	27
2.13	Sifat Komposit Keras	28
2.14	Ciri-Ciri Kekuatan Komposit Bergentian	28
	2.14.1 Sifat Kawalan Keretakan Dan Penyerapan Tenaga Hentaman	30
	2.14.2 Sifat-Sifat Terma	30
	2.14.3 Sifat-Sifat Akustik	31
	2.14.4 Kebolehtelapan, Resapan Air, Pengembangan dan Pengecutan	32
2.15	Rekabentuk Komposit Simen Gentian	32
	2.15.1 Perspektif Gentian Untuk Komposit Simen-Gentian	33
	2.15.2 Pemilihan Gentian Semulajadi	33
	2.15.3 Pecahan Isipadu Gentian, V_f	34
	2.15.4 Rupabentuk Gentian	34
	2.15.5 Diameter Gentian	34
	2.15.6 Panjang Dan Aspek Nisbah Gentian	35
	2.15.7 Orientasi Gentian	35
	2.15.8 Bentuk Gentian	35
2.16	Sifat-Sifat Komposit Bergentian	35
	2.16.1 Sifat Komposit Segar	36
	2.16.2 Sifat Komposit Keras	36
2.17	Ketahanan Komposit Gentian Semulajadi	36
	2.17.1 Penguraian Komposit Gentian Di Dalam Medium Alkali	37
	2.17.2 Kerapuhan Komposit Gentian Akibat Proses Penuaan	37
2.18	Kaedah Peningkatan Ketahanan Komposit Bergentian	37
	2.18.1 Peningkatan Prestasi Gentian	38
	2.18.1.1 Rupabentuk Gentian Semulajadi	38
	2.18.1.2 Pengisitepuan Gentian Semulajadi Dengan Agen Perintang	38

2.18.1.3	Pengisitepuan Gentian Semulajadi Dengan Agen Telap Air	39
2.18.1.4	Pengisitepuan Gentian Semulajadi Dengan Agen Perintang Dan Agen Telap Air	39
2.18.2	Peningkatan Prestasi Matrik Simen	39
2.18.2.1	Kesan Penyalutan Matrik Simen	39
2.18.2.2	Kesan Pengurang Nilai Kealkalian	40
2.18.3	Kombinasi Pengisitepuan Gentian Dan Perubahan Terhadap Matrik Simen	41
2.19	Gentian Kelapa	41
2.19.1	Kegunaan Gentian Kelapa	46
2.19.1.1	Papan Tanpa Perekat Berprestasi Dan Berketumpatan Tinggi	46
2.19.1.2	Panel Ringan Gentian Kelapa-Simen (KGK-OPC)	46
2.19.1.3	Panel Gentian Kelapa-Epoxy Polimer (KGK-EP)	46
2.19.1.4	Bahan Geotekstil	46
2.19.1.5	Karbon Teraktif ZnCl ₂ Gentian Kelapa	47
2.20	Gentian Kelapa Sawit	47
2.20.1	Kegunaan Gentian Kelapa Sawit	48
2.20.1.1	Komposit Gentian Sawit – Epoxy Polymer (KGS-EP)	48
2.20.1.2	Komposit Gentian Kelapa Sawit – Polyurethane (KGS-PU)	49
2.20.1.3	Komposit Hybrid Gentian Kelapa Sawit – Kaca-Phenol-Formaldehyde (KHGS-PF)	49
2.20.1.4	Komposit Hybrid Gentian Kelapa Sawit/Sisal– Getah Asli (KHSS-G)	49
2.20.1.5	Komposit Gentian Kelapa Sawit – Getah Asli (KGS-G)	49
2.21	Bahan Pozzolana	50
2.21.1	Wasap Silika	51
2.21.1.1	Sifat Plastik Dan Kekuatan Mampat	53
2.21.1.2	Sifat Kebolehtelapan Pozzolana	53
2.22	Agregat Debu Kuari	54

2.22.1	Penggunaan Debu Kuari Di Dalam Industri Pembinaan	54
2.23	Bahan Tambah Super-Pemplastik	56
2.23.1	Mekanisma Perlakuan Super-Pemplastik	56
2.24	Kesimpulan	57
BAB TIGA : PROGRAM EKSPERIMEN DAN SIFAT BAHAN		60
3.1	Pengenalan	60
3.2	Program Eksperimen	60
3.3	Bancuhan Percubaan	60
3.3.1	<i>Objektif Bancuhan Percubaan</i>	60
3.3.2	Analisis Bancuhan Percubaan	61
3.4	Rekabentuk Campuran Konkrit	64
3.4.1	Campuran Nominal	65
3.4.2	Campuran Dah-Tentu	65
3.4.3	Campuran Rekabentuk	65
3.5	Rekabentuk Konkrit Kaedah Alam Sekitar	66
3.6	Program Penyediaan Spesimen	67
3.6.1	Penyediaan Bahan Campuran Mortar	67
3.6.2	Jenis-Jenis Pengawetan	68
3.6.3	Kaedah Pengawetan	69
3.6.4	Tempoh Pengawetan	70
3.6.5	Tatacara Penamaan Spesimen	70
3.7	Program Pengujian Bahan Dan Spesimen	71
3.8	Pengujian Mortar	71
3.9	Pengujian Mortar Segar	72
3.9.1	Ujian Keboleherjaan Konkrit	72
3.9.2	Ujian Penurunan	73
3.9.2.2	Jenis runtuhan	74
3.9.2.3	Keberkesanan Ujian Runtuhan Kun	75
3.9.3	Ujian Faktor Pempadatan	75
3.9.3.2	Keberkesanan Ujian Faktor Pempadatan	76
3.9.3.3	Analisis Ujian Faktor Pempadatan	76
3.9.4	Ujian Ketumpatan Konkrit Segar	77
3.10	Pengujian Mortar Keras	78
3.11	Ujian Tanpa Musnah	78

3.11.1	Ketumpatan Kiub	78
3.11.2	Halaju Denyut	78
3.12	Ujian Musnah	79
3.12.1	Kekuatan Mampat	80
3.12.2	Kekuatan Lentur	80
3.12.3	Kehilangan Berat	80
3.12.4	Pengkarbonatan	80
3.12.5	Kekenyalan Modulus Dinamik	81
3.12.6	Kadar Resapan Air	81
3.12.7	Pengembangan Dan Pengecutan	82
3.12.8	Resapan Klorida	82
3.12.8.1	Penyediaan Larutan Piawai.	82
3.12.8.2	Peranan Larutan Piawai	83
3.12.8.3	Penyediaan Sampel Pengujian	84
3.12.9	Ketelapan Oksigen	85
3.12.9.1	Penyediaan Sampel Pengujian	85
3.13	Sifat Bahan	87
3.14	Simen	87
3.14.1	Sejarah Ringkas	87
3.14.2	Jenis-Jenis Simen	88
3.14.3	Sifat Fizikal Simen Portland	88
3.14.4	Komposisi Kimia Simen Portland	89
3.14.5	Pengaruh Sebatian Utama	90
3.15	Agregat	92
3.15.1	Agregat Pasir	93
3.15.2	Agregat Debu Kuari.	94
3.15.3	Analisis Ayakan Agregat	94
3.15.3.2	Keputusan Analisis Ayakan Dan Penggredan Agregat	95
3.15.4	Ketumpatan Relatif Dan Penyerapan Air	97
3.15.5	Kandungan Kelembapan Agregat	98
3.15.6	Kandungan Debu, Kelodak Dan Tanah Liat	99
3.16	Bahan Super-Pemplastik	100
3.17	Bahan Pozzolan Wasap Silika	101
3.17.1	Applikasi Wasap Silika	102
3.17.1.1	Konkrit Tahan Sulfat Mikrosilika	103

3.17.1.2	Konkrit Penurap Dan Papak Mikrosilika	103
3.17.1.3	Konkrit Marin Mikrosilika	103
3.17.1.4	Konkrit Tahan Kimia Mikrosilika	103
3.17.1.5	Konkrit Kalis Air Mikrosilika	104
BAB EMPAT : PRESTASI KEKUATAN MORTAR BERGENTIAN SEMULAJADI		105
4.1	Pengenalan	105
4.2	Kestabilan Dimensi	105
4.2.1	Ketumpatan	105
4.2.1.1	Pengaruh Kaedah Pengawetan Terhadap Ketumpatan	106
4.2.1.2	Pengaruh Pengawetan Secara Kitaran Terhadap Ketumpatan	108
4.2.1.3	Purata Dan Peratusan Nilai Ketumpatan Mortar	109
4.2.1.4	Hubungan Di Antara Ketumpatan Mortar Dengan Tempoh Pengawetan	110
4.3	Halaju Denyut Ultrasonik	112
4.3.1	Pengaruh Kaedah Pengawetan Terhadap Halaju Denyut	112
4.3.2	Pengaruh Pengawetan Secara Kitaran Terhadap Halaju Denyut	114
4.3.3	Purata Dan Peratusan Nilai Kualiti Halaju Denyut Mortar	115
4.3.4	Hubungan Di Antara Kualiti Halaju Denyut Dengan Tempoh Pengawetan	116
4.4	Ciri-Ciri Mekanikal Mortar	119
4.4.1	Kekuatan Mampat	119
4.4.1.1	Pengaruh Kaedah Pengawetan Terhadap Kekuatan Mampat	119
4.4.1.2	Pengaruh Pengawetan Secara Kitaran Terhadap Kekuatan Mampat	121
4.4.1.3	Purata Dan Peratusan Nilai Kekuatan Mampat Mortar	122

4.4.1.4	Hubungan Di Antara Kekuatan Mampat Dengan Tempoh Pengawetan	123
4.4.1.5	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Kekuatan Mampat Dengan Tempoh Pengawetan.	126
4.4.2	Hubungan Kekuatan Mampat Dan Halaju Denyut	128
4.4.3	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Kekuatan Mampat Dan Halaju Denyut	130
4.4.4	Kekuatan Lentur	131
4.4.4.1	Pengaruh Kaedah Pengawetan Terhadap Kekuatan Lentur	131
4.4.4.2	Pengaruh Pengawetan Secara Kitaran Terhadap Kekuatan Lentur	133
4.4.4.3	Purata Dan Peratusan Nilai Kekuatan Lentur Mortar	134
4.4.4.4	Hubungan Di Antara Kekuatan Lentur Dengan Tempoh Pengawetan	136
4.4.4.5	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Kekuatan Lentur Dengan Tempoh Pengawetan	138
4.4.5	Hubungan Di Antara Kekuatan Mampat Dan Kekuatan Lentur	140
4.4.6	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Kekuatan Mampat Dan Kekuatan Lentur	142
4.5	Kekenyalan Modulus Dinamik	143
4.5.1	Pengaruh Kaedah Pengawetan Terhadap Nilai Modulus Dinamik	144
4.5.2	Purata Dan Peratusan Nilai kekenyalan Modulus Dinamik	146
4.5.3	Hubungan Di Antara Modulus Dinamik Dengan Tempoh Pengawetan	147
4.5.4	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Modulus Dinamik Dengan Tempoh Pengawetan	150
4.5.5	Hubungan Di Antara Modulus Dinamik Dengan Halaju Denyut	151

4.5.6	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Modulus Dinamik Dengan Halaju Denyut	154
4.6	Perbincangan	155
4.7	Kesimpulan	157
BAB LIMA : PRESTASI KETAHANAN DAN KEMAMPUAN MORTAR BERGENTIAN SEMULAJADI		163
5.1	Pengenalan	163
5.2	Kehilangan Berat	163
5.2.1	Purata Dan Peratusan Nilai Kehilangan Berat Mortar	164
5.2.2	Hubungan Kehilangan Berat Dengan Tempoh Pengawetan Mortar	165
5.2.3	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Kehilangan Berat Dengan Tempoh Pengawetan Mortar	166
5.3	Pengkarbonatan Atmosfera	167
5.3.1	Pengaruh Kaedah Pengawetan Terhadap Pengkarbonatan Mortar	167
5.3.2	Pengaruh Pengawetan Secara Kitaran Terhadap Pengkarbonatan Mortar	168
5.3.3	Purata Dan Peratusan Pengkarbonatan Mortar	169
5.3.4	Hubungan Pengkarbonatan Dengan Tempoh Pengawetan Mortar	171
5.3.5	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Pengkarbonatan Dengan Tempoh Pengawetan Mortar	173
5.4	Pengembangan Dan Pengecutan Mortar	175
5.4.1	Pengaruh Kaedah Pengawetan Terhadap Perubahan Dimensi Mortar	175
5.4.2	Purata Dan Peratusan Perubahan Dimensi Mortar	177
5.5	Kadar Resapan Air	179
5.5.1	Kesan Kaedah Pengawetan Terhadap Resapan Air Mortar	179
5.5.2	Kesan Pengawetan Secara Kitaran Terhadap Resapan Air Mortar	180
5.5.3	Purata Dan Peratusan Resapan Air Mortar	181

5.5.4	Hubungan Di Antara Resapan Air Dengan Tempoh Pengawetan	183
5.5.5	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Resapan Air Dengan Tempoh Pengawetan	185
5.6	Ketelapan Oksigen	187
5.6.1	Prinsip Asas Ketelapan Oksigen	187
5.6.2	Kesan Kaedah Pengawetan Terhadap Ketelapan Oksigen Mortar	188
5.6.3	Kesan Pengawetan Secara Kitaran Terhadap Ketelapan Oksigen Mortar	190
5.6.4	Purata Dan Peratus Ketelapan Oksigen Mortar	191
5.6.5	Hubungan Di Antara Ketelapan Oksigen Dengan Tempoh Pengawetan	193
5.6.6	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Ketelapan Oksigen Dengan Tempoh Pengawetan	196
5.7	Hubungan Di Antara Nilai Ketelapan Dan Kekuatan Mampat	198
5.7.1	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Ketelapan Oksigen Dengan Kekuatan Mampat	200
5.8	Hubungan Di Antara Nilai Ketelapan Dan Kadar Resapan Air	203
5.8.1	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Ketelapan Oksigen Dengan Resapan Oksigen	205
5.9	Resapan Klorida	207
5.9.1	Kesan Kaedah Pengawetan Terhadap Resapan Klorida	208
	5.9.1.1 Resapan Klorida Pada Tempoh Setara 30 Hari	208
	5.9.1.2 Resapan Klorida Pada Tempoh Setara 90 Hari	210
	5.9.1.3 Resapan Klorida Pada Tempoh Setara 180 Hari	211
	5.9.1.4 Resapan Klorida Pada Tempoh Setara 360 Hari	213
5.9.2	Purata Dan Peratus Resapan Klorida Mortar	215
5.9.3	Hubungan Di Antara Resapan Klorida Dan Tempoh Pengawetan Mortar	217
5.10	Perbincangan	222
5.11	Kesimpulan	225

BAB ENAM : REKABENTUK PANEL RINGAN SANDWIC FEROSIMEN	231	
6.1	Pendahuluan	231
6.2	Matlamat Dan Objektif Program	232
6.3	Penyediaan Panel Penyelidikan	232
6.3.1	Penyediaan Elemen Sandwic Ringan	234
6.3.1.1	Pemilihan Jejaring Tetulang Terkimpal	234
6.4	Rekabentuk Panel Sandwic Ringan	236
6.5	Pengujian Panel Sandwic Ringan	239
6.6	Beban Rekahan Pertama (F_{cr}), Beban Muktamad (F_u) dan Nilai Pesongan.	242
6.7	Purata Lebar Dan Bilangan Rekahan Panel	246
6.8	Perbincangan	
6.9	Kesimpulan	247
BAB TUJUH : KESIMPULAN DAN KAJIAN MASA HADAPAN	250	
7.1	Kesimpulan	250
7.2	Kajian Masa Hadapan	254
SENARAI RUJUKAN	256 - 265	
LAMPIRAN		
Lampiran A	Rekabentuk Kaedah Alam Sekitar	i - ix

SENARAI JADUAL

		Muka surat
Jadual 1.0	Komposisi Ion Terlarut Di Dalam Air Laut	7
Jadual 2.0	Perbandingan Sifat Kepingan Bumbung Bergentian Elephant-Grass Dan Gentian Asbestos	31
Jadual 2.1	Ciri-Ciri Gentian Kelapa	41
Jadual 2.2	Kekuatan Hentaman Konkrit Diperkukuh Gentian Semulajadi	43
Jadual 2.3	Konduktiviti Terma Papak Berombak Gentian Kelapa	44
Jadual 2.4	Pemalar Penebat Bunyi Bagi Papak Bergentian Kelapa	45
Jadual 2.5	Perbandingan Sifat Fizikal Kepingan Bumbung Bergentian Kelapa dan Kepingan Bumbung Asbestos	45
Jadual 3.0	Komposisi Bahan Campuran Bancuhan Percubaan (Debu Kuari Kasar)	62
Jadual 3.1	Komposisi Bahan Campuran Bancuhan Percubaan (Debu Kuari Halus)	63
Jadual 3.2	Jenis-Jenis Spesimen Penyelidikan	70
Jadual 3.3	Kod Penamaan Spesimen Penyelidikan	71
Jadual 3.4	Kebolehkeraan, Turunan Dan Faktor Pepadatan Konkrit Beragregat Saiz Maksima 19 atau 38 mm	73
Jadual 3.5	Data Pengujian Nilai Penurunan Mortar	74
Jadual 3.6	Nilai Faktor Pepadatan 6 Set Bancuhan	77
Jadual 3.7	Nilai Ketumpatan Mortar Segar 6 Set Bancuhan	77
Jadual 3.8	Nilai Rencaman Sebatian Di Dalam Lima Jenis Simen Portland Yang Lazim	89
Jadual 3.9	Jenis Sebatian Dan Formula Asasnya	90
Jadual 3.10	Kadar Dan Kuantiti Haba Penghidratan Sebatian Simen Portland Biasa	91
Jadual 3.11	Komposisi Kimia Simen Portland ' <i>Blue Lion</i> '	92
Jadual 3.12	Ciri-Ciri Fizikal Agregat Halus	93
Jadual 3.13	Analisis Kimia Ke Atas Agregat Halus	93

SENARAI JADUAL (Sambungan)

	Muka surat
Jadual 3.14 Analisis Ayakan Agregat Halus	94
Jadual 3.15 Had Penggredan Agregat Halus	95
Jadual 3.16 Analisis Ayakan Ke Atas Debu Kuari	95
Jadual 3.17 Analisis Ayakan Pasir	96
Jadual 3.18 Data Ujian Ketumpatan Relatif Dan Penyerapan Air (Pasir)	98
Jadual 3.19 Data Ujian Ketumpatan Relatif Dan Penyerapan Air (Debu Kuari)	98
Jadual 3.20 Kandungan Kelembapan Agregat Pasir, (%)	99
Jadual 3.21 Kandungan Kelembapan Agregat Debu Kuari, (%)	99
Jadual 3.22 Sifat Bahan Conplast SP1000	101
Jadual 3.23 Data-Data Kimia Wasap Silika	102
Jadual 3.24 Komposisi Tipikal Wasap Silika	102
Jadual 3.25 Ringkasan Hubungan Pengujian, Kaedah Pengawetan Dan Tempoh Pengujian	104
Jadual 4.1 Persamaan Am Dan Nilai Pekali Korelasi, r^2 (Hubungan Antara Ketumpatan, ρ Dan Tempoh Pengawetan)	112
Jadual 4.2 Persamaan Am Dan Nilai Pekali Korelasi, r^2 (Hubungan Antara Nilai Halaju Denyut, V Dan Tempoh Pengawetan)	118
Jadual 4.3 Persamaan Am Dan Nilai Pekali Korelasi, r^2 (Hubungan Antara Kekuatan Mampat, f_{cu} Dan Tempoh Pengawetan)	125
Jadual 4.4 Persamaan Regrasi Bagi Perhubungan Di Antara Kekuatan Mampat, f_{cu} dan Halaju Denyut, V .	130
Jadual 4.5 Persamaan Am Dan Nilai Pekali Korelasi, r^2 (Hubungan Antara Kekuatan Lentur, f_{cf} Dan Tempoh Pengawetan)	138
Jadual 4.6 Persamaan Regrasi Bagi Perhubungan Di Antara Kekuatan Lentur, f_{cf} Dan Kekuatan Mampat, f_{cu}	141
Jadual 4.7 Kekenyalan Modulus Dinamik, Pengawetan Medium Udara (N/mm^2)	143
Jadual 4.8 Kekenyalan Modulus Dinamik, Pengawetan Medium Garam (N/mm^2)	144

SENARAI JADUAL (Sambungan)

	Muka surat	
Jadual 4.9	Kekenyalan Modulus Dinamik, Pengawetan Secara Kitaran (N/mm^2)	144
Jadual 4.10	Persamaan Am Dan Nilai Pekali Korelasi, r^2 (Hubungan Antara Kekenyalan Modulus Dinamik, E_d Dan Tempoh Pengawetan)	149
Jadual 4.11	Persamaan Regrasi bagi Perhubungan Di Antara Modulus Dinamik, E_d Dan Halaju Denyut, V	153
Jadual 5.0	Persamaan Regrasi bagi Perhubungan Di Antara Kehilangan Berat, WL Dan Tempoh Pengawetan (hari)	164
Jadual 5.1	Persamaan Am Dan Nilai Pekali Korelasi, r^2 (Hubungan Antara Pengkarbonatan Atmosfera, C Dan Tempoh Pengawetan)	172
Jadual 5.2	Persamaan Am Dan Nilai Pekali Korelasi, r^2 (Hubungan Antara Kadar Resapan Air, W Dan Tempoh Pengawetan)	184
Jadual 5.3	Persamaan Am Dan Nilai Pekali Korelasi, r^2 (Hubungan Antara Nilai Ketelapan Oksigen, K Dan Tempoh Pengawetan)	194
Jadual 5.4	Nilai pekali korelasi, r^2 (Hubungan Antara Nilai Ketelapan Oksigen, K Dan Kekuatan Mampat, f_{cu})	198
Jadual 5.5	Persamaan Am Dan Nilai Pekali Korelasi, r^2 (Hubungan Antara Nilai Ketelapan Oksigen, K Dan Kadar Resapan Air, W)	204
Jadual 5.6	Persamaan Am Dan Nilai Pekali Korelasi, r^2 (Hubungan Antara Resapan Klorida, J Dan Tempoh Pengawetan)	220
Jadual 5.7	Persamaan Am Dan Nilai Pekali Korelasi, r^2 (Hubungan Antara Resapan Klorida, J Dan Tempoh Pengawetan)	221
Jadual 6.0	Ciri-Ciri Mekanikal Mortar, Pengawetan Medium Udara (30 hari)	238
Jadual 6.1	Ciri-Ciri Mekanikal Mortar, Pengawetan Medium Garam (30 hari)	238
Jadual 6.2	Beban Rekahan Pertama, Beban Muktamad Dan Nilai Pesongan, Pengawetan Medium Udara (30 hari)	239
Jadual 6.3	Beban Rekahan Pertama, Beban Muktamad Dan Nilai Pesongan, Pengawetan Medium Garam (30 hari)	241
Jadual 6.4	Perbandingan Purata Lebar Dan Bilangan Rekahan	243

SENARAI RAJAH

		Muka surat
Rajah 1.0	Perkadaran Relatif Garam Terlarut Di Dalam Air Laut	7
Rajah 2.0	Pengelasan Gentian-Gentian	17
Rajah 2.1	Skematik Tindakbalas Gentian Terhadap Keretakan	23
Rajah 2.2	Konsep Matrik Simen Diperkukuh Gentian	24
Rajah 2.3	Nilai Penambahan Air Untuk Mengekalkan Nilai Keboleherjaan Komposit	25
Rajah 2.4	Penilaian Kecenderungan Penggumpalan Gentian	26
Rajah 2.5	Perlakuan Keretakan Konkrit Bergentian Terhadap Masa Pengacuan Dan Pengesetan Simen	27
Rajah 2.6	Perlakuan Tegangan-Terikan Konkrit Biasa, Konkrit Bergentian Pendek Dan Panjang	29
Rajah 2.7	Kekuatan Tegangan Gentian Kaca Sebagai Fungsi Diameter Gentian	34
Rajah 2.8	Perbandingan Lengkuk Tegasan-Tegangan Mortar Bergentian	38
Rajah 2.9	Kaitan Tegasan-Terikan Gentian Kelapa	42
Rajah 2.10	Pengaruh Pengacuan Bertekanan Terhadap Modulus Pecah Komposit Simen Bergentian Kelapa	42
Rajah 2.11	Lengkuk Beban-Pesongan Papak Bergentian Kelapa	43
Rajah 2.12	Hubungan Koefisien Penebatan Bunyi Dan Frekuensi Bunyi, Papak Bergentian Kelapa	44
Rajah 2.13	Klasifikasi Bahan Pozzolan	50
Rajah 2.14	Peranan Wasap Silika Sebagai Bahan Pengisi	51
Rajah 2.15	'Kesan Dinding' Yang Dimainkan Oleh Wasap Silika	51
Rajah 2.16	Peranan Wasap Silika Sebagai Bahan Pozzolana	52
Rajah 2.17	Penggredan Debu Kuari Berdasarkan <i>British Standard Institution, BS 812: Bahagian 103: 1985</i>	55
Rajah 3.0	Perbandingan Kekuatan Mampat Debu Kuari Kasar, 7 Dan 28 hari	62
Rajah 3.1	Perbandingan Kekuatan Lentur Debu Kuari Kasar, 7 Dan 28 hari	62

SENARAI RAJAH (Sambungan)

		Muka surat
Rajah 3.2	Perbandingan Kekuatan Mampat Debu Kuari Halus, 7 Dan 28 hari	63
Rajah 3.3	Perbandingan Kekuatan Lentur Debu Kuari Halus, 7 Dan 28 hari	63
Rajah 3.4	Perbandingan Kekuatan Mampat Berdasarkan Variasi Penggunaan Bahan Super-Pemplastik	64
Rajah 3.5	Agregat Halus (Pasir Dan Debu Kuari)	67
Rajah 3.6	Gentian-Gentian Semulajadi	68
Rajah 3.7	Frustrum Kun (Untuk Ujian Penurunan)	73
Rajah 3.8	Jenis Runtuhan Kon	75
Rajah 3.9	Peralatan Ujian Faktor Pematatan	76
Rajah 3.10	Skematik Penyediaan Sampel Teras Kadar Resapan Klorida	85
Rajah 3.11	Skematik Penyediaan Sampel Teras Ketelapan Oksigen	86
Rajah 3.12	Peralatan Untuk Ujian Ketelapan Oksigen	86
Rajah 3.13	Tatacara Perletakan Teras Mortar Ketelapan Oksigen.	87
Rajah 3.14(a)	Analisis Penggredan Pasir Berdasarkan <i>BS 882. Bah. 2, 1973</i>	96
Rajah 3.14(b)	Analisis Penggredan Debu Kuari Berdasarkan <i>BS 882. Bah. 2, 1973</i>	96
Rajah 3.15(a)	Analisis Penggredan Pasir Berdasarkan BS 812: Bahagian 103: 1985	97
Rajah 3.15(b)	Analisis Penggredan Debu Kuari Berdasarkan BS 812: Bahagian 103: 1985	97
Rajah 3.16	Peratusan Debu, Kelodak Dan Tanah Liat Untuk Agregat Pasir (%)	100
Rajah 3.17	Peratusan Debu, Kelodak Dan Tanah Liat Untuk Agregat Debu Kuari (%)	100
Rajah 4.1	Ketumpatan Mortar, Pengawetan Medium Udara (kg/m^3)	106
Rajah 4.2	Ketumpatan Mortar, Pengawetan Medium Garam (kg/m^3)	107

SENARAI RAJAH (Sambungan)

		Muka surat
Rajah 4.3	Ketumpatan Mortar, Pengawetan Secara Kitaran (kg/m^3)	108
Rajah 4.4(a)	Purata Nilai Ketumpatan Mortar (kg/m^3)	109
Rajah 4.4(b)	Peratusan Ketumpatan Berbanding Mortar <i>SFM</i> (%)	110
Rajah 4.5(a)	Hubungan Di Antara Ketumpatan, ρ Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Udara</i>)	110
Rajah 4.5(b)	Hubungan Di Antara Ketumpatan, ρ Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Garam</i>)	111
Rajah 4.5(c)	Hubungan Di Antara Ketumpatan, ρ Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Secara Kitaran</i>)	111
Rajah 4.6	Halaju Denyut Mortar, Pengawetan Medium Udara (km/s)	113
Rajah 4.7	Halaju Denyut Mortar, Pengawetan Medium Garam (km/s)	114
Rajah 4.8	Halaju Denyut Mortar, Pengawetan Secara Kitaran (km/s)	115
Rajah 4.9(a)	Purata Halaju Denyut Mortar (km/s)	115
Rajah 4.9(b)	Peratusan Halaju Denyut Berbanding Mortar <i>OPM</i> (%)	116
Rajah 4.10(a)	Hubungan Di Antara Halaju Denyut, V Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Udara</i>)	117
Rajah 4.10(b)	Hubungan Di Antara Halaju Denyut, V Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Garam</i>)	117
Rajah 4.10(c)	Hubungan Di Antara Halaju Denyut, V Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Secara Kitaran</i>)	118
Rajah 4.11	Kekuatan Mampat Mortar, Pengawetan Medium Udara (N/mm^2)	120
Rajah 4.12	Kekuatan Mampat Mortar, Pengawetan Medium Garam (N/mm^2)	121
Rajah 4.13	Kekuatan Mampat Mortar, Pengawetan Secara Kitaran (N/mm^2)	122
Rajah 4.14(a)	Purata Kekuatan Mampat Mortar (N/mm^2)	122
Rajah 4.14(b)	Peratusan Kekuatan Mampat Mortar Berbanding Mortar <i>OPM</i> (%)	123
Rajah 4.15(a)	Hubungan Di Antara Kekuatan Mampat, f_{cu} Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Udara</i>)	124

SENARAI RAJAH (Sambungan)

		Muka surat
Rajah 4.15(b)	Hubungan Di Antara Kekuatan Mampat, f_{cu} Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Garam</i>)	124
Rajah 4.15(c)	Hubungan Di Antara Kekuatan Mampat, f_{cu} Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Secara Kitaran</i>)	125
Rajah 4.15(d)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Kekuatan Mampat, f_{cu} Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Udara</i>)	126
Rajah 4.15(e)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Kekuatan Mampat, f_{cu} Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Garam</i>)	127
Rajah 4.16(a)	Hubungan Di Antara Kekuatan Mampat, f_{cu} Dan Halaju Denyut, V (<i>Pengawetan Medium Udara</i>)	128
Rajah 4.16(b)	Hubungan Di Antara Kekuatan Mampat, f_{cu} Dan Halaju Denyut, V (<i>Pengawetan Medium Garam</i>)	129
Rajah 4.16(c)	Hubungan Di Antara Kekuatan Mampat, f_{cu} Dan Halaju Denyut, V (<i>Pengawetan Secara Kitaran</i>)	129
Rajah 4.16(d)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Kekuatan Mampat, f_{cu} Dan Halaju Denyut, V (<i>Pengawetan Medium Udara</i>)	131
Rajah 4.16(e)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Kekuatan Mampat, f_{cu} Dan Halaju Denyut, V (<i>Pengawetan Medium Garam</i>)	131
Rajah 4.17	Kekuatan Lentur Mortar, Pengawetan Medium Udara (N/mm^2)	132
Rajah 4.18	Kekuatan Lentur Mortar, Pengawetan Medium Garam (N/mm^2)	133
Rajah 4.19	Kekuatan Lentur Mortar, Pengawetan Secara Kitaran (N/mm^2)	134
Rajah 4.20(a)	Purata Kekuatan Lentur Mortar (N/mm^2)	135
Rajah 4.20(b)	Peratusan Kekuatan Lentur Berbanding Mortar OPM (%)	135
Rajah 4.21(a)	Hubungan Di Antara Kekuatan Lentur, f_{cf} Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Udara</i>)	136
Rajah 4.21(b)	Hubungan Di Antara Kekuatan Lentur, f_{cf} Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Garam</i>)	137

SENARAI RAJAH (Sambungan)

		Muka surat
Rajah 4.21(c)	Hubungan Di Antara Kekuatan Lentur, f_{cf} Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Secara Kitaran</i>)	137
Rajah 4.21(d)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Kekuatan Lentur, f_{cf} Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Udara</i>)	139
Rajah 4.21(e)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Kekuatan Lentur, f_{cf} Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Garam</i>)	139
Rajah 4.22(a)	Hubungan Di Antara Kekuatan Lentur, f_{cf} Dan Kekuatan Mampat, f_{cu} (<i>Pengawetan Medium Udara</i>)	140
Rajah 4.22(b)	Hubungan Di Antara Kekuatan Lentur, f_{cf} Dan Kekuatan Mampat, f_{cu} (<i>Pengawetan Medium Garam</i>)	141
Rajah 4.22(c)	Hubungan Di Antara Kekuatan Lentur, f_{cf} Dan Kekuatan Mampat, f_{cu} (<i>Pengawetan Secara Kitaran</i>)	141
Rajah 4.22(d)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Kekuatan Lentur, f_{cf} Dan Kekuatan Mampat, f_{cu} (<i>Pengawetan Medium Udara</i>)	142
Rajah 4.22(e)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Kekuatan Lentur, f_{cf} Dan Kekuatan Mampat, f_{cu} (<i>Pengawetan Medium Garam</i>)	143
Rajah 4.23	Modulus Dinamik Mortar, Pengawetan Medium Udara (N/mm^2)	144
Rajah 4.24	Modulus Dinamik Mortar, Pengawetan Medium Garam (N/mm^2)	145
Rajah 4.25	Modulus Dinamik Mortar, Pengawetan Secara Kitaran (N/mm^2)	145
Rajah 4.26(a)	Purata Kekenyalan Modulus Dinamik Mortar (N/mm^2)	146
Rajah 4.26(b)	Peratusan Kekenyalan Modulus Dinamik Berbanding Mortar OPM (%)	147
Rajah 4.27(a)	Hubungan Di Antara Kekenyalan Modulus Dinamik, E_d Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Udara</i>)	148
Rajah 4.27(b)	Hubungan Di Antara Kekenyalan Modulus Dinamik, E_d Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Garam</i>)	148
Rajah 4.27(c)	Hubungan Di Antara Kekenyalan Modulus Dinamik, E_d Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Secara Kitaran</i>)	149

SENARAI RAJAH (Sambungan)

		Muka surat
Rajah 4.27(d)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Kekenyalan Modulus Dinamik, E_d Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Udara</i>)	150
Rajah 4.27(e)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Kekenyalan Modulus Dinamik, E_d Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Garam</i>)	151
Rajah 4.28(a)	Hubungan Di Antara Kekenyalan Modulus Dinamik, E_d Dan Halaju Denyut Mortar, V (<i>Pengawetan Medium Udara</i>)	152
Rajah 4.28(b)	Hubungan Di Antara Kekenyalan Modulus Dinamik, E_d Dan Halaju Denyut Mortar, V (<i>Pengawetan Medium Garam</i>)	153
Rajah 4.28(c)	Hubungan Di Antara Kekenyalan Modulus Dinamik, E_d Dan Halaju Denyut Mortar, V (<i>Pengawetan Secara Kitaran</i>)	153
Rajah 4.28(d)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Kekenyalan Modulus Dinamik, E_d Dan Halaju Denyut Mortar, V (<i>Pengawetan Medium Udara</i>)	154
Rajah 4.28(e)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Kekenyalan Modulus Dinamik, E_d Dan Halaju Denyut Mortar, V (<i>Pengawetan Medium Garam</i>)	155
Rajah 5.0	Kehilangan Berat Mortar, Pengawetan Medium Asid (%)	163
Rajah 5.1(a)	Hubungan Di Antara Kehilangan Berat, WL Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Asid</i>)	164
Rajah 5.1(b)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Kehilangan Berat, WL Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Asid</i>)	165
Rajah 5.2	Pengkarbonatan Mortar, Pengawetan Medium Udara (mm)	166
Rajah 5.3	Pengkarbonatan Mortar, Pengawetan Medium Garam (mm)	167
Rajah 5.4	Pengkarbonatan Mortar, Pengawetan Secara Kitaran (mm)	168
Rajah 5.5(a)	Purata Pengkarbonatan Atmosfera Mortar (mm)	169
Rajah 5.5(b)	Peratusan Pengkarbonatan Atmosfera Berbanding SFM (%)	169

SENARAI RAJAH (Sambungan)

		Muka surat
Rajah 5.6(a)	Hubungan Di Antara Pengkarbonatan Dan Tempoh Pengawetan (Pengawetan Medium Udara)	170
Rajah 5.6(b)	Hubungan Di Antara Pengkarbonatan Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Garam</i>)	171
Rajah 5.6(c)	Hubungan Di Antara Pengkarbonatan Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Secara Kitaran</i>)	171
Rajah 5.7(a)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Pengkarbonatan Dan Tempoh Pengawetan (Pengawetan Medium Udara)	173
Rajah 5.7(b)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Pengkarbonatan Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Garam</i>)	173
Rajah 5.8	Perbandingan Nilai Pengecutan Mortar, Pengawetan Medium Udara ($\times 10^{-6}$)	175
Rajah 5.9	Perbandingan Nilai Pengembangan Mortar, Pengawetan Medium Garam ($\times 10^{-6}$)	176
Rajah 5.10(a)	Purata Perubahan Dimensi Mortar ($\times 10^{-6}$)	177
Rajah 5.10(b)	Peratusan Perubahan Dimensi Berbanding <i>SFM</i> (%)	177
Rajah 5.11	Resapan Air Mortar, Pengawetan Medium Udara (%)	178
Rajah 5.12	Resapan Air Mortar, Pengawetan Medium Garam (%)	179
Rajah 5.13	Resapan Air Mortar, Pengawetan Secara Kitaran (%)	180
Rajah 5.14(a)	Purata Resapan Air Mortar (%)	181
Rajah 5.14(b)	Peratusan Resapan Air Berbanding Mortar <i>SFM</i> , (%)	181
Rajah 5.15(a)	Hubungan Di Antara Resapan Air, W Dan Tempoh Pengawetan (Pengawetan Medium Udara)	182
Rajah 5.15(b)	Hubungan Di Antara Resapan Air, W Dan Tempoh Pengawetan (Pengawetan Medium Garam)	183
Rajah 5.15(c)	Hubungan Di Antara Resapan Air, W Dan Tempoh Pengawetan (Pengawetan Secara Kitaran)	183
Rajah 5.16(a)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Resapan Air, W Dan Tempoh Pengawetan (Pengawetan Medium Udara)	185

SENARAI RAJAH (Sambungan)

		Muka surat
Rajah 5.16(b)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Resapan Air, W Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Garam</i>)	185
Rajah 5.17	Kebolehtelapan Oksigen O_2 , Pengawetan Medium Udara ($K \times 10^{-16} \text{ m}^2$)	188
Rajah 5.18	Kebolehtelapan Oksigen O_2 , Pengawetan Medium Garam ($K \times 10^{-16} \text{ m}^2$)	189
Rajah 5.19	Kebolehtelapan Oksigen O_2 , Pengawetan Secara Kitaran ($K \times 10^{-16} \text{ m}^2$)	190
Rajah 5.20(a)	Purata Kebolehtelapan Oksigen Mortar, ($K \times 10^{-16} \text{ m}^2$)	191
Rajah 5.20(b)	Peratusan Kebolehtelapan Oksigen O_2 , Berbanding Mortar <i>SFM</i> , ($K \times 10^{-16} \text{ m}^2$)	192
Rajah 5.21(a)	Hubungan Di Antara Kebolehtelapan Oksigen, K Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Udara</i>)	193
Rajah 5.21(b)	Hubungan Di Antara Kebolehtelapan Oksigen, K Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Garam</i>)	193
Rajah 5.21(c)	Hubungan Di Antara Kebolehtelapan Oksigen, K Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Secara Kitaran</i>)	194
Rajah 5.22(a)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Kebolehtelapan Oksigen, K Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Udara</i>)	195
Rajah 5.22(b)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Kebolehtelapan Oksigen, K Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Medium Garam</i>)	196
Rajah 5.22(c)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Kebolehtelapan Oksigen, K Dan Tempoh Pengawetan (<i>Pengawetan Secara Kitaran</i>)	196
Rajah 5.23(a)	Hubungan Di Antara Kebolehtelapan Oksigen, K Dan Kekuatan Mampat, f_{cu} . (<i>Pengawetan Medium Udara</i>)	197
Rajah 5.23(b)	Hubungan Di Antara Kebolehtelapan Oksigen, K Dan Kekuatan Mampat, f_{cu} . (<i>Pengawetan Medium Garam</i>)	198
Rajah 5.23(c)	Hubungan Di Antara Kebolehtelapan Oksigen, K Dan Kekuatan Mampat, f_{cu} . (<i>Pengawetan Secara Kitaran</i>)	199

SENARAI RAJAH (Sambungan)

		Muka surat
Rajah 5.24(a)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Kebolehtelapan Oksigen, K Dan Kekuatan Mampat, f_{cu} . (<i>Pengawetan Medium Udara</i>)	200
Rajah 5.24(b)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Kebolehtelapan Oksigen, K Dan Kekuatan Mampat, f_{cu} . (<i>Pengawetan Medium Garam</i>)	200
Rajah 5.24(c)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Kebolehtelapan Oksigen, K Dan Kekuatan Mampat, f_{cu} . (<i>Pengawetan Secara Kitaran</i>)	201
Rajah 5.25(a)	Hubungan Di Antara Kebolehtelapan Oksigen, K Dan Kadar Resapan Air, W . (<i>Pengawetan Medium Udara</i>)	202
Rajah 5.25(b)	Hubungan Di Antara Kebolehtelapan Oksigen, K Dan Kadar Resapan Air, W . (<i>Pengawetan Medium Garam</i>)	203
Rajah 5.25(c)	Hubungan Di Antara Kebolehtelapan Oksigen, K Dan Kadar Resapan Air, W . (<i>Pengawetan Secara Kitaran</i>)	203
Rajah 5.26(a)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Kebolehtelapan Oksigen, K Dan Kadar Resapan Air, W . (<i>Pengawetan Medium Udara</i>)	205
Rajah 5.26(b)	Perbandingan Kajian Terdahulu Terhadap Hubungan Di Antara Kebolehtelapan Oksigen, K Dan Kadar Resapan Air, W . (<i>Pengawetan Medium Garam</i>)	206
Rajah 5.27(a)	Resapan Klorida Teras Mortar, Pengawetan Medium Garam, 30 hari (%)	208
Rajah 5.27(b)	Resapan Klorida Teras Mortar, Pengawetan Secara Kitaran 3K bersamaan 30 hari (%)	209
Rajah 5.28(a)	Resapan Klorida Teras Mortar, Pengawetan Medium Garam, 90 hari (%)	210
Rajah 5.28(b)	Resapan Klorida Teras Mortar, Pengawetan Secara Kitaran 9K bersamaan 90 hari (%)	210
Rajah 5.29(a)	Resapan Klorida Teras Mortar, Pengawetan Medium Garam, 180 hari (%)	211
Rajah 5.29(b)	Resapan Klorida Teras Mortar, Pengawetan Secara Kitaran 18K bersamaan 180 hari (%)	212
Rajah 5.30(a)	Resapan Klorida Teras Mortar, Pengawetan Medium Garam, 365 hari (%)	213

SENARAI RAJAH (Sambungan)

		Muka surat
Rajah 5.30(b)	Resapan Klorida Teras Mortar, Pengawetan Secara Kitaran 36K bersamaan 360 hari (%)	213
Rajah 5.31(a)	Purata Resapan Klorida Mortar, Pengawetan Garam (%)	214
Rajah 5.31(b)	Purata Resapan Klorida, Pengawetan Kitaran ($K \times 10^{-16} \text{ m}^2$)	214
Rajah 5.32(a)	Peratusan Resapan Klorida Berbanding Mortar <i>SFM</i> , Pengawetan Garam (%)	215
Rajah 5.32(b)	Peratusan Resapan Klorida Berbanding Mortar <i>SFM</i> , Pengawetan Secara Kitaran (%)	215
Rajah 5.33(a)	Hubungan Di Antara Resapan Klorida, <i>J</i> Dan Ketebalan Sampel, <i>d</i> (<i>Pengawetan Medium Garam</i>) Untuk Tempoh 30 Hari	216
Rajah 5.33(b)	Hubungan Di Antara Resapan Klorida, <i>J</i> Dan Ketebalan Sampel, <i>d</i> (<i>Pengawetan Secara Kitaran</i>) Untuk Tempoh 30 Hari	217
Rajah 5.34(a)	Hubungan Di Antara Resapan Klorida, <i>J</i> Dan Ketebalan Sampel, <i>d</i> (<i>Pengawetan Medium Garam</i>) Untuk Tempoh 90 Hari	217
Rajah 5.34(b)	Hubungan Di Antara Resapan Klorida, <i>J</i> Dan Ketebalan Sampel, <i>d</i> (<i>Pengawetan Secara Kitaran</i>) Untuk Tempoh 90 Hari	218
Rajah 5.35(a)	Hubungan Di Antara Resapan Klorida, <i>J</i> Dan Ketebalan Sampel, <i>d</i> (<i>Pengawetan Medium Garam</i>) Untuk Tempoh 180 Hari	218
Rajah 5.35(b)	Hubungan Di Antara Resapan Klorida, <i>J</i> Dan Ketebalan Sampel, <i>d</i> (<i>Pengawetan Secara Kitaran</i>) Untuk Tempoh 180 Hari	219
Rajah 5.36(a)	Hubungan Di Antara Resapan Klorida, <i>J</i> Dan Ketebalan Sampel, <i>d</i> (<i>Pengawetan Medium Garam</i>) Untuk Tempoh 360 Hari	219
Rajah 5.36(b)	Hubungan Di Antara Resapan Klorida, <i>J</i> Dan Ketebalan Sampel, <i>d</i> (<i>Pengawetan Secara Kitaran</i>) Untuk Tempoh 360 Hari	220
Rajah 6.0	Skematik Panel Polisterin Berkembang	233
Rajah 6.1	Skematik Jejaring Tetulang Terkimpal	234

SENARAI RAJAH (Sambungan)

		Muka surat
Rajah 6.2	Komponen Panel Sandwic Polisterin	235
Rajah 6.3	Pengujian Panel Sandwic Ringan (Pembebanan 4 Titik)	236
Rajah 6.4	Skematik Panel Sandwic Ringan Ferosimen	236
Rajah 6.5	Hubungan Di Antara Beban Dan Pesongan Struktur Panel Ringan Sandwic Ferosimen, Pengawetan Medium Udara	240
Rajah 6.6	Hubungan Di Antara Beban Dan Pesongan Struktur Panel Ringan Sandwic Ferosimen, Pengawetan Medium Garam	242
Rajah 6.7	Perbandingan Corak Rekahan Panel Ringan Sandwic Ferosimen.	244
Rajah 6.8(a)	Corak Rekahan Struktur Panel, Pengawetan Medium Udara	245
Rajah 6.8(b)	Corak Rekahan Struktur Panel, Pengawetan Medium Garam	245
Rajah 6.9(a)	Keratan Rentas Panel Ringan Ferosimen Sandwic 1	246
Rajah 6.9(b)	Keratan Rentas Panel Ringan Ferosimen Sandwic 2	246

SENARAI PENERBITAN & SEMINAR

- 1.1 *Durability of Ferro Cement Structures In Aggresive Environment By Laboratory Tests*
Proceeding of the National Science Fellowship (NSF) Annual Seminar, Ministry of Science, Technology and Innovation Malaysia and University Of Science Malaysia. Disember 20 - 22nd December 2004.

- 1.2 *Ketahanan Mortar Berserat Semulajadi Terhadap Persekitaran Marin*
Post Graduate Research Colloquium, School Of Housing, Building and Planning, University Of Science Malaysia. January 30 - 31st 2007.

KAJIAN PRESTASI MORTAR TERUBAHSUAI BERGENTIAN SEMULAJADI DI DALAM PERSEKITARAN AGRESIF

ABSTRAK

Teknologi mortar bergentian semulajadi merupakan salah satu cabang teknologi pembuatan bahan yang telah wujud lebih sedekad yang lalu. Pelbagai usaha penyelidikan terus dijalankan oleh penyelidik dengan penemuan dan suntikan idea baru yang menggalakkan teknologi ini untuk terus bersaing dengan teknologi yang lain sejajar dengan kepesatan sektor pembinaan di dunia khususnya di Malaysia. Mortar bergentian khususnya gentian semulajadi telah berjaya menghasilkan pelbagai bahan alternatif kepada industri automobil, tekstil dan sektor pembinaan.

Penyelidikan ini telah mengenalpasti beberapa potensi penggunaan gentian semulajadi dan bahan wasap silika serta gabungannya di dalam memperbaiki prestasi mortar konvensional. Penggunaan gentian semulajadi iaitu kelapa dan kelapa sawit di dalam matrik mortar berjaya mempertingkatkan nilai kekuatan lentur pada kadar 1.1% hingga 13.6% serta merendahkan nilai kehilangan berat sebanyak 65.0% hingga 69.2% dan pengkarbonatan atmosfera (31.1% hingga 103.0%) berbanding mortar kawalan. Mortar bergentian semulajadi turut mencatatkan penurunan di dalam kadar resapan klorida pada kadar 4.3% hingga 8.0% (gentian kelapa) dan 11.3% hingga 22.5% (gentian kelapa sawit) berbanding mortar kawalan. Namun begitu, gentian semulajadi mencatatkan pertambahan kadar resapan air dan kemasukan oksigen berbanding mortar kawalan.

Aplikasi bahan wasap silika turut berjaya mempertingkatkan prestasi mortar. Mortar wasap silika telah mencatatkan kenaikan di dalam kekuatan mampat (11.9% hingga 19.2%) dan kekuatan lentur (8.4% hingga 20.8%) serta penurunan di dalam nilai kehilangan berat (32.5%) serta pengurangan di dalam parameter pengembangan (26.2%) dan pengecutan mortar (32.2%). Mortar wasap silika turut mencatatkan

penurunan di dalam kebolehtelapan oksigen (9.1% hingga 14.5%), resapan air (11.9% hingga 28.9%) dan kadar resapan klorida (77.1% hingga 143.8%) berbanding mortar kawalan.

Gabungan bahan wasap silika dan gentian semulajadi telah membantu mortar bergentian memperbaiki prestasi kebolehtelapannya. Mortar bergentian terubahsuai wasap silika mencatatkan penurunan sebanyak 10.2% hingga 22.6% (resapan air), 1.6% hingga 10.5% (kebolehtelapan oksigen) dan 37.1% hingga 96.4% (resapan klorida). Seterusnya mortar bergentian terubahsuai terus mencatatkan peratus peningkatan kekuatan mampat sebanyak (9.4% hingga 19.7%) dan kekuatan lentur (7.0% hingga 22.3%) serta merendahkan nilai kehilangan berat sebanyak (83.3% hingga 88.2%) berbanding mortar kawalan.

Akhir sekali, penggunaan agregat debu kuari bersaiz namaan tidak lebih dari 5.00 mm berjaya mempertingkatkan nilai kekuatan dan ketahananlasakan mortar di samping mempunyai nilai kebolehtelapan yang rendah. Kesimpulannya, penggunaan gentian semulajadi dan wasap silika berupaya menghasilkan mortar terubahsuai yang berprestasi tinggi. Namun begitu, usaha penyelidikan haruslah diteruskan untuk mengimbangi sebarang kekurangan terhadap penggunaan kedua-dua bahan gentian semulajadi dan wasap silika.

PERFORMANCE STUDIES OF NATURAL FIBRE MODIFIED MORTAR IN AGGRESIVE ENVIRONMENT

ABSTRACT

Natural fibre mortar technology has been established as one of the technologies in the production of material over a decade. Continues efforts has been put in by researchers in related fields to develop and enhance the standard of competitiveness with other form of technologies that are already has been develop and in used in the building sector all over the world especially in Malaysia. Fibre mortar especially natural fibre has infiltrated into many other industrial technologies such as automobile industry, textile and building.

This research has been identified the potentials of natural fibre and silica fume and their combination in upgrading the performance of conventional mortar. The used of coconut and palm fibre mortar matrix has been proven to improve the quality of flexural strength at the rate of 1.1% to 13.6% respectively. At the same time it reduces the potential weight loss at approximately 64.9% to 69.2%. Natural fibre mortar has also been proven to have a decrease in the absorption rate of chloride at 4.2% to 8.0% (coconut fibre) and 11.3% to 22.5% (palm fibre) as compared to controlled mortar. Nevertheless, natural fibre has also shown to have an increase in the absorption rate of water and oxygen.

The application of silica fume has been proven to improve the standard of mortar both strength and durability of the modified mortar. Silica fume mortar shows improvement in compressive strength (11.9% to 19.2%) and flexural strength (8.4% to 20.8%). Silica fume mortar has also shown some reduction in weight loss (32.5%), drying shrinkage (32.2%), expansion (26.2%) and oxygen permeability (9.1% to 14.5%). It appears likely that silica fume mortar would have a significant resistance to chloride ion penetration (77.1% to 143.8%) compared to control mortar.

The combination of silica fume and natural fibre has helped in improving the permeability performance. Silica fume fibre modified mortar recorded a very significant reduction in water absorption (*10.2% to 22.6%*), oxygen permeability (*1.6% to 10.5%*), and chloride penetration (*37.1% to 96.4%*). Silica fume fibre modified mortar also show an improvement in compressive strength (*9.4% to 19.7%*) and flexural strength (*7.0% to 22.3%*). Furthermore, the use of quarry dust as coarse aggregate replacement has shown a potential improvement in strength and durability compared to that of conventional mortar.

Undoubtedly, the used of natural fibre and silica fume was able to produce high performance modified mortar. Nevertheless, research efforts must be continued to investigate further on any discrepancies on using natural fibre and silica fume products.

BAB 1 PENGENALAN

1.1 Teknologi Konkrit Bergentian

Perkembangan konkrit sebagai bahan binaan telah lama dibangunkan beribu tahun dahulu semenjak zaman purba Egypt, Greek dan Roman. Pada usia awal pengenalannya, komposisi konkrit adalah berdasarkan batu kapur meskipun Roman terkenal dengan peloporan simen pozzolana dan konkrit ringan yang berasaskan bahan pumic. Bumbung Kubah Pantheon adalah satu testimoni ketahanan bahan ini. Seterusnya pada zaman Norman, terbina binaan seperti Biara Reading, Gereja Salisbury yang dibina dari konkrit. Sehingga kurun ke 18, Smeaton telah membina Rumah Api Eddystone pada tahun 1756 yang kekal hingga sekarang. Pada 1824, Aspdin berjaya mempatenkan '*simen mirip batu portland*' yang digunakan untuk membina Terowong Thames dan Jambatan Axmouth di Devon pada 1887.

Pengenalan bahan keluli seterusnya pantas dipraktikkan oleh Lambot pada 1855 untuk membangunkan bot ferrosimen. Bahan keluli turut dimanfaatkan oleh Monier pada 1867 dan Hennebique pada 1897 yang menjadi orang pertama membina bingkai bangunan dari konkrit diperkukuh keluli iaitu Kilang Weaver di Swansea, Britain. Testimoni memperakukan bahawa bot Lambot masih di dalam keadaan baik meskipun terdedah pada persekitaran laut. Satu peningkatan ketara pada kurun ke 19 adalah pengenalan bahan konkrit prategasan oleh Freyssinet pada 1940an, ketika perang dunia ke-2 termasuklah pembinaan Pelabuhan Mulberry.

Industri pembinaan telah sedia maklum bahawa konkrit merupakan bahan buatan manusia yang paling lama dan digunakan di dalam pelbagai bentuk dan jenis. Seterusnya konkrit yang telah dikenali hadir bersama penemuan baru yang melibatkan kombinasi beberapa bahan dan diadaptasi untuk membentuk bahan komposit berasaskan simen. Sebab utama kemasyuran konkrit adalah bahan rendam yang membentuk simen dan konkrit mudah diperolehi di serata tempat. Pembuatan konkrit

juga tidak memerlukan sumber kuasa yang banyak, mudah dibuat serta memerlukan penyelenggaraan yang rendah.

Semakin industri pembinaan berkembang, konkrit memerlukan beberapa suntikan idea baru untuk proses penyelidikan dan pembangunan bagi menghadapi cabaran prestasi. Konkrit sebagai satu bahan binaan mempunyai prestasi yang terbatas tatkala mengambilkira beberapa keperluan dan situasi, contohnya terhadap persekitaran berasid dan persekitaran marin. Konkrit konvensional perlu menjalani proses pengubahsuaian untuk kegunaan yang tidak dijangka. Permintaannya dalam negara membangun, memerlukan bukan sekadar bahan berteknologi tinggi atau aplikasi tetapi negara-negara ini turut mengalami kekurangan dari segi simen, kebolehan dan teknologi.

Industri pembinaan tidak terlepas dari kemelut permasalahannya. Masalah kekuatan, ketahananlasakan dan kebolehtelapan terhadap persekitaran yang agresif seperti berasid, beralkali, persekitaran marin dan keadaan pencemaran sering menjejaskan struktur konkrit. Masalah keretakan, pengelupasan dan kakisan sering berlaku disebabkan perubahan iklim setempat, tindakbalas oksigen dan karbon dioksida mengesahkan fenomena ini.

Ketahananlasakan ditakrifkan sebagai kemampuan sesuatu struktur merintangti tindakan kimia, proses lelasan dan proses-proses lain yang boleh mendatangkan kecacatan (ACI Committee). Ciri kekuatan dan ketahananlasakan berkait rapat dengan keliangan dalam konkrit. Terdapat perbezaan yang jelas di antara kekuatan dan ketahananlasakan iaitu kekuatan bergantung kepada ketumpatan pukal konkrit sedangkan ketahananlasakan dikawal oleh kebergantungan kepada keamatan permukaan luar merintangti penusukan agen agresif (Killoh, 1989). Faktor yang mempengaruhi ketahananlasakan dikelaskan kepada 3 topik iaitu sebab luaran, dalam dan struktur (Dhir, 1989). Ketiga-tiga kelas tersebut diperincikan sebagai kegagalan

bahan dalaman (tindakan alkali, silika), hakisan ke atas konkrit dan tetulang akibat penusukan ion dari persekitaran, hakisan dan hentaman (gegaran dan peronggaan) serta keretakan mekanikal disebabkan keterikan lebihan (keamatan haba lenturan, pengembangan dan pengecutan) (Killoh, 1989).

Maka sekiranya wujud proses penyelidikan, berbagai-bagai sumber asli atau sumber terbuang dapat diadaptasikan untuk mewujudkan bahan konkrit terubahsuai. Kemajuan proses penambahbaikan konkrit, maka wujudkan beberapa jenis konkrit seperti konkrit berpolimer, konkrit sulfur, konkrit jet, konkrit berasaskan bahan terbuang dan bahan sampingan industri, konkrit bergentian sintetik dan gentian asli, konkrit ringan, konkrit berprestasi tinggi dan sebagainya.

Kemunculan beberapa jenis konkrit tercetus dari kesan pembangunan industri binaan untuk memenuhi permintaan untuk tujuan khusus. Pada amnya, matrik berasaskan simen diubahsuai dalam beberapa aspek untuk memperbaiki sifat-sifat tertentu. Bahan polimer secara kimianya berupaya menghasilkan bahan komposit yang tinggi nilai tegasannya serta mempunyai kekuatan mampat yang memuaskan berbanding konkrit konvensional. Jika dibandingkan dengan konkrit biasa, simen konkrit berpolimer mempunyai peningkatan di dalam ciri-ciri ketahanan dan mempunyai ciri ketelapan dan perekatan yang tinggi.

Pengenalan bahan sulfur membentuk konkrit sulfur berjaya mempertingkatkan kekuatan muktamad sebanyak 90% dalam masa 6 hingga 8 jam pada suhu biasa. Nilai kekuatan yang tinggi pada masa yang singkat amat sesuai untuk konkrit prategasan. Rintangan konkrit sulfur terhadap penusukan sulfat dan asid adalah tinggi. Namun begitu medium alkali telah meresapkan sulfur dari struktur. Seterusnya konkrit bergentian mengambil peranan sebagai penulangan di dalam konkrit. Gentian yang terdiri dari gentian asli dan sintetik mula diperkenalkan oleh Ludwig Hatschek pada tahun 1899 yang mempelopori komposit simen asbestos. Kemasukan gentian di dalam

konkrit dan perekat simen mampu mempertingkatkan ciri kejuruteraan seperti kekuatan lentur, kelesuan, hentakan dan kejutan termal.

1.2 Konkrit Diperkukuh Gentian.

Konsep pengukuhan bahan binaan yang rapuh menggunakan pelbagai bentuk gentian telah dipraktikkan sekian lama. Tanah liat yang ditulangi oleh jerami untuk 'rumah lumpur' dan proses pembatuan mortar menggunakan bulu atau rambut haiwan merupakan contoh awal pengenalan konkrit diperkukuh gentian di dalam industri pembinaan purba, Teknik moden dan canggih yang terawal berkaitan konkrit diperkukuh gentian hadir dengan pengenalan bahan simen-asbestos yang dihasilkan oleh Hatschek, Magnani sekitar 1900. Seterusnya lahir bahan komposit simen bergentian seperti kaca, karbon dan aramid.

Seterusnya wujud satu cabang berkaitan konkrit diperkukuh gentian yang sedikit berbeza dari komposit simen. Konkrit yang diperkukuh gentian lahir dengan konsep kemasukan gentian-gentian tidak selanjur (tunggal) yang diadun bersama-sama agregat dan bahan tambah. Kandungan gentiannya adalah kurang jika dibandingkan dengan bahan komposit iaitu sekitar 0.1 hingga 1.5% berdasarkan isipadu tetapi saiznya bertambah sekitar 15 hingga 65 mm. Idea pertama telah dipatenkan di Perancis pada 1918 berdasarkan adunan cebisan gentian pendek selanjur seperti keluli, kayu dan sebagainya ke dalam konkrit (Naaman, 1985). Paten tersebut turut mengesyorkan bahan elemen gentian seharusnya kukuh atau diperkukuhkan dan mempunyai hujung yang bengkok untuk rintangan terhadap unsur penarikan (*pullout*) gentian dari konkrit. Paten selanjutnya oleh U.S. Patent Office (1969, 1970, 1972) yang menggunakan bahan gentian keluli selanjur yang rata telah dikomersilkan.

Penggunaan gentian dalam kedua-dua kategori komposit adalah untuk mempertingkatkan ciri matrik mortar yang lemah, rapuh dan mudah retak. Bergantung

kepada jenis dan kandungan gentian, darjah peningkatan simen matrik dapat diperhatikan di dalam ciri-ciri kekuatan lentur, kemuluran, kerapuhan, penebat tenaga, ketahanan kelesuan, ketelapan dan ketahanan yang tinggi. Merujuk kepada beberapa literatur, peratusan gentian menjadi faktor utama menyumbang kepada peningkatan prestasi matrik simen. Justeru itu elemen pecahan isipadu gentian per unit isipadu komposit telah menjadi asas kepada perbandingan terhadap kesan penggunaan pelbagai jenis gentian.

1.3 Terminologi

Menyedari skop matrik simen yang diperkukuhkan oleh gentian terlalu luas berdasarkan beberapa kategori yang tersendiri, lahir beberapa terminologi atau istilah yang tidak konsisten untuk mendefinisikan bahan mortar simen bergentian. Ini disebabkan matrik yang bergentian hadir di dalam bentuk mortar, konkrit atau perekat simen.

Pada pencapaian pertama pada 1973, American Concrete Institute mendefinisi konkrit diperkukuh gentian sebagai "*konkrit yang terdiri dari simen hidraul mengandungi atau tidak agregat halus dan agregat kasar serta gentian tidak selanjar*". Versi terbaru laporan (ACI Committee 544, 1996), membuat definisi mudah iaitu "*konkrit yang terdiri dari simen hidraul, agregat dan gentian tidak selanjar*". Kedua-dua versi istilah tersebut seakan-akan hanya melibatkan kehadiran agregat tetapi tidak terperinci kepada kategori simen diperkukuh gentian.

Sehubungan dengan itu, pada 1977 International Union Of Testing And Research Laboratories (RILEM Committee 19-FRC, 1977) yang berpangkalan di Eropah telah membuat definisi, konkrit bergentian sebagai "*diperbuat dari simen hidraul dengan atau tanpa agregat pelbagai saiz dan digabung dengan peneguhan gentian selanjar*". Definisi ini melibatkan kategori simen bergentian kedua-duanya mortar atau konkrit dengan gentian. Namun begitu, definisi ACI dan RILEM masih tidak

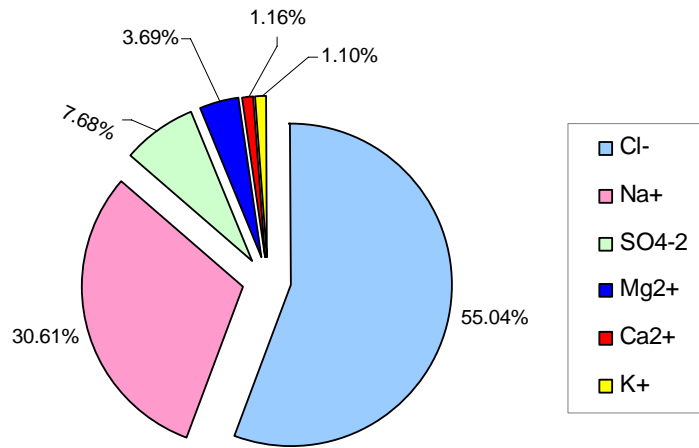
mencukupi untuk membezakan di antara perekat simen, perekat simen dengan agregat halus (mortar) dan perekat simen dengan agregat halus dan kasar (konkrit).

1.4 Persekitaran Marin

Persekitaran marin boleh diertikan sebagai persekitaran yang melibatkan struktur marin dan medium air laut. Air laut adalah campuran pelbagai jenis garam terlarut dan air. Air adalah pelarut yang baik kerana ianya bersifat polar. Oksigen dan hidrogen berkongsi elektron untuk membentuk molekul air melalui ikatan kovalen. Ini memberikan atom oksigen separa cas negatif dan atom hidrogen separa cas positif. Separasi cas di dalam molekul air ini membenarkan atom-atom ditarik dan melarutkan sebatian ionik seperti garam dengan mudahnya.

Terdapat 6 elemen utama dan sebatian itu membentuk hampir 99% dari garam terlarut. Ianya termasuklah klorida (Cl^-), Natrium (Na^+), Sulfur (SO_4^{2-}), Magnesium (Mg^{2+}), Kalsium (Ca^{2+}) dan Kalium (K^+). Di samping itu, terdapat juga unsur-unsur surih di dalam air laut seperti Bikarbonat (HCO_3^-), Bromida (Br^-), Asid Borik (H_3BO_3), Strontium (Sr^{2+}) dan Fluorida (F^-). Merujuk kepada Rajah 1.0, ion klorida membentuk hampir 55% unsur garam di dalam air laut. Pengiraan kemasinan air laut adalah berdasarkan bahagian per 1000 kehadiran ion klorida di dalam satu (1) kilogram air laut. Kemasinan air biasa adalah kosong sementara kemasinan air laut adalah pada julat 3.3% hingga 3.7% berdasarkan berat.

Ini membawa erti bahawa di dalam setiap 100 gram air laut, hanya 3.5% terdiri dari ion terlarut dan selebihnya 96.5% adalah air. Maka kemasinan air laut adalah secara tipikalnya adalah 35 bahagian per 1000. Jadual 1.0 merupakan ringkasan ion-ion terlarut di dalam air laut.



Rajah 1.0: Perkadaran Relatif Garam Terlarut Di Dalam Air Laut.
 Sumber: *PhysicalGeography.net*

Jadual 1.0: Komposisi Ion Terlarut Di Dalam Air Laut

Ion Terlarut	Formula Kimia	Berat Ion Terlarut (%)	Berat Air Laut (%)
Klorida	(Cl ⁻)	55.04	1.898
Natrium	(Na ⁺)	30.61	1.0556
Sulfat	(SO ₄ ⁻²)	7.68	0.2649
Magnesium	(Mg ²⁺)	3.69	0.1272
Kalsium	(Ca ²⁺)	1.16	0.04
Kalium	(K ⁺)	1.1	0.038
Bikarbonat	(HCO ₃ ⁻)	0.41	0.014
Bromida	(Br ⁻)	0.19	0.0065
Asid borik	(H ₃ BO ₃)	0.07	0.0026
Strontium	(Sr ²⁺)	0.04	0.0013
Fluorida	(F ⁻)	0.002	0.001
Jumlah		99.992	3.4482

Sumber: *PhysicalGeography.net*

1.5 Struktur Marin

Terdapat empat (4) zon persekitaran yang kebiasaannya didefinisikan ke atas kedua-dua struktur pantai dan struktur pesisir pantai iaitu Zon Bawah Air, Zon Pasang Surut, Zon Rembesan dan Zon Atmosfera. Keempat-empat zon tersebut mempunyai perbezaan dari segi bentuk kerosakan, kemerosotan dan jenis-jenis permasalahan. Zon pasang surut dan zon rembesan paling hampir dengan alam semulajadi serta mempunyai persamaan di antara kedua-duanya. Untuk struktur pantai contohnya

dermaga atau jeti, faktor yang dominan adalah turutan pasang surut air laut. Manakala untuk struktur pesisir pantai, faktor ombak memainkan peranan yang penting. Zon atmosfera cuma melibatkan sedikit masalah dan cuba berhadapan dengan kemerosotan berkaitan peresapan ion klorida. Maka untuk rekabentuk struktur marin ianya melibatkan pemahaman fenomena di dua (2) kawasan iaitu zon bawah air dan zon pada paras air ke atas.

Garam dalam keadaan pepejal tidak boleh menyerang konkrit tetapi jika dalam keadaan larutan garam, ia akan bertindak balas dengan adunan simen terkeras. Penghabluran garam di dalam liang konkrit boleh mengakibatkan pemecahan disebabkan tekanan yang dihasilkan oleh hablur garam. Bagi kes konkrit bertetulang, penyerapan garam membentuk bahagian beranod dan berkatod. Tindakan elektrolit yang terhasil menyebabkan penumpuan karatan pada keluli dan seterusnya pemecahan konkrit disekelilingnya. Ini menyebabkan kesan air laut menjadi lebih teruk terhadap konkrit bertetulang daripada konkrit biasa (Lea, 1970).

Adalah disyorkan supaya menggunakan kandungan simen sebanyak 350 kg/m^3 di atas paras air surut (Tyler, Mac 1960) dan 300 kg/m^3 simen di bawah paras air surut (Lea, 1970) atau nisbah air simen yang tidak melebihi 0.4 hingga 0.45 (ACI Committee 211, 1974). Nisbah air simen dipercayai menjadi faktor utama iaitu bagi nisbah air simen yang rendah (Keene, 1960), kandungan simen yang tinggi akan menyebabkan pepadatan berlaku sepenuhnya. Penambahan abu terbang atau bahan pozzolana ke dalam konkrit juga memberi kesan yang baik (Yoshii, 1958).

1.5.1 Zon Bawah Air.

Menurut Leeming, (1989), kemerosotan atau pengaratan pada struktur marin di zon bawah air tidak berlaku dalam keadaan yang normal melainkan jika terdapatnya pendedahan tetulang terhadap air laut akibat keretakan sekitar 0.6 mm atau kerosakan

akibat hentaman objek. Namun begitu pengajaran boleh dikawal pada peringkat awal pembinaan struktur oleh proses perlindungan katod. Zon ini sentiasa ditenggelami air laut yang mana kehadiran gas O_2 adalah terhad dan ini merupakan salah satu faktor yang menghadkan proses kemerosotan seperti pengkarbonatan atau pengajaran. Proses pengembangan konkrit akibat tindakan sulfat di dalam air laut tidak berlaku di zon bawah air kerana kehadiran klorida yang banyak di dalam air laut, yang menghalang pengembangan: gipsum dan kalsium sulfoaluminat lebih larut dalam larutan klorida daripada dalam air dan dengan demikian, ia dikupas keluar oleh air laut (Verbeck, 1956).

1.5.2 Zon Atas Air.

Ketahanan amat dipengaruhi oleh kedudukan sesuatu struktur konkrit yang berkaitan dengan paras air. Kemerosotan pada struktur adalah tinggi pada paras air laut dan ke atas. Struktur yang berada di dalam zon atas air, yang dikenali sebagai zon rembesan (pesisir pantai) atau zon pasang surut (pantai) mudah terdedah kepada kemerosotan konkrit atas sebab pengajaran kepada tetulang. Struktur konkrit yang terletak antara zon pasang surut, terdedah pada pembasahan dan pengeringan secara bersilih ganti, struktur ini akan mengalami serangan yang teruk. Oleh kerana tindakan penghabluran garam berlaku pada titik penyejatan air, serangan ini terjadi di atas struktur yang berada di atas air (Lea, 1970).

1.6 Isu Dan Permasalahan Penyelidikan

Industri pembinaan Malaysia telah mengalami banyak perubahan sejak sedekad lalu dan melibatkan pembangunan kawasan yang diklasifikasikan sebagai persekitaran air laut (*seawater*). Ini termasuklah proses penambakan dan penebusgunaan pantai, pembinaan struktur dermaga dan jeti serta kemudahan-kemudahan penginapan dan rekreasi. Kepsatan proses pembangunan ini adalah

untuk memacu sektor-sektor pelancongan, perhotelan dan perkapalan untuk menyokong ekonomi negara.

Namun begitu, usaha pembangunan pesat persekitaran marin ini sering dibayangi oleh beberapa punca atau faktor kemerosotan struktur binaan khususnya struktur konkrit oleh agen-agen perosot. Ini termasuklah kesan resapan atau rembesan klorida dan sulfat, keretakan dan pengaratan tetulang serta proses pembasahan dan pengeringan struktur oleh tindakan pasang surut air laut. Kesan dari kemerosotan ini telah menjejaskan tempoh perkhidmatan struktur konkrit yang menjurus kepada penurunan nilai kekuatan dan prestasi ketahanannya.

Justeru itu, penyelidikan ini dijalankan sebagai satu usaha untuk menangani permasalahan tersebut di samping menghasilkan satu bahan binaan yang berprestasi tinggi terhadap agen-agen perosot konkrit khususnya di dalam persekitaran marin atau air laut. Penyelidikan ini akan melibatkan penggunaan gentian tumbuhan sebagai elemen untuk mencegah dan pengawalan proses keretakan struktur serta penggunaan bahan pozzolona untuk memperbaiki kualiti kebolehtelapan terhadap resapan gas dan cecair. Seterusnya, satu medium air garam dengan kepekatan 5% Natrium Klorida (NaCl) dijana sebagai simulasi kepada persekitaran air laut.

1.7 Matlamat Penyelidikan.

Penyelidikan ini dijalankan dengan matlamat utama untuk menghasilkan satu bahan binaan alternatif kepada bahan yang sedia ada. Bahan baru ini adalah hasil kombinasi bahan di dalam mortar konvensional dengan bahan tambah hasil pengeluaran industri (wasap silika) serta bahan gentian semulajadi (gentian kelapa dan gentian kelapa sawit) yang amat mudah diperolehi di negara kita serta penggunaan bahan buangan industri kuari iaitu debu kuari sebagai alternatif kepada agregat kasar. Kehadiran bahan gentian ini sering diabaikan tetapi setelah mengetahui kelebihan peranan gentian asli ini di dalam perekat simen, penyelidikan ini akan memikul

tanggungjawab untuk mengkaji prestasi mortar bergentian dan sumbangannya pada industri pembinaan.

Prestasi mortar bergentian ini akan dikaji berdasarkan beberapa parameter kekuatan dan ketahananlasakan yang melibatkan persekitaran yang agresif iaitu persekitaran marin. Kajian turut melibatkan peranan agregat debu kuari dan penggunaan agen super-pemplastik pengurang air di dalam meningkatkan prestasi mortar bergentian.

1.8 Objektif Penyelidikan

Merujuk kepada matlamat utama penyelidikan, seterusnya penulis menggariskan beberapa objektif untuk mencapai matlamat tersebut. Objektif-objektif tersebut dihuraikan seperti berikut:

1. Melaksanakan satu rekabentuk konkrit berdasarkan Kaedah Jabatan Alam Sekitar yang sempurna dengan memperolehi komposisi bahan yang tepat untuk menghasilkan konkrit yang lebih ekonomik serta mampu mencapai kekuatan dan darjah ketahanan yang tinggi. Beberapa pengubahsuaian turut dilaksanakan dengan mengambilkira saiz maksima agregat kasar tidak melebihi 5.00 mm dan menghasilkan satu rekabentuk untuk mortar.
2. Menghasilkan mortar simen bergentian asli berdasarkan penggunaan gentian kelapa (sabut kelapa) dan gentian kelapa sawit (tandan) bersaiz sekitar 25.0 mm sebanyak 5% dari isipadu jisim simen. Kajian literatur telah membuktikan kehadiran gentian berupaya mengawal atau mencegah keretakan struktur. Gentian juga membantu memperbaiki sifat rapuh mortar konvensional.
3. Menghasilkan mortar berpozzolana menerusi penggunaan bahan pozzolan, wasap silika. Secara kimianya dengan saiz partikal yang multi halus, ianya berupaya memperbaiki ciri-ciri dan kelakuan mortar dari segi ketelapan terhadap

bendalir dan gas. Peranan ini penting untuk rekabentuk struktur dalam persekitaran berair (asid atau alkali).

4. Mengkaji kesan penggunaan debu kuari sebagai bahan penggantian agregat kasar bersaiz namaan kurang dari 10.0 mm terhadap nilai penurunan, kestabilan serta perubahan dimensi mortar dan ciri-ciri kekuatan dan ketahanan mortar.
5. Mengkaji kesan dan pengaruh medium garam sebagai medium pengawetan. Dua (2) set medium garam disediakan iaitu pengawetan secara terus menerus dan pengawetan secara kitaran (medium udara dan medium garam) dengan kepekatan 5% dari jisim simen. Lanya bagi mewujudkan suasana persekitaran marin yang mempunyai zon bawah air, zon pasang-surut dan zon atmosfera. Pengaruh teknik pengawetan termasuklah pengawetan udara akan dinilai melalui ujian kekuatan dan ketahananlasakan.

1.9 Skop Penyelidikan

Penyelidikan yang dijalankan ini adalah bertujuan untuk melaksanakan penghasilan bahan binaan berasaskan gentian semulajadi dan terubahsuai. Gentian semulajadi yang digunakan adalah gentian kelapa dari sumber sabut dan gentian kelapa sawit dari sumber tandan. Penggunaan bahan pozzolan iaitu wasap silika turut diaplikasikan di dalam penyelidikan ini. Kaedah rekabentuk campuran adalah berasaskan kepada Kaedah Alam Sekitar. Nisbah air simen yang digunakan adalah rendah dan sehubungan dengan itu, agen pengurang air berjulat tinggi (super pemplastik) turut ditambah ke dalam bancuhan untuk mendapatkan adunan yang mempunyai nilai keboleherjaan yang dikehendaki. Bahan pengikat simen yang digunakan adalah simen portland biasa (*Jenis I*).

Penyelidikan turut memfokuskan kepada ketahanan dan kekuatan mortar dalam keadaan segar dan keras berdasarkan kepada tiga (3) jenis medium

pengawetan iaitu medium udara, medium garam dan medium kitaran. Penyelidikan akan turut mengenalpasti prestasi mortar bergentian dan terubahsuai berbanding mortar kawalan berdasarkan kepada beberapa parameter kejuruteraan dan mekanik. Proses pengujian mortar penyelidikan akan melibatkan beberapa parameter seperti ketumpatan, keboleherjaan, kekuatan mampat dan lenturan, kualiti mortar, perubahan dimensi mortar, kebolehtelapan dan kadar resapan klorida mortar.

Struktur panel sandwic ringan turut dimajukan untuk mendapatkan data-data beban-pesongan, beban muktamad, beban permulaan rekahan (*first crack*) serta lebar dan bilangan rekahan. Proses pengujian akan bermula dari tempoh pengawetan 7 hari hingga 365 hari. Seterusnya penyelidikan akan turut mengenalpasti perkaitan dan perhubungan yang wujud di antara beberapa parameter pengujian seperti hubungan kekuatan lentur dan kekuatan mampat.

1.10 Susunan Tesis Penyelidikan

Tesis ini secara keseluruhannya mengandungi sebanyak 7 bab yang akan membincangkan beberapa aspek berkaitan sejarah teknologi konkrit dari konvensional sehingga konkrit terubahsuai, ciri-ciri bahan yang membentuk komposisi mortar atau konkrit, penyediaan dan pengujian mortar penyelidikan, analisis data serta perbincangan hasil penyelidikan. Penulisan tesis ini dibahagikan kepada beberapa bab memudahkan pembacaan dan pemahaman dan ianya diringkaskan seperti berikut:

Bab 1 akan membincangkan secara ringkas sejarah berkaitan teknologi konkrit khususnya teknologi mortar bergentian semulajadi yang merupakan teknologi terawal industri pembinaan. Selaras dengan perkembangan teknologi konkrit, bab ini akan turut mengupas usaha-usaha penambahbaikan dan suntikan idea baru untuk menghadapi cabaran prestasi bahan mortar dan konkrit yang berasaskan simen, air dan agregat. Matlamat, objektif serta skop penyelidikan turut dibincangkan di dalam

bab ini sebagai suatu gambaran keseluruhan tujuan penyelidikan mortar bergentian semulajadi dan terubahsuai.

Seterusnya, *Bab 2* akan memfokuskan kepada perbincangan kajian literatur berkaitan teknologi konkrit atau mortar bergentian yang meliputi beberapa jenis gentian sintetik, mineral dan semulajadi. Turut dibincangkan adalah prestasi bahan pozzolan wasap silika serta agen pengurang air julat tinggi (super-pemplastik) dan debu kuari. Penekanan turut diberikan kepada prestasi mortar atau konkrit bergentian berdasarkan ciri-ciri kejuruteraan dan mekanik seperti kekuatan dan ketahananlasakan mortar terhadap pembebanan dan dan agen-agen persekitaran.

Bab 3 pula akan membincangkan sifat bahan-bahan yang membentuk bancuhan mortar seperti simen, agregat halus dan kasar, bahan super-pemplastik serta bahan pozzolan wasap silika. Pengujian terhadap bahan turut dijalankan untuk mengenalpasti ciri-ciri kimia dan fizikal bahan seperti ketumpatan relatif agregat. Program eksperiman turut diterangkan secara terperinci meliputi jenis-jenis parameter, jenis, kaedah dan tempoh pengawetan, aspek penyediaan spesimen kajian serta pengiraan data-data pengujian. Perbincangan turut merangkumi aktiviti Bancuhan Percubaan (*Trial Mix*) yang melibatkan mortar biasa dan mortar berbusa. Perencanaan program eksperiman yang sistematik akan menghasilkan penyelidikan yang teratur dan mudah difahami.

Bab 4 akan memberikan maklumat berkaitan ciri-ciri kekuatan mortar kajian seperti kualiti mortar seperti halaju denyut, ketumpatan, kekuatan mampat dan kekuatan lentur serta kekenyalan modulus dinamik. Mortar akan turut diuji prestasi mereka di dalam medium udara, medium garam dan medium kitaran. Perbincangan turut menjurus kepada pengaruh ketiga-ketiga medium tersebut terhadap sebarang perbezaan nilai prestasi. Mortar akan mengalami proses pengawetan sehingga ke

tempoh selama 365 hari dan pengujian dijalankan berdasarkan beberapa takrifan piawaian iaitu Piawaian British, BS dan Piawaian Malaysia, MS.

Manakala *Bab 5* pula akan menerangkan tentang hasil pengujian terhadap mortar kajian berdasarkan ciri-ciri ketahanan mortar iaitu kestabilan dan perubahan dimensi mortar (pengembangan dan pengecutan), kehilangan berat, pengkabonatan atmosfera, prestasi kebolehtelapan cecair dan gas serta kadar resapan klorida. Tiga (3) parameter kebolehtelapan yang terlibat adalah seperti Resapan Air, Ketelapan Oksigen dan Kadar Resapan Klorida. Pengujian akan melibatkan pengerudian teras mortar dan ianya turut berdasarkan kepada beberapa takrifan Piawaian British, BS dan Piawaian Malaysia, MS.

Seterusnya *Bab 6* akan menerangkan hasil pengujian terhadap struktur panel ferosimen sandwic ringan yang melibatkan pembebanan 4 titik secara statik. Merujuk kepada data-data pengujian dari bab 3 seperti kekuatan mampat dan lenturan, prestasi gentian semulajadi dan bahan wasap silika turut dikaji di dalam konteks struktur. Parameter yang ingin dikenalpasti termasuklah beban rekahan pertama, beban muktamad, jarak rekahan, bilangan rekahan, nilai pesongan serta mod kegagalan panel samada panel mengalami kegagalan muktamad iaitu patah ataupun sebaliknya.

Akhir sekali, *Bab 7* akan memperihalkan secara keseluruhan kesimpulan dari hasil pengujian yang telah dijalankan terhadap mortar dan struktur panel. Beberapa analisis turut diterangkan mengaitkan prestasi mortar terhadap kaedah dan tempoh pengawetan serta potensi bahan-bahan gentian dan pozzolan di dalam mortar konvensional. Beberapa cadangan dan usul turut dikemukakan untuk memastikan teknologi konkrit akan terus dimajukan dan berkembang selaras dengan perkembangan industri pembinaan di Malaysia.

BAB 2 KAJIAN LITERATUR

2.1 Pendahuluan

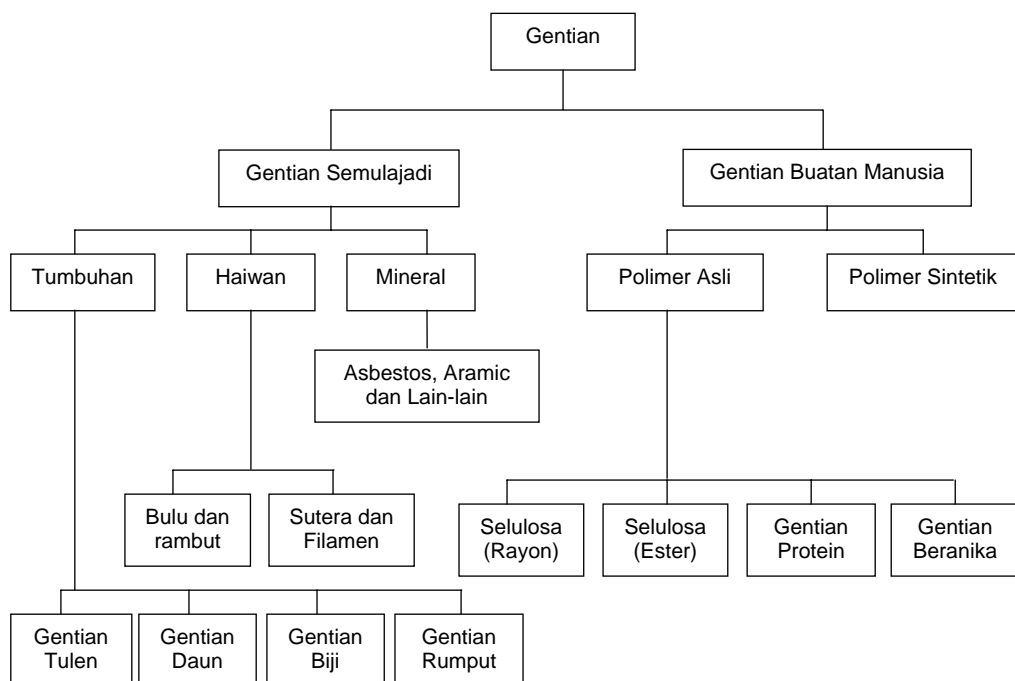
Teknologi konkrit seperti mana cabang disiplin teknologi memerlukan peningkatan di dalam darjah pengkhususan dan penggabungan bahan gentian di dalam matrik simen membentuk bahan komposit. Ia memerlukan pengetahuan kepada konsep berkaitan interaksi di antara gentian dan perekat simen, mortar atau matrik konkrit yang mempengaruhi pengeluaran dan sifat produk. Para saintis serta jurutera telah giat meneroka untuk mencari bahan-bahan yang akan digunakan sebagai penggantian kepada bahan konvensional atau yang berupaya memberikan satu ciri-ciri terbaik untuk rekabentuk baru dan mempertingkatkan inovasi bahan.

Perkembangan teknologi gentian selaras dengan perkembangan ilmu pengetahuan bahan. Ekoran dari permintaan yang tinggi dan inovasi di dalam mengaplikasikan gentian, teknologi gentian telah menghasilkan pelbagai jenis gentian yang berpotensi untuk dikomersilkan. Penyertaan gentian peneguh di dalam konkrit, mortar dan perekat simen berupaya meningkatkan banyak sifat-sifat kejuruteraan berdasarkan bahan seperti ketahanan terhadap kepatahan, kekuatan lentur dan rintangan terhadap kelesuan, hentaman, kejutan terma atau penyerpihan (Keer, 1984).

Penyatuan bahan simen dalam bentuk mortar atau konkrit telah menjadi tarikan sebagai bahan binaan disebabkan ianya murah, mempunyai ketahanan serta mempunyai kekuatan mampatan dan kekakuan yang mencukupi untuk kegunaan penstrukturan. Namun begitu, kekurangannya terletak pada sifat rapuh, kekuatan tegangan dan hentaman yang lemah serta mudah menerima pergerakan lembapan. Justeru itu, peneguhan oleh gentian yang telah dipertingkatkan berupaya menawarkan alternatif yang sesuai, praktikal dan ekonomik untuk mengatasi kekurangan ciri-ciri konkrit atau mortar konvensional.

2.2 Pengelasan Gentian

Gentian merupakan elemen yang bersifat filamen yang bersambungan di dalam bentuk helaian nyata yang panjang atau berbentuk hamparan. Gentian secara amnya boleh dikategorikan kepada tiga (3) jenis iaitu gentian sintetik, gentian semulajadi dan gentian mineral (Rajah 2.0). Gentian sintetik adalah gentian buatan manusia. Ianya berasaskan bahan kimia seperti petrokimia dan kebanyakan gentian sintetik berasal dari *nylon*, *polyester*, *acrylic* polimer dan gentian *polyacrylonitrile* yang digunakan untuk membuat gentian kaca. Terdapat juga gentian yang membuat ikatan rantaian polimer yang kuat seperti *aramid* dan ikatan rantaian yang panjang seperti *dyneema*.



Rajah 2.0: Pengelasan Gentian-Gentian
Sumber: Fordos, Z., 1979

Manakala *gentian semulajadi* diperolehi dari sumber alam semulajadi iaitu dari tumbuhan dan haiwan. *Gentian tumbuhan* adalah berasaskan susunan selulosa dan lignin seperti kapas, jut, sabut kelapa, tandan kelapa sawit, flax dan sebagainya. Ianya boleh diperolehi dari biji benih (kapas, kekabu), daun (nenas, pisang), kulit tumbuhan (jut, kenaf, rotan, hemp), buah (kelapa, kelapa sawit) dan jerami (padi, gandum, barli,

rumpun). Seterusnya *gentian haiwan* diperolehi dari partikel protein seperti sutera dan bulu.

Seterusnya *gentian mineral* diperolehi dari kerak bumi dan ianya terjadi secara semulajadi. Ianya berasaskan kepada gentian asbestos (*chrysotile, amosite, crocidolite, tremolite, actinolite, anthophyllite*), gentian seramik (*wool kaca, kuartza, aluminium oksida, silikon karbida*) dan gentian logam (keluli, aluminium)

2.3 Gentian Semulajadi

Potensi penggunaan gentian semulajadi di dalam aplikasi konkrit diperkukuh gentian asli telah lama menarik perhatian penyelidik. Pelbagai penyelidikan telah dijalankan di banyak negara terhadap pelbagai ciri-ciri mekanikal, prestasi fizikal dan ketahanan bahan yang diperkukuh oleh gentian semulajadi. Gentian semulajadi ini dikategorikan sebagai bahan buangan organik dari tumbuh-tumbuhan seperti sabut kelapa, sisal, hampas tebu, jut, abuk kayu dan sebagainya.

Konkrit diperkukuh gentian semulajadi pada dasarnya adalah konkrit yang istimewa di mana ia mengandungi gentian yang mempunyai diameter yang kecil, secara berasingan serta diagih secara rawak di dalam matrik simen. Pengagihan yang seragam di dalam matrik simen ini menyumbang kepada peningkatan nilai tegasan dan ketahanan kepada keretakan, hentaman dan turut memperbaiki nilai kemuluran untuk aspek penyerapan tenaga yang baik.

Meskipun telah banyak jenis gentian digunakan sebagai bahan pengukuh konkrit, penggunaan gentian semulajadi sebenarnya telah lama wujud dan terdapat banyak bukti-bukti penggunaan gentian ini dalam sejarah peradaban manusia. Alam semulajadi telah memberikan manusia bahan yang diperkukuhkan gentian di dalam bentuk kayu, buluh dan tumbuh-tumbuhan. Penggunaan jerami di dalam bata lumpur

dan rambut kuda di dalam mortar telah membuktikan potensi gentian semulajadi. Hanya pada akhir 1960an dan awal 1970an, bermulalah penyelidikan untuk mengkaji potensi penggunaan gentian semulajadi dari berbagai jenis sebagai bahan peneguh di dalam kepingan konkrit dan bahan komposit berasaskan simen.

Simen diperkukuh gentian semulajadi atau produk konkrit yang menggunakan gentian seperti sabut kelapa, sisal, hampas tebu, buluh dan sebagainya telah dihasilkan dan diuji di lebih 40 negara (Gram, 1983). Atas faktor ekonomi negara membangun di mana gentian semulajadi dengan begitu banyak boleh diperolehi, ianya menuntut para penggiat industri pembinaan untuk mempertingkatkan kebergunaan sumber ini secara efektif dan ekonomik untuk memperkenalkan bahan komposit yang baik untuk kegunaan perumahan dan lain-lain.

Keperluan asas penggunaan gentian semulajadi sebagai bahan peneguh di dalam matrik konkrit adalah kekuatan tegangan dan modulus elastik yang tinggi, ikatan di antara matrik dan gentian, mempunyai kandungan kimia yang baik, geometri yang stabil serta ketahanan yang baik.

2.4 Gentian Tumbuhan

Hampir kesemua tumbuh-tumbuhan terbina oleh sel-sel. Ketika sel-sel ini mencapai kepanjangan yang relatif kepada lebar sel, ianya dikenali sebagai gentian. Sebagai contohnya, gentian kayu secara relatifnya adalah 50 - 100 lebih panjang dari diameternya. Binaan asas gentian menyerupai struktur tiub mikroskopik yang mengelilingi liang tengah yang dikenali sebagai lumen. Manakala jika dinding sel-sel terbina dari 85% atau lebih selulosa, hemiselulosa dan lignin, ianya didefinisikan sebagai gentian lignoselulosa. Contoh gentian lignoselulosa termasuklah sel jerami, tandan, daun, buah dan batang tumbuhan, sementara gentian bukan lignoselulosa adalah seperti kapas.

2.5 Sifat Matrik

Di dalam konkrit bergentian semulajadi, matrik simen bertindak mengikat gentian bersama-sama, melindungi gentian dari mengambil bahagian di dalam proses penghantaran tegasan dari dan kepada gentian. Secara amnya matrik konkrit yang melibatkan gentian semulajadi terdiri dari adunan simen yang tinggi serta agregat manakala kestabilan dimensi matrik dapat diperbaiki dengan mencampurkan pelbagai jenis pengisi dan bahan pozzolan seperti abu terbang dan wasap silika yang bertindak memperbaiki ciri-ciri aliran mortar dan ciri-ciri kejuruteraan yang lain (Jarman, 1977).

2.6 Konsep Interaksi Gentian Dan Matrik.

Bahan komposit merangkumi skop yang luas ketika bahan keluli, kaca, polimer atau gentian asli bergabung dengan matrik yang terdiri dari perekat simen, mortar atau konkrit. Konsep mudah interaksi adalah gentian mempengaruhi sifat komposit di dalam kedua-dua keadaan segar dan keras. Peningkatan kandungan gentian secara semulajadi memperbaiki darjah peningkatan beberapa ciri mortar keras tetapi merendahkan darjah kebolehaliran mortar segar.

Peranan 'nisbah bidang gentian' (*fibre aspect ratio*) iaitu nisbah panjang, L kepada diameter, d telah menjadikan konsep interaksi di antar gentian dan matrik semakin konflik. Sebagai contoh, *nisbah bidang gentian* yang tinggi menawarkan peneguhan yang efektif dan mempertingkatkan potensi konkrit keras berbanding dengan kandungan gentian yang serupa tetapi nisbah bidang gentian yang rendah. Walaubagaimanapun, nisbah bidang gentian yang tinggi memberi kesan buruk kepada kebolehaliran mortar. Ironinya adalah kandungan gentian yang kurang dengan nisbah bidang yang rendah, akan meningkatkan sifat konkrit segar tetapi mempunyai kelebihan kekuatan yang kecil.

Manakala untuk kandungan gentian yang banyak dengan nisbah bidang yang tinggi menimbulkan kerumitan di dalam penghasilan tetapi memberikan nilai kekuatan yang begitu memuaskan (Johnston, 2001). Justeru itu, untuk rekabentuk mortar bergentian, beberapa aspek seperti kandungan gentian, panjang, diameter serta nisbah bidang gentian (*fibre aspect ratio*) haruslah dititikberatkan oleh pereka.

2.7 Teknologi Pembuatan.

Pengagihan gentian semulajadi yang seragam di dalam matrik simen menyumbang kepada pembaikan tegasan dan keretakan mikro. Prinsip pembuatan konkrit peneguh gentian semulajadi adalah untuk mengagih gentian agar gentian berupaya menyerlahkan fungsi peranannya dan untuk mencapai satu tindakan komposit di antara gentian dan matrik. Semenjak kewujudannya, kebanyakan bentuk simen komposit bergentian, dibuat menggunakan gentian pendek sejajar samada dalam 2 dimensi orientasi (panel nipis) atau secara rawak 3 dimensi untuk panel yang tebal (Majumdar, 1977). Di dorong oleh sifat semulajadi konstitusi simen di dalam matrik, ianya berkemungkinan untuk menggabungkan hanya sebahagian kecil isipadu diskrit gentian di dalam matrik (Nagaraj, 1979) seterusnya ianya lebih ekonomik iaitu penggunaan gentian dapat dioptimalkan.

2.8 Komposisi Gentian Semulajadi

Gentian semulajadi berasaskan tumbuhan adalah sebahagian daripada mikrostruktur tumbuhan tersebut. Setiap gentian lazimnya dikelilingi oleh lapisan sel lembut yang tidak berfungsi. Gentian adalah terdiri daripada pelbagai sel gentian fusiform yang dipanjangkan (paling banyak) dan menyendeng ke arah setiap hujung.

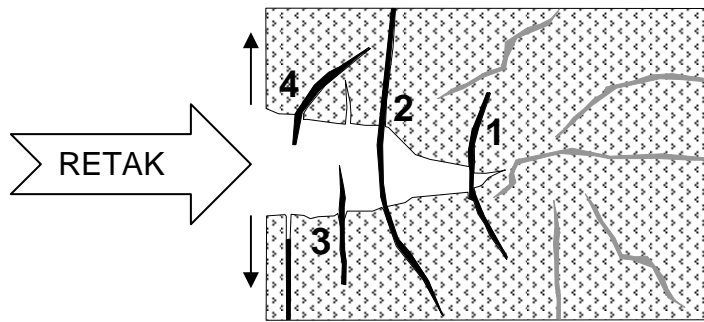
Secara fizikalnya, setiap sel dibina daripada empat bahagian utama iaitu dinding utama, dinding sekunder yang tebal, dinding tertier dan luman. Dinding sel terdiri daripada beberapa lapisan struktur fibril yang terdiri daripada fibril (makrofibril) dan mikrofibril. Struktur fibril luar terutamanya, dinding adalah teratur secara jaringan

dan mengurungi dinding sekunder yang terdiri daripada beberapa lapisan. Lapisan luar dinding sekunder pula terbina daripada lilitan spiral rata mengelilingi paksi gentian 40-50°. Fibril bagi lapisan dalam adalah teratur di dalam '*steep spiral*' pada 10-18° kepada paksi gentian (Fordos, 1979). Dinding tertier yang paling dalam dan nipis mempunyai struktur fibril yang selari dan mengurungi lumen. Fibril dan mikrofibril adalah dipegang bersama oleh koloid lamela.

Secara kimianya gentian terdiri daripada selulosa, melebihi 75% dan koloid lamela, kurang daripada 25% (Fordos, 1979). Selulosa pula terdiri daripada molekul-molekul selulosa. Penyerakan sinar X menunjukkan molekul selulosa membentuk susunan kedua-dua struktur rantai teratur dan tidak teratur (Racines, 1978). Rantai-rantai ini dipegang bersama secara kimia oleh ikatan hidrogen. Sel gentian, fibril dan mikrofibril adalah dipegang bersama koloid lamela yang terdiri daripada lignin, pektin dan hemiselulosa

2.9 Prinsip Penulangan Gentian.

Mekanisma Patah Linear Elastik (LEFM) merupakan suatu cabang bidang yang menceritakan perihal kegagalan struktur oleh permulaan dan perambatan elemen keretakan. Lazimnya LEFM digunakan untuk menilai kesesuaian bahan kejuruteraan konvensional seperti logam dan konkrit di dalam situasi penanggungungan beban. Namun begitu, penggunaannya untuk menerangkan perlakuan komposit masih lagi diperdebatkan sehingga sekarang. Walaubagaimanapun, penggunaan mekanisma patah di dalam matrik simen dan konkrit diperkukuh gentian telah diterima dengan baik. Kegagalan di dalam komposit gentian lazimnya berpunca daripada kecacatan di dalam bahan yang berpunca dari kepatahan gentian, kecacatan di dalam adunan matrik serta penyahikatan antara-muka di antara gentian dan matrik. Rajah 2.1 menerangkan skematik keratan rentas melalui matrik yang diperkukuh gentian.



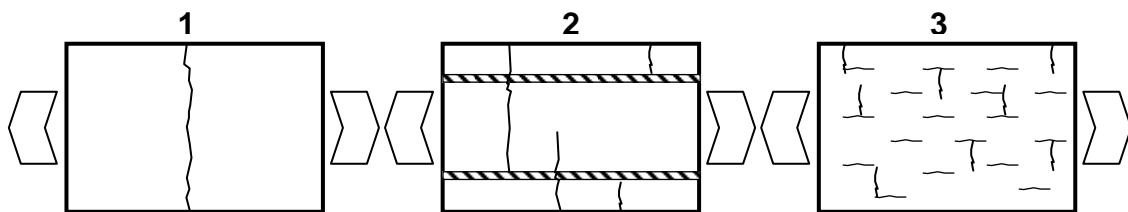
Rajah 2.1: Skematik Tindakbalas Gentian Terhadap Keretakan.
 Sumber: Fordos, Z., (1979).

Rajah skematik menunjukkan empat (4) kemungkinan berlakunya kegagalan di dalam matrik konkrit sebelum komposit patah. Ketika berlakunya sebarang keretakan, pada jarak di hadapan di mana retak mula bertambah dan memasuki bahagian tersebut, empat (4) kemungkinan tersebut akan terjadi. **Gentian 1** berada di dalam kawasan bertegangan tinggi iaitu berdekatan dengan hujung retak. Gentian 1 mungkin telah ternyahikatan daripada matrik tetapi gentian 1 masih berada di dalam keadaan yang baik. Penyahikatan ini adalah didorong oleh kekuatan ikatan antara-muka di antara gentian dan matrik.

Pemutusan ikatan kimia yang terjalin di antara gentian dan matrik simen dirangsang oleh penggunaan tenaga dari sistem daya tegasan. Seterusnya tegasan yang telah mencapai tenaga yang mencukupi berkemungkinan dipindahkan kepada **Gentian 2**. Sekiranya tenaga yang disalurkan cukup kuat sementara daya keanjalan gentian menjadi lemah, gentian akan gagal secara mutlak. **Gentian 4** menunjukkan kegagalan gentian akibat daya tegasan elemen keretakan. Apabila proses penyahikatan berlaku, terikan tenaga pada jarak gentian yang ternyahikatan akan dipindahkan kepada matrik dan hilang sebagai haba. Untuk gentian yang ternyah sepenuhnya, penarikan keluar gentian daripada matrik akan berlaku dan ini merujuk kepada **Gentian 3**. Tenaga yang dihasilkan oleh proses penyahikatan ini akan hilang di dalam bentuk geseran. Terdapat kemungkinan di mana ketika retak merambat, gentian

yang ditinggalkan tidak mengalami kerusakan dan proses ini dipanggil Jembatan Retak (*Crack Bridging*).

Rajah 2.2 menunjukkan konsep pengukuhan bergentian komposit berasaskan simen. Komposit konvensional akan mengalami satu keretakan besar yang panjang dan mudah patah. Komposit bertetulang secara selari dan sistematik, ketika dibebani akan mewujudkan keretakan yang kecil tetapi banyak. Elemen tetulang telah menghadkan keretakan menjadi panjang dan lebar. Manakala komposit bergentian kecil yang berselerak akan memperlihatkan keretakan kecil dan halus. Elemen gentian berfungsi seperti tetulang yang berupaya memperlahan atau memberhentikan pergerakan keretakan.



Rajah 2.2: Konsep Matrik Simen Diperkukuh Gentian.
Sumber: Fordos, Z., (1979).

2.10 Faktor Yang Mempengaruhi Ciri-Ciri Konkrit Diperkukuh Gentian.

Ciri-ciri konkrit diperkukuh gentian di pengaruhi oleh berbagai faktor dan jenis, panjang dan pecahan isipadu gentian merupakan faktor yang paling signifikan yang mempengaruhi sifat konkrit diperkukuh gentian. Racines, (1978), Mansur, (1982), Swift, 1978). Panjang optimum gentian dan pecahan isipadu yang terbaik untuk gentian semulajadi adalah masing-masingnya 23 mm dan 3%. (Aziz, 1981).

2.11 Sifat Komposit Campuran Segar.

Bancuhan campuran konkrit bergentian boleh dijalankan menggunakan kaedah konvensional seperti drum pembancuh (Nagaraj, 1979). Tatacara bancuhan dimulai