

**KEKUATAN DAN KETAHANAN KONKRIT RINGAN BERBUSA
SEBAGAI BAHAN STRUKTUR**

WAN ABDULLAH BIN WAN ALWI

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

2009

**KEKUATAN DAN KETAHANAN KONKRIT RINGAN BERBUSA
SEBAGAI BAHAN STRUKTUR**

oleh

WAN ABDULLAH BIN WAN ALWI

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

September 2009

PENGHARGAAN

Penulis merakamkan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada penyelia utama, Professor Dr. Ir. Mahyuddin Ramli yang telah memberikan tunjuk ajar, bimbingan dan semangat yang tinggi dalam membantu penulis menyiapkan penyelidikan ini. Ucapan terima kasih kepada majikan penulis, Universiti Teknologi MARA yang meluluskan cuti belajar dan Jabatan Perkhidmatan Awam Malaysia yang menghadihkan biasiswa Skim Latihan Akademik Bumiputra.

Penghargaan istimewa buat keluarga penulis, ibu Hajah Zainab Abd. Rahman, ibu mertua Hajah Mariam Jusoh, isteri Hajah Norhayati Harun dan anak-anak Wan Muhammad Farhan, Wan Muhammad Haikal, Wan Muhammad Syahir, Wan Nur Hanani, Wan Muhammad Naim dan Wan Muhammad Haniff, terima kasih atas doa, sokongan dan kesabaran. Penghargaan dan ucapan terima kasih buat semua yang telah membantu penulis sepanjang penyelidikan ini.

Akhirnya, Al-fatimah buat Al-marhum arwah bapa Haji Wan Alwi Wan Ismail dan bapa mertua Haji Harun Ibrahim.

ISI KANDUNGAN

Penghargaan	ii
Isi Kandungan	iii
Senarai Jadual	x
Senarai Rajah	xvi
Abstrak	xxiv
BAB 1 PENGANALAN	1
1.1 Pengenalan	1
1.2 Objektif Kajian	11
1.3 Skop Kajian	14
1.4 Metodologi Kajian	14
1.5 Susunan Bab	16
BAB 2 KAJIAN LITERATUR	20
2.1 Pengenalan	20
2.2 Sejarah Konkrit Ringan Dalam Industri Pembinaan	23
2.3 Jenis-jenis Konkrit Ringan	30
2.3.1 Konkrit Agregat Ringan	34
2.3.1.1 Agregat Ringan Semula Jadi	34

2.3.1.2	Agregat Ringan dari Lebihan dan Buangan Industri	35
2.3.1.3	Agregat Ringan Proses	38
2.3.1.4	Agregat Ringan dari Bahan Organik	41
2.3.2	Konkrit Ringan Tanpa Agregat Halus	41
2.3.3	Konkrit Ringan Berbusa	45
2.4	Sejarah Konkrit Ringan Berbusa	51
2.4.1	Konkrit Ringan Berbusa Dalam Kejuruteraan Awam	53
2.4.2	Konkrit Ringan Berbusa Dalam Pembinaan Bangunan	56
2.4.3	Aplikasi Konkrit Ringan Berbusa Dalam Pembinaan Bangunan	61
2.5	Teknologi Konkrit Ringan Berbusa	64
2.5.1	Agen Pembusaan	69
2.5.2	Alat Penjana dan Larutan Pracampur	70
2.5.3	Kadar Penjanaan Busa	71
2.5.4	Sifat-sifat Buih Busa	71
2.5.5	Kestabilan Busa	72
2.5.6	Generator Buih Busa	73
2.5.7	Peralatan Campuran	74
2.5.8	Simen	76
2.5.9	Agregat	76
2.6	Rekabentuk Campuran	78
2.6.1	Nisbah Air-Simen	79
2.6.2	Pengeluaran Konkrit Ringan Berbusa	80
2.7	Kaedah Pengawetan Konkrit Ringan Berbusa	81

2.8	Penyediaan Konkrit Ringan Berbusa	82
2.8.1	Kerja Konkrit	83
2.9	Sifat Konkrit Ringan Berbusa	84
2.9.1	Rongga-rongga Udara	86
2.9.2	Ketumpatan	90
2.9.3	Kekuatan	91
2.9.4	Pengecutan dan Pengembangan Haba	92
2.9.5	Resapan Air	93
2.9.6	Penebat Haba	95
2.9.7	Ketahanan Kebakaran	96
2.10	Konkrit Ringan Berbusa Sebagai Bahan Struktur	97
2.11	Rumusan Kajian Literatur	98
BAB 3	METODOLOGI KAJIAN DAN SIFAT BAHAN UJIAN	100
3.1	Pengenalan	100
3.2	Bahagian Pertama – Ujian Bahan Kajian	101
3.2.1	Simen	101
3.2.1.1	Ujian Masa Pengerasan Simen	105
3.2.2	Agregat	106
3.2.2.1	Proses Menghancurkan Agregat Halus Terkilang	109
3.2.2.2	Ujian Analisis Ayak Agregat	110
3.2.2.3	Ujian Ketumpatan Bandingan dan Resapan Air	113

3.2.3	Air	116
3.2.4	Bahan Busa	117
	3.2.4.1 Ujian dan Penyediaan Busa	119
	3.2.4.2 Kualiti Busa	122
	3.2.4.3 Kestabilan Busa	122
	3.2.4.4 Ketumpatan Busa	123
3.2.5	Bahan Tambah	124
3.2.6	Tetulang Jejaring Terkimpal	127
3.3	Bahagian Kedua – Ujian Konkrit Ringan Berbusa Segar	128
	3.3.1 Ujian Penurunan	128
	3.3.2 Ujian Ketumpatan	130
3.4	Bahagian Ketiga – Ujian Sifat Kekuatan Konkrit Ringan Berbusa	131
	3.4.1 Ujian Ketumpatan	131
	3.4.2 Ujian Kekuatan Mampat	132
	3.4.3 Ujian Kekuatan Lentur	134
	3.4.4 Ujian Halaju Denyut Ultrasonik	135
	3.4.5 Ujian Modulus Kekenyalan	137
3.5	Bahagian Keempat – Ujian Sifat Ketahanan Konkrit Ringan Berbusa	138
	3.5.1 Ujian Pengkarbonatan	139
	3.5.2 Ujian Resapan Air	140
	3.5.3 Ujian Kehilangan Berat	141
	3.5.4 Ujian Ketelapan Oksigen	143
3.6	Bahagian Kelima – Ujian Panel Struktur Konkrit	145

3.6.1	Ujian Beban Pesongan	145
3.6.2	Pengukuran Rekahan	146
3.7	Kaedah Pengawetan dan Tempoh Masa Ujian	146
3.8	Kaedah Kerja dan Kawalan Kualiti	149
3.8.1	Proses Pemasangan Acuan	150
3.8.2	Proses Membancuh Campuran Konkrit	151
3.8.3	Proses Pepadatan	155
3.8.4	Proses Membuka Acuan	156
3.8.5	Proses Pengawetan	156
3.9.	Rekabentuk Campuran Konkrit	157
3.9.1	Rekabentuk Campuran Kajian	158
3.9.2	Asas Pengiraan Reka bentuk Konkrit Ringan Berbusa	160
BAB 4	SIFAT KEKUATAN KONKRIT RINGAN BERBUSA	164
4.1	Pengenalan	164
4.2	Ujian Ketumpatan Konkrit Keras	166
4.2.1	Kesan Perbezaan Pengawetan kepada Ketumpatan	167
4.2.2	Kesan Perbezaan Busa kepada Ketumpatan	178
4.3	Ujian Kekuatan Mampat	180
4.4	Ujian Kekuatan Lentur	189
4.5	Ujian Halaju Denyut Ultrasonik	198
4.6	Ujian Modulus Kekenyalan Dinamik	207

4.7	Kesimpulan	216
BAB 5	SIFAT KETAHANAN KONKRIT RINGAN BERBUSA	222
5.1	Pengenalan	222
5.2	Ujian Kesan Pengkarbonatan	223
5.3	Ujian Resapan Air	233
5.4	Ujian Ketelapan Oksigen	244
5.5	Ujian Kehilangan Berat	254
5.6	Kesimpulan	259
BAB 6	UJIAN STRUKTUR KONKRIT RINGAN BERBUSA	262
6.1	Pengenalan	262
6.2	Objektif dan Kaedah Ujian	263
6.3	Penyediaan Spesimen Kajian	264
6.3.1	Rekabentuk Campuran Konkrit, Ketumpatan dan Masa Ujian	264
6.3.2	Penyediaan Tetulang	265
6.3.3	Penyediaan Acuan	266
6.3.4	Kaedah Pengawetan	267
6.4	Ujian Kekuatan Struktur	268
6.4.1	Beban Rekahan Pertama dan Beban Muktamad	270
6.4.2	Ujian Bebanan dan Nilai Pesongan	270

6.4.3	Lebar Rekahan	328
6.4.4	Jarak Rekahan	333
6.4.5	Bilangan Rekahan	337
6.5	Kesimpulan	341
BAB 7	KESIMPULAN DAN CADANGAN KAJIAN LANJUT	344
7.1	Kesimpulan Hasil Penyelidikan	344
7.2	Cadangan Kajian Lanjut	353
	SENARAI RUJUKAN	354

SENARAI JADUAL

Jadual 2.0	Kumpulan konkrit ringan (Short, et. al. 1978).	33
Jadual 2.1	Rekabentuk konkrit ringan berbuisa dan penggunaannya (Manual Portafoam).	66
Jadual 2.2	Jenis agen pembuisaan, kadar pencairan dan ketumpatan busa (Muhammad Nordin, 200).	70
Jadual 2.3	Saiz agregat untuk konkrit ringan berbuisa (Manual Portafoam).	77
Jadual 2.4	Reka bentuk campuran konkrit berbuisa untuk 1 m ³ konkrit.	79
Jadual 2.5	Sifat-sifat konkrit ringan berbuisa (Adridge, 2000).	85
Jadual 2.6	Variasi peratusan bilangan rongga-rongga udara berbanding busa (Nambiar dan Ramamurty, 2007).	88
Jadual 2.7	Hubungan antara penambahan busa dan ketumpatan (Nambir, et. al. 2007).	91
Jadual 2.8	Perbandingan antara ketumpatan dan kekuatan mampat (Nambir, et. al. 2006).	92
Jadual 2.9	Kadar resapan air konkrit ringan berbuisa (Nambiar, et al ., 2007).	95
Jadual 2.10	Perbandingan ketumpatan konkrit dan kadar pengaliran haba (Manual Portafoam).	96
Jadual 3.0	Nama, formula dan simbol singkatan sebatian simen (Neville,1994).	102
Jadual 3.1	Peratusan kandungan oksida dan pengiraan sebatian simen Portland (Neville,1994).	103
Jadual 3.2	Komposisi kimia simen Portland biasa berjenama Blue Lion. (Pembekal).	104
Jadual 3.3	Keputusan ujian masa pengerasan simen Portland biasa.	106
Jadual 3.4	Had penggredan agregat halus berdasarkan BS 882:1983.	111
Jadual 3.5	Keputusan analisis ayak agregat halus terkilang.	112

Jadual 3.6	Keputusan ujian ketumpatan bandingan dan resapan air agregat halus terkilang.	115
Jadual 3.7	Peratusan kandungan kelembapan agregat halus terkilang.	116
Jadual 3.8	Ketumpatan busa yang dihasilkan untuk kajian.	121
Jadual 3.9	Penggunaan bahan pemplastik dalam campuran konkrit (Ramli, 1991).	125
Jadual 3.10	Sifat tetulang jejaring terkimpal (Suliehan, 2004).	127
Jadual 3.11	Ketumpatan konkrit ringan berbasa segar untuk kajian.	131
Jadual 3.12	Kualiti konkrit berdasarkan halaju denyut ultrasonik.	136
Jadual 3.13	Parameter ujian sifat kekuatan konkrit.	148
Jadual 3.14	Parameter ujian sifat ketahanan konkrit.	148
Jadual 3.15	Parameter ujian panel struktur konkrit.	149
Jadual 3.16	Rekabentuk campuran kajian untuk 1 m ³ .	160
Jadual 3.17	Kaedah pengiraan bahan untuk 1 m ³ pada nisbah simen-agregat; 1 : 1.5.	162
Jadual 4.0	Keputusan ujian ketumpatan bagi pengawetan udara (kg/m ³).	167
Jadual 4.1	Keputusan ujian ketumpatan bagi pengawetan air biasa (kg/m ³).	169
Jadual 4.2	Keputusan ujian ketumpatan bagi pengawetan air garam (kg/m ³).	170
Jadual 4.3	Persamaan am dan nilai pekali kolerasi ketumpatan.	178
Jadual 4.4	Reka bentuk ketumpatan konkrit ringan berbasa untuk 1 m ³ pada nisbah simen-agregat; (1 : 1.5).	179
Jadual 4.5	Keputusan ujian kekuatan mampat bagi pengawetan udara (N/mm ²).	181
Jadual 4.6	Keputusan ujian kekuatan mampat bagi pengawetan air biasa (N/mm ²).	182
Jadual 4.7	Keputusan ujian kekuatan mampat bagi pengawetan air garam (N/mm ²).	183

Jadual 4.8	Persamaan am dan nilai pekali kolerasi kekuatan mampat.	189
Jadual 4.9	Keputusan ujian kekuatan lentur bagi pengawetan udara (N/mm^2).	190
Jadual 4.10	Keputusan ujian kekuatan lentur bagi pengawetan air biasa (N/mm^2).	192
Jadual 4.11	Keputusan ujian kekuatan lentur bagi pengawetan air garam (N/mm^2).	193
Jadual 4.12	Persamaan am dan nilai pekali kolerasi kekuatan lentur.	198
Jadual 4.13	Keputusan ujian halaju denyut ultrasonik bagi pengawetan udara (km/s).	200
Jadual 4.14	Keputusan ujian halaju denyut ultrasonik bagi pengawetan air biasa (km/s).	201
Jadual 4.15	Keputusan ujian halaju denyut ultrasonik bagi pengawetan air garam (km/s).	202
Jadual 4.16	Persamaan am dan nilai pekali kolerasi halaju denyut ultrasonik.	207
Jadual 4.17	Keputusan ujian modulus dinamik bagi pengawetan udara (N/mm^2).	208
Jadual 4.18	Keputusan ujian modulus dinamik bagi pengawetan air biasa (N/mm^2).	209
Jadual 4.19	Keputusan ujian modulus dinamik bagi pengawetan air garam (N/mm^2).	210
Jadual 4.20	Persamaan am dan nilai pekali kolerasi modulus dinamik.	216
Jadual 5.0	Keputusan ujian kesan pengkarbonatan bagi pengawetan udara (mm).	224
Jadual 5.1	Keputusan ujian kesan pengkarbonatan bagi pengawetan air biasa (mm).	226
Jadual 5.2	Keputusan ujian kesan pengkarbonatan bagi pengawetan air garam (mm).	227
Jadual 5.3	Persamaan am dan nilai pekali kolerasi kesan pengkarbonatan.	233

Jadual 5.4	Keputusan ujian resapan air bagi pengawetan udara (%).	235
Jadual 5.5	Keputusan ujian resapan air bagi pengawetan air biasa (%).	237
Jadual 5.6	Keputusan ujian resapan air bagi pengawetan air garam (%).	238
Jadual 5.7	Persamaan am dan nilai pekali kolerasi resapan air.	244
Jadual 5.8	Keputusan ujian ketelapan oksigen bagi pengawetan udara ($K \times 10^{-16} \text{ m}^2$).	245
Jadual 5.9	Keputusan ujian ketelapan oksigen bagi pengawetan air biasa ($K \times 10^{-16} \text{ m}^2$).	247
Jadual 5.10	Keputusan ujian ketelapan oksigen bagi pengawetan air garam ($K \times 10^{-16} \text{ m}^2$).	248
Jadual 5.11	Persamaan am dan nilai pekali kolerasi ketelapan oksigen.	254
Jadual 5.12	Keputusan ujian kehilangan berat pengawetan air biasa selama 28 hari dan larutan asid haidroklorid sehingga tempoh ujian, (%).	255
Jadual 5.13	Persamaan am dan nilai pekali kolerasi kehilangan berat.	258
Jadual 6.0	Keputusan ujian bebanan dan nilai pesongan untuk ketumpatan sasaran 1800 kg/m^3 , pengawetan udara untuk tempoh umur 30 hari.	272
Jadual 6.1	Keputusan ujian bebanan dan nilai pesongan untuk ketumpatan sasaran 1800 kg/m^3 , pengawetan air biasa untuk tempoh umur 30 hari.	274
Jadual 6.2	Keputusan ujian bebanan dan nilai pesongan untuk ketumpatan sasaran 1800 kg/m^3 , pengawetan air garam untuk tempoh umur 30 hari.	276
Jadual 6.3	Keputusan ujian bebanan dan nilai pesongan untuk ketumpatan sasaran 2000 kg/m^3 , pengawetan udara untuk tempoh umur 30 hari.	281
Jadual 6.4	Keputusan ujian bebanan dan nilai pesongan untuk ketumpatan sasaran 2000 kg/m^3 , pengawetan air biasa untuk tempoh umur 30 hari.	283

Jadual 6.5	Keputusan ujian bebanan dan nilai pesongan untuk ketumpatan sasaran 2000 kg/m ³ , pengawetan air garam untuk tempoh umur 30 hari.	286
Jadual 6.6	Keputusan ujian bebanan dan nilai pesongan untuk ketumpatan sasaran 1800 kg/m ³ , pengawetan udara untuk tempoh umur 90 hari.	290
Jadual 6.7	Keputusan ujian bebanan dan nilai pesongan untuk ketumpatan sasaran 1800 kg/m ³ , pengawetan air biasa untuk tempoh umur 90 hari.	293
Jadual 6.8	Keputusan ujian bebanan dan nilai pesongan untuk ketumpatan sasaran 1800 kg/m ³ , pengawetan air garam untuk tempoh umur 90 hari.	295
Jadual 6.9	Keputusan ujian bebanan dan nilai pesongan untuk ketumpatan sasaran 2000 kg/m ³ , pengawetan udara untuk tempoh umur 90 hari.	300
Jadual 6.10	Keputusan ujian bebanan dan nilai pesongan untuk ketumpatan sasaran 2000 kg/m ³ , pengawetan air biasa untuk tempoh umur 90 hari.	302
Jadual 6.11	Keputusan ujian bebanan dan nilai pesongan untuk ketumpatan sasaran 2000 kg/m ³ , pengawetan air garam untuk tempoh umur 90 hari.	304
Jadual 6.12	Keputusan ujian bebanan dan nilai pesongan untuk ketumpatan sasaran 1800 kg/m ³ , pengawetan udara untuk tempoh umur 180 hari.	309
Jadual 6.13	Keputusan ujian bebanan dan nilai pesongan untuk ketumpatan sasaran 1800 kg/m ³ , pengawetan air biasa untuk tempoh umur 180 hari.	311
Jadual 6.14	Keputusan ujian bebanan dan nilai pesongan untuk ketumpatan sasaran 1800 kg/m ³ , pengawetan air garam untuk tempoh umur 180 hari.	314
Jadual 6.15	Keputusan ujian bebanan dan nilai pesongan untuk ketumpatan sasaran 2000 kg/m ³ , pengawetan udara untuk tempoh umur 180 hari.	319

Jadual 6.16	Keputusan ujian bebanan dan nilai pesongan untuk ketumpatan sasaran 2000 kg/m ³ , pengawetan air biasa untuk tempoh umur 180 hari.	321
Jadual 6.17	Keputusan ujian bebanan dan nilai pesongan untuk ketumpatan sasaran 2000 kg/m ³ , pengawetan air garam untuk tempoh umur 180 hari.	323
Jadual 6.18	Keputusan ujian purata lebar rekahan untuk reka bentuk ketumpatan sasaran 1800 kg/m ³ (mm).	329
Jadual 6.19	Keputusan ujian purata lebar rekahan untuk reka bentuk ketumpatan sasaran 2000 kg/m ³ (mm).	331
Jadual 6.20	Keputusan ujian purata jarak rekahan untuk reka bentuk ketumpatan sasaran 1800 kg/m ³ (mm).	334
Jadual 6.21	Keputusan ujian purata jarak rekahan untuk reka bentuk ketumpatan sasaran 2000 kg/m ³ (mm).	335
Jadual 6.22	Keputusan ujian bilangan rekahan untuk reka bentuk ketumpatan sasaran 1800 kg/m ³ (no).	338
Jadual 6.23	Keputusan ujian bilangan rekahan untuk reka bentuk ketumpatan sasaran 2000 kg/m ³ (no).	339

SENARAI RAJAH

Rajah 2.0	Contoh kandungan konkrit ringan berbuis (Jones, et. al. 2005).	21
Rajah 2.1	Generator buih busa jenama Portafoam yang digunakan dalam kajian makmal.	73
Rajah 3.0	Simen Portland biasa berjenama Blue Lion digunakan dalam kajian.	104
Rajah 3.1	Agregat halus terkilang atau yang telah siap melalui proses ayakan.	108
Rajah 3.2	Mesin ' <i>Aggregate and Rock Crusing</i> ' untuk menghancurkan agregat.	109
Rajah 3.3	Mesin ' <i>Sieving Endercotis Sieve Shaker</i> ' untuk mengayak agregat.	110
Rajah 3.4	Lengkung perbezaan analisis agregat halus terkilang.	113
Rajah 3.5	Generator Portaform bersama tangki silinder dan tekanan udara.	120
Rajah 3.6	Busa yang dihasilkan dari generator Portafoam.	123
Rajah 3.7	Peralatan ujian penurunan konkrit ringan berbuis.	129
Rajah 3.8	Spesimen kiub sedang diuji kekuatan mampat.	133
Rajah 3.9	Spesimen prisma sedang diuji kekuatan lentur.	135
Rajah 3.10	Spesimen prisma diuji halaju denyut ultrasonik.	137
Rajah 3.11	Ujian kesan pengkarbonatan dijalankan terhadap spesimen prisma patah.	140
Rajah 3.12	Ketuhar untuk mengeringkan spesimen.	143
Rajah 3.13	Acuan prisma yang telah bersih, disapu minyak dan sedia digunakan.	151
Rajah 3.14	Mesin pembancuh berputar membancuh campuran konkrit.	153

Rajah 3.15	Peralatan ujian penurunan mengikut piawaian Amerika, ASTM C230-68.	155
Rajah 3.16	Pengawetan dalam kolah menggunakan air biasa.	157
Rajah 4.0	Graf keputusan ujian ketumpatan bagi pengawetan udara (kg/m^3).	172
Rajah 4.1	Graf keputusan ujian ketumpatan bagi pengawetan air biasa (kg/m^3).	173
Rajah 4.2	Graf keputusan ujian ketumpatan bagi pengawetan air garam (kg/m^3).	174
Rajah 4.3	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan ketumpatan sasaran bagi pengawetan udara.	176
Rajah 4.4	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan ketumpatan sasaran bagi pengawetan air biasa.	176
Rajah 4.5	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan ketumpatan sasaran bagi pengawetan air garam.	177
Rajah 4.6	Graf keputusan ujian kekuatan mampat bagi pengawetan udara (N/mm^2).	185
Rajah 4.7	Graf keputusan ujian kekuatan mampat bagi pengawetan air biasa (N/mm^2).	185
Rajah 4.8	Graf keputusan ujian kekuatan mampat bagi pengawetan air garam (N/mm^2).	186
Rajah 4.9	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan kekuatan mampat bagi pengawetan udara.	187
Rajah 4.10	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan kekuatan mampat bagi pengawetan air biasa.	187
Rajah 4.11	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan kekuatan mampat bagi pengawetan air garam.	188
Rajah 4.12	Graf keputusan ujian kekuatan lentur bagi pengawetan udara (N/mm^2).	194
Rajah 4.13	Graf keputusan ujian kekuatan lentur bagi pengawetan air biasa (N/mm^2).	195

Rajah 4.14	Graf keputusan ujian kekuatan lentur bagi pengawetan air garam (N/mm^2).	195
Rajah 4.15	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan kekuatan lentur bagi pengawetan udara.	196
Rajah 4.16	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan kekuatan lentur bagi pengawetan air biasa.	197
Rajah 4.17	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan kekuatan lentur bagi pengawetan air garam.	197
Rajah 4.18	Graf keputusan ujian halaju denyut ultrasonik bagi pengawetan udara (km/s).	203
Rajah 4.19	Graf keputusan ujian halaju denyut ultrasonik bagi pengawetan air biasa (km/s).	203
Rajah 4.20	Graf keputusan ujian halaju denyut ultrasonik bagi pengawetan air garam (km/s).	204
Rajah 4.21	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan halaju denyut ultrasonik bagi pengawetan udara.	205
Rajah 4.22	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan halaju denyut ultrasonik bagi pengawetan air biasa.	205
Rajah 4.23	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan halaju denyut ultrasonik bagi pengawetan air garam.	206
Rajah 4.24	Graf keputusan ujian modulus dinamik bagi pengawetan udara (N/mm^2).	212
Rajah 4.25	Graf keputusan ujian modulus dinamik bagi pengawetan air biasa (N/mm^2).	212
Rajah 4.26	Graf keputusan ujian modulus dinamik bagi pengawetan air garam (N/mm^2).	213
Rajah 4.27	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan modulus dinamik bagi pengawetan udara.	214
Rajah 4.28	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan modulus dinamik bagi pengawetan air biasa.	215

Rajah 4.29	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan modulus dinamik bagi pengawetan air garam.	215
Rajah 5.0	Graf keputusan ujian kesan pengkarbonatan bagi pengawetan udara (mm).	229
Rajah 5.1	Graf keputusan ujian kesan pengkarbonatan bagi pengawetan air biasa (mm).	229
Rajah 5.2	Graf keputusan ujian kesan pengkarbonatan bagi pengawetan air garam (mm).	230
Rajah 5.3	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan kesan pengkarbonatan bagi pengawetan udara.	231
Rajah 5.4	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan kesan pengkarbonatan bagi pengawetan air biasa.	231
Rajah 5.5	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan kesan pengkarbonatan bagi pengawetan air garam.	232
Rajah 5.6	Graf keputusan ujian resapan air bagi pengawetan udara (%).	240
Rajah 5.7	Graf keputusan ujian resapan air bagi pengawetan air biasa (%).	240
Rajah 5.8	Graf keputusan ujian resapan air bagi pengawetan air garam (%).	241
Rajah 5.9	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan resapan air bagi pengawetan udara.	242
Rajah 5.10	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan resapan air bagi pengawetan air biasa.	243
Rajah 5.11	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan resapan air bagi pengawetan air garam.	243
Rajah 5.12	Graf keputusan ujian ketelapan oksigen bagi pengawetan udara ($K \times 10^{-16} \text{ m}^2$).	250
Rajah 5.13	Graf keputusan ujian ketelapan oksigen bagi pengawetan air biasa ($K \times 10^{-16} \text{ m}^2$).	250
Rajah 5.14	Graf keputusan ujian ketelapan oksigen bagi pengawetan air garam ($K \times 10^{-16} \text{ m}^2$).	251

Rajah 5.15	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan ketelapan oksigen bagi pengawetan udara.	252
Rajah 5.16	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan ketelapan oksigen bagi pengawetan air biasa.	252
Rajah 5.17	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan ketelapan oksigen bagi pengawetan air garam.	253
Rajah 5.18	Graf keputusan ujian kehilangan berat konkrit ringan berbusa (%).	257
Rajah 5.19	Hubungan antara tempoh pengawetan dengan kehilangan berat.	257
Rajah 6.0	Acuan dan tetulang jejaring terkimpal untuk panel struktur.	267
Rajah 6.1	Mesin <i>Tensile Test – Gotech Universal Testing Machine</i> untuk panel struktur konkrit ringan berbusa ujian bebanan empat titik.	269
Rajah 6.2	Bentuk rekahan penal struktur konkrit ringan berbusa rekabentuk kekuatan sasaran 1800 kg/m^3 kaedah pengawetan udara yang diuji pada umur 30 hari.	273
Rajah 6.3	Bentuk rekahan penal struktur konkrit ringan berbusa rekabentuk kekuatan sasaran 1800 kg/m^3 kaedah pengawetan air biasa yang diuji pada umur 30 hari.	275
Rajah 6.4	Bentuk rekahan penal struktur konkrit ringan berbusa rekabentuk kekuatan sasaran 1800 kg/m^3 kaedah pengawetan air garam yang diuji pada umur 30 hari.	277
Rajah 6.5	Graf hubungan antara bebanan dengan lapis tetulang panel struktur bagi rekabentuk ketumpatan sasaran 1800 kg/m^3 bagi tempoh pengawetan 30 hari.	279
Rajah 6.6	Graf hubungan antara nilai pesongan dengan lapis tetulang panel struktur bagi rekabentuk ketumpatan sasaran 1800 kg/m^3 pada tempoh pengawetan 30 hari.	280
Rajah 6.7	Bentuk rekahan penal struktur konkrit ringan berbusa rekabentuk kekuatan sasaran 2000 kg/m^3 kaedah pengawetan udara yang diuji pada umur 30 hari.	282

Rajah 6.8	Bentuk rekahan penal struktur konkrit ringan berbusa rekabentuk kekuatan sasaran 2000 kg/m ³ kaedah pengawetan air biasa yang diuji pada umur 30 hari.	285
Rajah 6.9	Bentuk rekahan penal struktur konkrit ringan berbusa rekabentuk kekuatan sasaran 2000 kg/m ³ kaedah pengawetan air garam yang diuji pada umur 30 hari.	287
Rajah 6.10	Graf hubungan antara bebanan dengan lapis tetulang panel struktur bagi rekabentuk ketumpatan sasaran 2000 kg/m ³ pada tempoh pengawetan 30 hari.	288
Rajah 6.11	Graf hubungan antara nilai pesongan dengan lapis tetulang panel struktur bagi rekabentuk ketumpatan sasaran 2000 kg/m ³ pada tempoh pengawetan 30 hari.	289
Rajah 6.12	Bentuk rekahan penal struktur konkrit ringan berbusa rekabentuk kekuatan sasaran 1800 kg/m ³ kaedah pengawetan udara yang diuji pada umur 90 hari.	292
Rajah 6.13	Bentuk rekahan penal struktur konkrit ringan berbusa rekabentuk kekuatan sasaran 1800 kg/m ³ kaedah pengawetan air biasa yang diuji pada umur 30 hari.	294
Rajah 6.14	Bentuk rekahan penal struktur konkrit ringan berbusa rekabentuk kekuatan sasaran 1800 kg/m ³ kaedah pengawetan air garam yang diuji pada umur 30 hari.	296
Rajah 6.15	Graf hubungan antara bebanan dengan lapis tetulang panel struktur bagi rekabentuk ketumpatan sasaran 1800 kg/m ³ pada tempoh pengawetan 90 hari.	297
Rajah 6.16	Graf hubungan antara nilai pesongan dengan lapis tetulang panel struktur bagi rekabentuk ketumpatan sasaran 1800 kg/m ³ pada tempoh pengawetan 90 hari.	298
Rajah 6.17	Bentuk rekahan penal struktur konkrit ringan berbusa rekabentuk kekuatan sasaran 2000 kg/m ³ kaedah pengawetan udara yang diuji pada umur 90 hari.	301
Rajah 6.18	Bentuk rekahan penal struktur konkrit ringan berbusa rekabentuk kekuatan sasaran 2000 kg/m ³ kaedah pengawetan air biasa yang diuji pada umur 90 hari.	303

Rajah 6.19	Bentuk rekahan penal struktur konkrit ringan berbusa rekabentuk kekuatan sasaran 2000 kg/m^3 kaedah pengawetan air garam yang diuji pada umur 90 hari.	306
Rajah 6.20	Graf hubungan antara bebanan dengan lapis tetulang panel struktur bagi rekabentuk ketumpatan sasaran 2000 kg/m^3 pada tempoh pengawetan 90 hari.	307
Rajah 6.21	Graf hubungan antara nilai pesongan dengan lapis tetulang panel struktur bagi rekabentuk ketumpatan sasaran 2000 kg/m^3 pada tempoh pengawetan 90 hari.	308
Rajah 6.22	Bentuk rekahan penal struktur konkrit ringan berbusa rekabentuk kekuatan sasaran 1800 kg/m^3 kaedah pengawetan udara yang diuji umur 180 hari.	311
Rajah 6.23	Bentuk rekahan penal struktur konkrit ringan berbusa rekabentuk kekuatan sasaran 1800 kg/m^3 kaedah pengawetan air biasa yang diuji umur 180 hari.	313
Rajah 6.24	Bentuk rekahan penal struktur konkrit ringan berbusa rekabentuk kekuatan sasaran 1800 kg/m^3 kaedah pengawetan air garam yang diuji umur 180 hari.	315
Rajah 6.25	Graf hubungan antara bebanan dengan lapis tetulang panel struktur bagi rekabentuk ketumpatan sasaran 1800 kg/m^3 pada tempoh pengawetan 180 hari.	316
Rajah 6.26	Graf hubungan antara nilai pesongan dengan lapis tetulang panel struktur bagi rekabentuk ketumpatan sasaran 1800 kg/m^3 pada tempoh pengawetan 180 hari.	317
Rajah 6.27	Bentuk rekahan penal struktur konkrit ringan berbusa rekabentuk kekuatan sasaran 2000 kg/m^3 kaedah pengawetan udara yang diuji umur 180 hari.	320
Rajah 6.28	Bentuk rekahan penal struktur konkrit ringan berbusa rekabentuk kekuatan sasaran 2000 kg/m^3 kaedah pengawetan air biasa yang diuji umur 180 hari.	322
Rajah 6.29	Bentuk rekahan penal struktur konkrit ringan berbusa rekabentuk kekuatan sasaran 2000 kg/m^3 kaedah pengawetan air garam yang diuji umur 180 hari.	324

Rajah 6.30	Graf hubungan antara bebanan dengan lapis tetulang panel struktur bagi rekabentuk ketumpatan sasaran 2000 kg/m^3 pada tempoh pengawetan 180 hari.	326
Rajah 6.31	Graf hubungan antara nilai pesongan dengan lapis tetulang panel struktur bagi rekabentuk ketumpatan sasaran 2000 kg/m^3 pada tempoh pengawetan 180 hari.	327
Rajah 6.32	Graf hubungan antara lebar rekahan dengan lapis tetulang panel struktur bagi rekabentuk ketumpatan sasaran 1800 kg/m^3 untuk tiga kaedah pengawetan berbeza.	331
Rajah 6.33	Graf hubungan antara lebar rekahan dengan lapis tetulang panel struktur bagi rekabentuk ketumpatan sasaran 2000 kg/m^3 untuk tiga kaedah pengawetan berbeza.	333
Rajah 6.34	Graf hubungan antara purata jarak rekahan dengan lapis tetulang panel struktur bagi rekabentuk ketumpatan sasaran 1800 kg/m^3 untuk tiga kaedah pengawetan berbeza.	335
Rajah 6.35	Graf hubungan antara purata jarak rekahan dengan lapis tetulang panel struktur bagi rekabentuk ketumpatan sasaran 2000 kg/m^3 untuk tiga kaedah pengawetan berbeza.	337
Rajah 6.36	Graf hubungan antara bilangan rekahan dengan lapis tetulang panel struktur bagi rekabentuk ketumpatan sasaran 1800 kg/m^3 untuk tiga kaedah pengawetan berbeza.	338
Rajah 6.37	Graf hubungan antara bilangan rekahan dengan lapis tetulang panel struktur bagi rekabentuk ketumpatan sasaran 2000 kg/m^3 untuk tiga kaedah pengawetan berbeza.	340

KEKUATAN DAN KETAHANAN KONKRIT RINGAN BERBUSA SEBAGAI BAHAN STRUKTUR

ABSTRAK

Konkrit ringan berbusa dengan ketumpatan yang rendah dan ringan lebih dikenali umum sebagai bahan binaan yang bersifat lemah. Ini disebabkan oleh kehadiran banyak sel-sel udara sebagai gantian agregat dalam binaan matriksnya. Objektif penyelidikan ini adalah untuk merekabentuk campuran konkrit ringan berbusa pada ketumpatan yang berbeza antara 1200 kg/m^3 hingga 2000 kg/m^3 sebagai bahan struktur dalam industri pembinaan. Penggunaan agregat halus terkilang dari kuari untuk semua ujian makmal bertujuan memaksimumkan penggunaan bahan lebihan industri. Ujian sifat kejuruteraan bahan dijalankan untuk menguji sifat kekuatan dan ketahanan konkrit ringan berbusa dengan pendedahan pengawetan berbeza, iaitu udara, air biasa dan air garam sehingga tempoh ujian. Ujian struktur konkrit ringan berbusa menggunakan panel bertetulang dan tanpa tetulang untuk menguji sifat ketahanan terhadap bebanan dengan pendedahan pengawetan yang sama sehingga tempoh ujian. Hasil ujian sifat kekuatan mendapati pengawetan air garam memberikan nilai kekuatan yang tinggi berbanding pengawetan air biasa dan udara untuk semua parameter ujian. Begitu juga hasil ujian sifat ketahanan mendapati semua parameter ujian menunjukkan nilai ketahanan pengawetan air garam adalah lebih tinggi berbanding air biasa dan udara. Keputusan ini menunjukkan larutan air garam membentuk kristal untuk memperkuat dan memperkukuhkan ikatan antara matriks. Perbandingan antara ketumpatan menunjukkan ketumpatan tinggi merekodkan

nilai kekuatan dan ketahanan yang lebih tinggi berbanding ketumpatan yang lebih rendah. Kandungan sel-sel udara yang lebih banyak pada ketumpatan rendah telah merendahkan nilai ketumpatan dan ketahanan. Ujian panel struktur mendapati pada umur 30 hari pengawetan air garam menghasilkan nilai ketahanan yang lebih tinggi berbanding air biasa dan udara. Namun ujian pada umur 90 dan 180 hari memberi keputusan sebaliknya di mana pengawetan udara adalah lebih tinggi dari air biasa dan air garam untuk semua panel tetulang. Untuk panel tanpa tetulang, pengawetan air garam masih kekal tinggi berbanding air biasa dan udara. Keputusan ini menunjukkan larutan air garam telah meresap memasuki binaan matriks dan berlaku kakisan pada tetulang. Kesimpulannya, konkrit ringan berbuisa sesuai dan baik digunakan dalam pendedahan air garam untuk struktur tanpa tetulang. Namun struktur tetulang adalah lemah disebabkan berlaku kakisan pada tetulang.

STRENGTH AND DURABILITY OF LIGHTWEIGHT FOAM CONCRETE AS STRUCTURAL MATERIAL

ABSTRACT

Low density lightweight foam concrete is more generally known as a construction material that is weak in character. This is caused by the presence of numerous air cells as aggregate substitutes in its matrix construction. This research aims to design a mixture of lightweight foam concrete with different density levels ranging from 1200 kg/m³ to 2000 kg/m³ as structural material in the construction industry. The utilisation of the fine quarry produced aggregates in all the laboratory experiments is to maximise the use of surplus industrial materials. Material engineering trait tests were conducted to ascertain strength and durability characteristics of lightweight foam concrete via exposure to different preservation agents namely air, plain water and salt water within the period of experimentation. Tests on lightweight foam concrete using reinforcement and without reinforcement panels were carried out to determine durability traits against loading pressure using the same preservation agents within the period of experimentation. Tests on the strength characteristics reveal that salt solution preservative produces higher strength values compared to those of plain water and at the atmosphere in all test parameters. Likewise, tests on durability characteristics indicate all the test parameters show that salt solution preservative values are higher as opposed to plain water and the atmosphere. These results indicate that saline solution forms crystals in order to strengthen and reinforce the bonds among matrix. Inter density comparisons point to the

fact that high density records higher strength and durability values compared to lower density. The higher number of air cells in low density reduces its strength and durability values. The structure panel test indicates that at 30 days, salt solution preservative produces a higher durability value than plain water and the atmosphere. However, tests at 90 and 180 days produces a result in the reverse whereby air preservatives is higher than plain water and salt solution in all reinforcement panels. Salt solution, though remains high compared to plain water and the atmosphere in the without reinforcement panels. The result indicates that salt water solution has permeated into the construction matrix thus causing erosion to the reinforcement. In conclusion, lightweight foam concrete can be suitably used under exposure to salinity for without reinforcement structures. Reinforcement structure on the contrary is weak due to erosion of the reinforcement.

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pengenalan

Industri pembinaan terutama pembinaan perumahan merupakan industri yang paling tua seusia kehadiran manusia di dunia. Keperluan kepada tempat tinggal menjadikan manusia berusaha kreatif untuk menyediakan tempat perlindungan atau rumah. Binaan rumah pada peringkat permulaan kehidupan manusia menggunakan bahan-bahan yang terdapat di sekitar tempat tinggal mereka. Peringkat awalnya manusia menggunakan sumber bahan binaan asli yang mudah didapati dan boleh terus untuk digunakan seperti kayu. Manakala penduduk di kawasan sumber kayu yang terhad, mereka mula membangunkan rumah menggunakan bahan binaan yang diproses berasaskan tanah seperti lumpur dan tanah liat yang menjadi asas kepada perkembangan konkrit.

Konkrit merupakan bahan binaan yang telah digunakan secara meluas dalam industri pembinaan. Catatan sejarah menunjukkan konkrit telah mula digunakan sebagai bahan binaan seawal tahun 1850an lagi. Walau bagaimanapun sejarah sebenar penggunaan konkrit dalam industri pembinaan telah bermula lebih awal lagi. Ini terbukti apabila orang-orang Mesir lama menggunakan abu gipsum tak tulin sebagai bahan penyimen, manakala orang-orang Greek serta Rom lama menggunakan abu batu kapur dalam penyediaan konkrit. Ini boleh dilihat pada binaan *Coliseum* di Rom dan *Pont du Gard* berdekatan Nimes yang masih kekal sehingga hari ini (Neville, 1994).

Sejarah perkembangan industri simen dan konkrit moden bermula apabila Joseph Aspdin, seorang jurubina di Leeds, England telah mempatenkan 'simen Portland' pada tahun 1824. Simen Portland ini telah menjadi tanda nama sejenis simen dan penggunaannya cukup terkenal dan telah digunakan secara meluas di seluruh dunia sehingga ke hari ini. Simen merupakan bahan utama yang bertindak sebagai bahan pengikat dalam penyediaan konkrit. Perkembangan teknologi konkrit di seluruh dunia ini telah memperlihatkan bagaimana bahan binaan berasaskan konkrit telah mengambil alih bahan-bahan binaan yang bersumberkan bahan asli. Ini termasuklah bahan binaan berasaskan kayu dan besi yang menjadi bahan binaan pilihan utama dalam industri pembinaan pada masa dahulu. Perubahan ini disebabkan ciri-ciri kekuatan dan ketahanan konkrit adalah lebih baik berbanding bahan binaan lain yang menjadi ciri-ciri penting bagi sesebuah binaan.

Asas utama penyediaan konkrit adalah bancuhan campuran simen, agregat dan air. Simen merupakan bahan utama yang bertindak sebagai bahan pengikat antara agregat. Manakala agregat merupakan bahan kuat dan keras yang paling banyak digunakan dalam campuran konkrit, sehingga 70 % dan agregat ini membentuk kekuatan konkrit. Air merupakan bahan yang akan bertindakbalas dengan serbuk simen bagi membentuk simen terhidrat yang bersifat jelekit dan melekat. Simen terhidrat ini akan mengikat butiran-butiran agregat bagi membentuk satu ikatan konkrit yang padu. Proses penghidratan ini akan terus berlaku dengan kehadiran air yang bertindakbalas dengan serbuk simen. Campuran dan ikatan padu ini apabila mengeras akan membentuk bahan komposit baru yang dikenali sebagai 'konkrit'. Penggunaan bahan-bahan tambah dan pelbagai bahan-bahan lain juga biasa digunakan dalam campuran konkrit bagi menghasilkan konkrit berkualiti

tinggi atau menghasilkan konkrit berciri tertentu mengikut keperluan pengguna. Ciri-ciri dan kualiti konkrit bergantung kepada lima faktor utama, iaitu jenis dan kualiti bahan-bahan mentah, rekabentuk campuran, kaedah menggaul dan menempatkan konkrit termasuklah mengangkat dan memadat, proses pengawetan dan kualiti acuan serta faktor alam sekitar yang meliputi cuaca dan kelembapan udara.

Semenjak penemuan dan perkembangan teknologi konkrit dalam industri pembinaan, dua ciri istimewa yang penting adalah kekuatan dan ketahanan yang tinggi. Tahap keupayaan kedua-dua ciri penting ini boleh direkabentuk dan disediakan bagi memenuhi pelbagai keperluan penggunaan konkrit. Keadaan ini menjadikan penggunaan konkrit lebih utama dan lebih jimat berbanding bahan binaan lain. Selain itu terdapat beberapa ciri tambahan yang menambahkan lagi keistimewaan konkrit sebagai bahan binaan. Antaranya; sifat tahan lama, boleh dibentuk mengikut bentuk acuan, rupa bentuk menarik atau estetika, bahan penebat yang baik, iaitu haba, bunyi dan kebakaran, senang untuk disediakan dan senang untuk mendapatkan bahan-bahan mentah.

Permintaan terhadap penggunaan konkrit dalam industri pembinaan yang berkembang pesat memperlihatkan keperluan kepada pelbagai jenis dan sifat konkrit bagi memenuhi pelbagai keperluan penggunaannya. Keadaan ini menjadikan industri konkrit sering kali menghasilkan pelbagai produk baru. Produk baru ini meliputi proses inovasi kepada penggunaan bahan-bahan mentah yang baru atau tambahan, kaedah pengeluaran dan penggunaan bahan-bahan kimia dalam campuran konkrit, menghasilkan konkrit yang

lebih ekonomik dan mempelbagaikan produk konkrit. Antara proses inovasi konkrit yang menarik adalah penghasilan konkrit ringan yang berketumpatan rendah.

Secara umumnya konkrit biasa disediakan dengan ketumpatan antara 2240 kg/m^3 hingga 2400 kg/m^3 (Short dan Kinniburgh, 1978). Konkrit biasa ini mempunyai sifat-sifat kekurangannya yang tersendiri, antaranya ketumpatan konkrit yang tinggi menjadikan konkrit tersebut berat dan meningkatkan beban mati struktur konkrit itu sendiri. Konkrit biasa juga sukar disediakan terutama untuk proses pemadatan yang memerlukan peralatan khas pemadatan. Selepas konkrit biasa mengeras ianya menjadi satu struktur konkrit yang sukar untuk dipotong dan dipaku kecuali menggunakan peralatan yang tertentu dan istimewa. Banyak rungutan yang mengatakan konkrit biasa bersifat sejuk dan berair. Oleh itu inovasi penghasilan konkrit berketumpatan rendah telah menambahkan lagi produk konkrit dan memberi lebih pilihan kepada penggunaan konkrit itu sendiri.

Konkrit berketumpatan rendah mempunyai beberapa ciri istimewa sebagai bahan binaan. Antara ciri yang paling penting adalah sifatnya yang ringan. Dengan ketumpatan rendah menjadikan konkrit ini lebih ringan berbanding konkrit biasa. Dalam industri pembinaan faktor berat diri atau beban mati merupakan antara faktor utama beban struktur paling besar terpaksa ditanggung. Oleh itu pengurangan ketumpatan konkrit akan mengurangkan berat konkrit dan mengurangkan berat keseluruhan struktur binaan. Pengurangan beban mati struktur konkrit yang rendah membolehkan rekabentuk kebanyakan elemen-elemen binaan sehingga ke asas binaan yang lebih kecil. Manakala penggunaan konkrit ringan pada binaan dinding membolehkan rekabentuk kerangka struktur dan asas bangunan yang

lebih kecil. Tambahan lagi penggunaan konkrit ringan hanya memerlukan acuan menahan kerja konkrit yang tekanannya lebih rendah. Keadaan ini disebabkan jumlah berat konkrit yang ditanggung adalah kurang berbanding konkrit biasa. Semua kelebihan-kelebihan ini akan dapat mempercepat proses pembinaan dan meningkatkan kadar pengeluaran terutama industri perumahan.

Sejarah awal penggunaan konkrit ringan dalam industri pembinaan telah bermula seawal tahun 1920an lagi di Amerika Syarikat. Ianya telah digunakan dalam pembinaan perumahan secara menyeluruh termasuklah dinding dan komponen struktur bangunan terutama tiang dan rasuk, blok-blok konkrit dan dinding penahan haba. Sejarah penggunaan konkrit ringan berketumpatan rendah dalam pembinaan perumahan telah menghasilkan banyak kebaikan. Antara kebaikannya adalah dapat mengurangkan beban mati rumah, rumah dapat dibina lebih cepat dan kos pengangkutan bahan yang lebih rendah. Konkrit ringan ini juga merupakan bahan penebat yang baik, iaitu penebat haba, bunyi dan kebakaran yang jauh lebih baik berbanding konkrit biasa yang juga sudah baik sifatnya berbanding bahan binaan lain. Perkembangan semasa teknologi konkrit ringan memperlihatkan penggunaan konkrit ringan boleh digunakan pada hampir keseluruhan binaan perumahan. Ini termasuklah penggunaan dalam binaan struktur konkrit ringan bertetulang, bumbung dan lantai tanggung beban.

Konkrit ringan pada permulaannya telah didefinisikan sebagai konkrit yang dihasilkan menggunakan agregat ringan bagi menggantikan agregat biasa. Perkembangan teknologi konkrit ringan telah berjaya menghasilkan konkrit ringan tanpa menggunakan agregat,

iaitu dengan menggunakan bahan kimia untuk menghasilkan busa stabil dalam konkrit atau mortar. Oleh itu definasi konkrit ringan didapati selalu berubah-ubah selaras dengan perubahan penggunaan bahan dan kaedah penghasilan konkrit ringan itu sendiri. Seterusnya penggunaan tetulang besi dalam menghasilkan struktur konkrit ringan maka tahap ketumpatan telah diubahsuai, di mana ketumpatan konkrit ringan telah ditingkatkan kepada 1840 kg/m^3 dan lebih. Keadaan ini masih lagi ringan berbanding konkrit biasa yang berketumpatan sekitar 2400 kg/m^3 . Mengikut *Draft International Standard Model Code for Concrete Construction (1977)*, telah mengklasifikasikan konkrit ringan mempunyai ketumpatan antara 1200 kg/m^3 hingga 2000 kg/m^3 . Walau bagaimanapun penggunaan busa dalam konkrit ringan menjadikan konkrit ringan boleh disediakan dengan ketumpatan serendah 300 kg/m^3 .

Konkrit menjadi ringan disebabkan oleh kandungan udara yang terdapat di dalam konkrit. Semakin banyak kandungan udara menjadikan ketumpatan konkrit semakin rendah dan semakin ringan. Oleh itu, konkrit ringan dihasilkan dengan memasukkan udara ke dalam konkrit. Ianya boleh dilakukan dengan tiga kaedah utama, iaitu :-

- i. menggunakan agregat ringan sebagai pengganti agregat biasa yang berat, atau;
- ii. menggunakan agregat kasar sahaja tanpa agregat halus menjadikan binaan konkrit berongga, atau;
- iii. menggunakan buih busa stabil dalam campuran konkrit bagi membentuk ruang udara dalam konkrit.

Sifat agregat ringan yang berongga dan tidak padat digunakan untuk menghasilkan konkrit ringan. Agregat ringan ini boleh terdiri daripada bahan-bahan asli berasaskan lava gunung berapi seperti pumis dan skolia, atau bahan asli yang diproses seperti tanah liat dan syal berkembang atau bahan-bahan terbang yang diproses seperti abu terbang dan gangga besi. Penggunaan agregat ringan dalam menghasilkan konkrit ringan berasaskan bahan mentah yang terdapat pada persekitarannya. Penggunaan bahan lava gunung berapi hanya di kawasan yang terdapat gunung berapi sahaja. Manakala bahan-bahan yang diproses memerlukan sumber bahan mentah dan proses pengembangan sebelum ianya dapat digunakan. Penggunaan konkrit ringan berasaskan bahan kimia seperti konkrit ringan berbuisa menggunakan bahan kimia.

Semenjak tahun 1920an penggunaan pelbagai bahan busa stabil yang dimasukkan ke dalam konkrit mengambil alih tempat agregat. Busa stabil ini akan memenuhi ruang konkrit seumpama agregat dalam konkrit. Busa ini perlu terus stabil semasa konkrit segar sehingga keras untuk membentuk satu lapisan permukaan udara yang kuat. Ini membentuk konkrit berudara ataupun berselular. Sekarang terdapat pelbagai jenis agen pembuisan untuk dimasukkan ke dalam konkrit bagi membentuk konkrit ringan berbuisa.

Asas penyediaan konkrit ringan berbuisa menggunakan campuran agregat halus biasa, samada pasir atau batu kisar halus, agregat ringan halus ataupun tanpa agregat. Penggunaan bahan tambah seperti bahan pemplastik dapat mengurangkan nisbah air-simen dan seterusnya dapat mempertingkatkan kekuatan konkrit. Penggunaan bahan-bahan tambah lain juga seperti abu terbang, silika dan serat akan membentuk konkrit

ringan berbusa yang mempunyai ciri-ciri keistimewaan yang berbeza dari aspek sifat, kekuatan dan ketahanan. Apa yang penting, penggunaan konkrit ringan berbusa dalam industri pembinaan memberi lebih pilihan konkrit kepada semua pihak yang terlibat dalam industri pembinaan seperti akitek, perunding bahan binaan, jurutera dan kontraktor.

Sebagai bahan binaan yang belum biasa dan agak jarang digunakan, maka konkrit ringan berbusa perlu memastikan keistimewaannya untuk digunakan dan ditentukan tempatnya dalam industri pembinaan. Ini meliputi data kajian bahan, kesan alam sekitar juga pandangan pekerja binaan dan bahan-bahan binaan sedia ada. Kajian yang berterusan akan menghasilkan konkrit ringan berbusa yang dapat memenuhi semua keperluan ini. Penggunaan konkrit ringan berbusa dapat mengurangkan kesan alam sekitar dari aspek penggunaan bahan binaan. Penggunaan kayu secara meluas dalam pembinaan bangunan dan rumah sebelum ini telah banyak merosakkan alam sekitar serta mengurangkan kayu untuk generasi masa hadapan. Kayu sepatutnya digunakan untuk tujuan dekoratif sahaja berbanding sebagai bahan struktur. Besi sepatutnya hanya digunakan dalam konkrit untuk meningkatkan kekuatan regangan berbanding digunakan sebagai bahan struktur. Penggunaan besi yang terhad ini dapat mengurangkan kerja perlombongan dan seterusnya meningkatkan kualiti alam sekitar.

Mengambil kira semua kebaikan penggunaan konkrit ringan berbusa dalam industri pembinaan maka pembangunan konkrit ini perlu diperluaskan dan dipertingkatkan untuk memaksimumkan penggunaannya. Hasilnya adalah bangunan-bangunan yang terdiri daripada bahan-bahan yang sesuai digunakan dan mudah diselenggarakan. Pemahaman

masyarakat dalam menggunakan bahan binaan baru dan sokongan dari kesatuan dalam pembinaan serta sokongan kuat kerajaan akan dapat merealisasikan penggunaan bahan-bahan binaan yang sesuai dengan tempatnya.

Umum membicarakan bahawa penyediaan konkrit ringan lebih mahal berbanding dengan konkrit biasa disamping bancuhan, pengelolaan serta penempatan yang memerlukan lebih penjagaan dan perhatian berbanding konkrit biasa. Walau bagaimanapun bagi kebanyakan tujuan, kebaikan menggunakan konkrit ringan lebih utama daripada kos penyediaan. Banyak kajian mendapati secara perbandingan keseluruhannya penggunaan konkrit ringan didapati lebih murah berbanding konkrit biasa. Malah minat telah bertambah menggunakan lebih banyak konkrit ringan dan ke arah penggunaan baru termasuk konkrit prategasan, bangunan pencakar langit serta bumbung berkelompok. Pembinaan perumahan pada masa hadapan memperlihatkan keperluan untuk menggunakan konkrit ringan disebabkan sifat-sifat istimewanya. Hasil dari penggunaan konkrit ringan dalam pembinaan perumahan di banyak negara telah memperlihatkan sifat-sifat istimewa konkrit ringan berbanding dengan penggunaan konkrit biasa.

Pada masa sekarang penggunaan konkrit tidak terhad kepada pembinaan struktur sahaja, tetapi penyelidik telah berjaya mencipta panel-panel dinding daripada bahan konkrit. Penggunaan panel ini dapat menggantikan penggunaan batu-bata dan bahan binaan lain. Walaupun penggunaan konkrit agak meluas, tetapi konkrit merupakan bahan yang berat, maka kos pengendalian memerlukan jentera yang berkuasa tinggi dan ramai pekerja. Penemuan terhadap konkrit yang lebih ringan daripada konkrit biasa dan dikenali sebagai

konkrit ringan telah memperkembangkan lagi penggunaan konkrit dalam elemen-elemen bangunan seperti panel-panel selain struktur. Negara maju telah berjaya menggunakan konkrit ringan untuk pelbagai elemen bangunan antaranya kekubah daripada konkrit. Memandangkan salah satu komposisi yang mempengaruhi kekuatan konkrit adalah bahan campurannya, maka kajian terhadap bahan-bahan ini perlu dipertingkatkan bagi menghasilkan konkrit ringan yang dapat memenuhi penggunaannya. Pada masa kini, untuk konkrit ringan, terutama blok-blok konkrit, kekuatan sama ada tegangan atau mampatan berkadar terus dengan ketumpatan. Ini bermakna semakin ringan konkrit tersebut kekuatan juga akan berkurangan. Keadaan ini akan memaksa pembina membuat pilihan sama ada konkrit bersifat ringan atau kuat. Konkrit ringan yang agak terkenal di negara kita dibuat dengan menggunakan campuran busa.

Kajian untuk menghasilkan produk konkrit yang memenuhi keperluan pengguna perlu diteruskan dan dipertingkatkan. Tumpuan perlu diberikan terhadap penggunaan pelbagai bahan-bahan mentah untuk menghasilkan konkrit ringan berbusa yang mempunyai ciri-ciri kekuatan dan ketahanan yang lebih baik disamping ciri-ciri penebat yang baik. Dalam usaha untuk menjaga alam sekitar dan mengurangkan penggunaan bahan mentah sumber asli, maka penggunaan bahan lebihan dan sisa industri perlu dipertingkatkan. Oleh itu kajian ini menggunakan agregat halus dari batu kuari terkilang untuk menghasilkan konkrit ringan berbusa. Agregat halus batu kuari terkilang merupakan agregat lebihan yang dihasilkan dari proses penghancuran dan penggredan agregat. Ianya jarang digunakan dan harganya adalah lebih rendah berbanding pasir halus (Ramli, 1995). Mengikut Persatuan Simen Portland (1975), sebagai bahan binaan dalam dunia

perniagaan hari ini, konkrit dan produk konkrit boleh disediakan mengikut peraturan dan rekabentuk baru. Bahan baru boleh disediakan dalam pelbagai saiz, bentuk, warna dan tekstur untuk penggunaan istimewa yang terlampau ringan sehingga terlalu padat untuk logi riadiasi. Ini menjadikan konkrit bahan binaan yang sedia digunakan dalam pelbagai keadaan dan menjadikan pilihan pengguna.

1.2 Objektif Kajian

Objektif kajian Ijazah Doktor Falsafah ini adalah untuk mengkaji sifat kekuatan dan ketahanan konkrit ringan berbusa yang digunakan dalam industri pembinaan. Berdasarkan kajian literatur, konkrit ringan berbusa didapati memenuhi kriteria-kriteria sebagai bahan binaan untuk digunakan dalam industri pembinaan. Walau bagaimanapun pembangunan konkrit ringan berbusa memerlukan kajian dan ujian makmal untuk menilai dan menghasilkan konkrit yang berketumpatan rendah dengan mempunyai ciri-ciri kekuatan dan ketahanan yang sesuai untuk digunakan dalam pelbagai penggunaan pembinaan.

Maklumat utama kajian adalah untuk menilai suatu rekabentuk campuran konkrit ringan berbusa yang mempunyai tahap kekuatan dan ketahanan yang tinggi. Oleh itu tumpuan rekabentuk campuran adalah untuk menghasilkan konkrit ringan berbusa yang boleh digunakan sebagai bahan struktur. Rekabentuk campuran ketumpatan yang dipilih adalah antara 1200 kg/m^3 hingga 2000 kg/m^3 . Ini adalah selaras dengan tahap ketumpatan maksima konkrit ringan adalah 2000 kg/m^3 berbanding ketumpatan konkrit biasa sekitar 2400 kg/m^3 . Manakala konkrit ringan berbusa yang dihasilkan kurang daripada 1000

kg/m³ biasa digunakan sebagai bahan penebat. Ini juga selaras dengan *Draft International Standard Model Code for Concrete Construction* (1977), yang telah mengklasifikasikan konkrit ringan mempunyai ketumpatan antara 1200 kg/m³ hingga 2000 kg/m³.

Maklumat kedua kajian adalah untuk menghasilkan konkrit ringan berbuisa menggunakan bahan-bahan mentah lebih atau buangan industri. Oleh yang demikian, keseluruhan kajian makmal menggunakan bahan mentah agregat halus terkilang dari kuari. Proses memecah dan mengisar agregat di kuari akan menghasilkan pelbagai saiz agregat. Biasanya pihak kuari akan memberi tumpuan untuk menghasilkan dan menggredkan agregat kasar. Oleh itu hasil sampingannya adalah agregat halus terkilang (Ramli, 1995). Agregat ini merupakan hasil sampingan dan ianya dijual sebagai bahan sampingan pada harga yang lebih murah berbanding dengan pasir.

Maklumat ketiga kajian adalah untuk menilai ciri-ciri kekuatan dan ketahanan konkrit ringan berbuisa melalui pendedahan kepada pelbagai persekitaran penggunaannya. Kajian memilih untuk melakukan tiga kaedah pengawetan yang berbeza, iaitu pengawetan udara, air biasa dan persekitaran agresif, larutan air garam sebagai perbandingan. Hasil ujian terhadap spesimen-spesimen yang melalui proses pengawetan yang berbeza ini akan memberi nilai terhadap ciri-ciri kekuatan dan ketahanan untuk rekabentuk ketumpatan sasaran konkrit ringan berbuisa yang berbeza.

Matlamat keempat kajian adalah untuk menghasilkan konkrit ringan berbuisa yang akan digunakan sebagai elemen struktur. Penyediaan panel-panel struktur dan rekabentuk

panel struktur konkrit ringan berbusa tanpa tetulang dan bertetulang. Rekabentuk tetulang pelbagai lapis bagi mengkaji prestasi penggunaan tetulang dalam konkrit ringan berbusa. Pengawetan panel struktur dalam tiga medium berbeza, iaitu udara, air biasa dan air garam melengkapkan kajian terhadap ketahanan struktur konkrit ringan berbusa dalam pelbagai persekitaran.

Secara terperinci objektif penyelidikan ini adalah seperti berikut :-

1. Membangunkan rekabentuk campuran konkrit ringan berbusa dengan penggunaan agregat halus terkilang lebihan industri bagi menghasilkan konkrit ringan berbusa yang mempunyai sifat kekuatan dan ketahanan sebagai bahan struktur dalam industri pembinaan.
2. Menjalankan ujian dan penilaian terhadap sifat-sifat kejuruteraan bahan yang meliputi ujian kekuatan dan ketahanan konkrit ringan berbusa dengan pendedahan pengawetan berbeza, iaitu udara, air biasa dan air garam sehingga tempoh ujian.
3. Menjalankan ujian dan penilaian prestasi konkrit ringan berbusa sebagai bahan struktur melalui ujian ketahanan terhadap bebanan panel struktur bertetulang dan tanpa tetulang dengan pendedahan pengawetan berbeza, iaitu udara, air biasa dan air garam sehingga tempoh ujian.

1.3 Skop Kajian

Skop kajian ini memberi tumpuan terhadap pembangunan konkrit ringan berbuisa untuk digunakan sebagai bahan binaan dan bahan struktur dalam industri pembinaan. Pemilihan bahan-bahan mentah lebih industri yang mudah didapati di pasaran bertujuan untuk memaksimumkan penggunaan bahan tersebut. Ianya juga bertujuan untuk menilai kemampuan dan prestasi konkrit ringan berbuisa terhadap sifat-sifat kejuruteraan bahan, iaitu sifat kekuatan dan ketahanan yang akan dihasilkan. Kajian juga memberi tumpuan terhadap menghasilkan rekabentuk campuran konkrit ringan berbuisa yang paling sesuai melalui beberapa siri rekabentuk campuran dan ujian percubaan makmal. Rekabentuk campuran ini memberi tumpuan dan penekanan terhadap sifat-sifat busa, nisbah simen-agregat, nisbah air-simen dan penggunaan bahan tambah untuk menghasilkan konkrit ringan berbuisa yang sesuai dengan fungsinya sebagai bahan binaan. Kaedah pengawetan dalam tiga medium berbeza, iaitu udara, air biasa dan persekitaran agresif, air garam merupakan kemuncak kepada ujian dan penilaian konkrit ringan berbuisa yang dihasilkan.

1.4 Metodologi Kajian

Metodologi kajian melibatkan kajian literatur, lima bahagian ujian makmal konkrit dan analisis keputusan ujian. Kajian literatur merupakan peringkat kajian awal yang penting untuk mengenal pasti sejarah dan penggunaan konkrit ringan berbuisa dalam industri pembinaan. Penekanan kajian ini adalah untuk mengkaji dan menilai dari semua aspek terutama sifat-sifat kejuruteraan bahan tentang penggunaan konkrit ringan terutama konkrit ringan berbuisa dalam industri pembinaan.

Lima bahagian ujian makmal konkrit merupakan kajian eksperimen yang dijalankan di makmal. Kajian ini meliputi ujian bahan-bahan mentah, ujian konkrit ringan berbuisa segar, ujian sifat kekuatan konkrit ringan berbuisa keras, ujian sifat ketahanan konkrit ringan berbuisa keras dan akhirnya ujian panel struktur konkrit ringan berbuisa. Kajian awal merupakan peringkat pemilihan dan pengujian bahan-bahan mentah yang akan digunakan dalam eksperimen. Antara ujian yang dijalankan ialah ujian bahan busa, iaitu ujian ketumpatan busa, ujian simen, iaitu ujian masa pengerasan simen, ujian agregat, iaitu ujian analisis ayak dan ujian ketumpatan serta penyerapan air dan ujian tetulang, iaitu ujian kekuatan tetulang jejaring terkimpal.

Kajian seterusnya adalah rekabentuk campuran konkrit ringan berbuisa bagi menentukan rekabentuk campuran yang paling sesuai untuk kajian makmal. Kajian dimulakan dengan siri rekabentuk campuran percubaan dan penyediaan spesimen percubaan. Keputusan daripada ujian percubaan ini telah digunakan dalam pemilihan rekabentuk campuran konkrit ringan berbuisa untuk kajian makmal penyelidikan. Kajian penyelidikan bermula dengan membuat kajian terhadap sifat-sifat konkrit ringan berbuisa segar yang meliputi ujian penurunan dan ketumpatan. Kajian diteruskan dengan kajian terhadap konkrit keras yang bertujuan untuk menilai sifat-sifat kekuatan dan ketahanan konkrit ringan berbuisa. Kajian ini meliputi penyediaan spesimen konkrit ringan berbuisa yang diawet dalam tiga kaedah pengawetan berbeza, iaitu udara, air biasa dan pendedahan agresif, air garam untuk tempoh pengawetan maksima, iaitu 365 hari. Penilaian ujian yang dijalankan terhadap spesimen kiub dan prisma konkrit ringan berbuisa keras adalah, ujian

ketumpatan, kekuatan mampat, kekuatan lentur, halaju denyut ultrasonik, modulus kekenyalan, pengkarbonatan, resapan air, kehilangan berat dan ketelapan oksigen.

Peringkat akhir kajian makmal adalah pemilihan dan penyediaan panel struktur konkrit ringan berbuis rekabentuk ketumpatan sasaran tinggi. Kajian ini bertujuan untuk menilai prestasi kekuatan dan ketahanan konkrit ringan berbuis apabila menerima bebanan. Panel struktur disediakan tanpa tetulang dan siri beberapa lapis tetulang. Proses pengawetan dijalankan sebagaimana ujian konkrit ringan berbuis keras, iaitu udara, air biasa dan pendedahan agresif, air garam. Ujian kaedah bebanan menggunakan bebanan empat titik dan parameter ujian yang dijalankan adalah untuk penilaian tahap bebanan, nilai pesongan yang terhasil, nilai bebanan rekahan pertama, nilai bebanan muktamad, lebar, jarak dan bilangan rekahan yang terhasil.

Semua kaedah ujian yang dijalankan dalam kajian makmal adalah berdasarkan spesifikasi dan peraturan yang ditetapkan dalam piawaian Malaysia (MS), British (BS) dan Amerika (ASTM).

1.5 Susunan Bab

Tesis ini mengandungi 7 bab yang membincangkan secara terperinci urutan penyelidikan yang dijalankan. Rekabentuk susunan bab disediakan untuk membicarakan secara teliti dan jelas bahagian-bahagian utama dan penting bagi mencapai objektif penyelidikan.

Secara amnya, intipati setiap bab adalah seperti berikut :-

Bab 1, perbincangan tentang pengenalan am terhadap penyelidikan, objektif, skop dan metodologi penyelidikan yang akan dijalankan serta susunan bab tesis.

Bab 2, perbincangan tentang kajian literatur. Kajian dijalankan secara menyeluruh bermula dari sejarah konkrit ringan dan konkrit ringan berbuisa yang telah digunakan dalam industri pembinaan. Bab ini juga memberi tumpuan secara am tentang proses penyediaan dan penggunaan konkrit ringan secara umum. Tumpuan khusus kajian adalah kepada kaedah penyediaan dan penggunaan konkrit ringan berbuisa sebagai bahan konkrit dan bahan struktur konkrit. Kajian juga meliputi proses penilaian terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi sifat-sifat kejuruteraan konkrit ringan berbuisa serta aktiviti-aktiviti pembangunan yang meliputi penyelidikan dan pembangunan konkrit ringan berbuisa dalam industri pembinaan.

Bab 3, perbincangan tentang metodologi kajian makmal konkrit ringan berbuisa. Kajian bermula dengan pemilihan dan ujian terhadap bahan-bahan mentah yang dipilih untuk digunakan dalam penyediaan konkrit ringan berbuisa. Perbincangan diteruskan dengan penyediaan rekabentuk campuran percubaan, penyediaan dan ujian spesimen percubaan. Perbincangan tentang keputusan penyelidikan percubaan telah menghasilkan keputusan penyelidikan makmal, yang meliputi rekabentuk campuran, kaedah pengawetan dan tempoh pengawetan. Perbincangan secara terperinci tentang peraturan dan standard penyelidikan kejuruteraan bahan yang dijalankan, iaitu ujian konkrit segar, ujian tentang sifat kekuatan konkrit keras, ujian tentang sifat ketahanan konkrit keras dan ujian panel struktur konkrit ringan berbuisa.

Bab 4, perbincangan tentang sifat kekuatan konkrit ringan berbusa keras. Perbincangan tentang sifat kekuatan konkrit ringan berbusa keras berasaskan keputusan ujian yang telah dijalankan terhadap semua spesimen. Perbincangan meliputi keputusan ujian kekuatan, meliputi kekuatan mampat dan kekuatan lentur, ujian sifat-sifat fizikal, meliputi ketumpatan, kekenyalan dan halaju denyut ultrasonik. Perbincangan juga meliputi analisis keputusan setiap ujian dan analisis perbandingan antara ujian-ujian yang telah dijalankan. Analisis ini bertujuan untuk menilai dan menyatakan kesimpulan tentang sifat kekuatan konkrit ringan berbusa penyelidikan.

Bab 5, perbincangan tentang sifat ketahanan pada konkrit ringan berbusa keras. Perbincangan berasaskan keputusan ujian yang telah dijalankan terhadap semua spesimen ujian berkaitan. Perbincangan ini meliputi keputusan ujian pengkarbonatan, resapan air, resapan oksigen dan kehilangan berat. Perbincangan juga meliputi analisis keputusan setiap ujian dan perbandingan antara ujian-ujian yang telah dijalankan. Analisis ini bertujuan untuk menilai dan menyatakan kesimpulan sifat ketahanan konkrit ringan berbusa penyelidikan.

Bab 6, perbincangan tentang ujian prestasi dan ketahanan panel struktur konkrit ringan berbusa sebagai bahan struktur. Perbincangan meliputi penerangan tentang kepentingan ujian, metodologi ujian dan jangkamasa ujian. Metodologi ujian meliputi pemilihan ketumpatan sasaran panel struktur, kaedah ujian, kaedah pengawetan dan kaedah ujian dijalankan. Penilaian ujian dijalankan terhadap nilai bebanan yang dikenakan dan nilai pesongan yang dihasilkan. Ujian ini meliputi nilai beban untuk rekahan pertama dan

beban muktamad serta lebar, jarak dan bilangan rekahan. Perbincangan diteruskan terhadap penilaian keputusan ujian yang dijalankan dan analisis perbandingan keputusan antara ujian. Analisis ini bertujuan untuk menilai tahap prestasi dan ketahanan panel struktur konkrit ringan berbusa serta menyatakan kesimpulan panel struktur konkrit ringan berbusa sebagai bahan struktur penyelidikan.

Bab 7, merupakan perbincangan peringkat akhir tentang kesimpulan secara keseluruhan hasil penyelidikan dan analisis yang dijalankan serta cadangan kajian-kajian lanjut.

BAB 2

KAJIAN LITERATUR

2.1 Pengenalan

Konkrit ringan berbuis merupakan sejenis konkrit ringan berketumpatan rendah. Konkrit ringan berbuis adalah bersifat ringan dan ketumpatannya kurang berbanding ketumpatan konkrit biasa. Mengikut Short dan Kinniburgh (1978), ketumpatan konkrit biasa adalah sekitar 2400 kg/m^3 dan dalam laporan beliau, konkrit biasa mempunyai julat ketumpatan antara 2240 kg/m^3 hingga 2400 kg/m^3 . Manakala Neville (1994) pula melaporkan, konkrit biasa berketumpatan antara 2200 kg/m^3 hingga 2600 kg/m^3 . Oleh itu konkrit biasa dikenali sebagai konkrit yang mempunyai ketumpatan tidak kurang daripada 2200 kg/m^3 dan tidak melebihi 2600 kg/m^3 .

Konkrit ringan berbuis boleh diklasifikasikan sebagai konkrit yang berketumpatan 2000 kg/m^3 dan kurang. Ini selaras dengan kenyataan oleh Komuniti Antarabangsa Eropah tentang konkrit (1977), dalam '*The Draft International Standard Model Code for Concrete Construction*' yang telah mengklasifikasikan konkrit ringan berketumpatan antara 1200 kg/m^3 hingga 2000 kg/m^3 . Klasifikasi ini dibuat berdasarkan konkrit ringan yang dihasilkan menggunakan agregat ringan. Klasifikasi ketumpatan ini dianggap tinggi pada masa kini kerana konkrit ringan boleh dihasilkan dengan ketumpatan serendah 300 kg/m^3 . Penggunaan bahan busa dalam campuran konkrit atau mortar boleh menghasilkan

ketumpatan serendah ini. Kandungan matriks konkrit ringan berbuisa mengandungi banyak rongga-rongga udara atau sel-sel ataupun lebih dikenali sebagai konkrit berselular. Kandungan rongga-rongga udara ini boleh mencapai 70 % daripada isipadu konkrit dan ianya bergantung kepada jumlah busa yang dicampurkan. Jones, et. al. (2005), melakarkan contoh kandungan matriks konkrit ringan berbuisa yang mengandungi ruang udara sekitar 20 % hingga 70 %. Penggunaan agregat halus yang paling baik kurang daripada 4 mm garis purat, nisbah air-simen antara 0.4 hingga 0.8 dan kandungan simen antara 300 kg/m^3 hingga 500 kg/m^3 , sebagaimana yang ditunjukkan pada Rajah 2.0.

<p style="text-align: center;">Udara (20 % – 70%)</p>
<p style="text-align: center;">Agregat Halus (paling baik < 4 mm)</p>
<p style="text-align: center;">Air (Nisbah air-simen = 0.4 – 0.8)</p>
<p style="text-align: center;">Simen (300 kg/m^3 – 500 kg/m^3)</p>

Rajah 2.0 : Contoh kandungan konkrit ringan berbuisa (Jones, et. al. 2005).

Konkrit biasa merupakan struktur komposit yang dihasilkan daripada campuran bahan asas; simen, agregat halus, agregat kasar dan air. Manakala konkrit ringan berbuisa menggunakan bahan campuran yang sama tanpa menggunakan agregat kasar dan ianya

lebih bersifat mortar. Untuk menjadi konkrit bersifat ringan, buih busa stabil dimasukkan ke dalam campuran mortar basah. Buih busa stabil memenuhi mortar seumpama agregat di dalam konkrit. Apabila konkrit ringan berbuisa keras, busa stabil membentuk banyak rongga-rongga udara atau sel-sel seumpama kek naik. Sel-sel yang mengandung udara inilah yang meringankan konkrit ringan berbuisa dan konkrit ini juga popular sebagai konkrit berselular. Semakin banyak buih busa dimasukkan ke dalam campuran konkrit semakin ringan konkrit ringan berbuisa yang dihasilkan.

Kehadiran konkrit ringan berbuisa dalam industri pembinaan telah mempelbagaikan lagi produk konkrit. Ketumpatan konkrit ringan berbuisa yang jauh lebih rendah dari konkrit biasa telah memberi lebih pilihan dan kebaikan kepada mereka yang terlibat dalam industri pembinaan. Arkitek, Jurutera dan pelbagai perunding dalam industri pembinaan perlu menggunakan kelebihan sifat ringan konkrit ringan berbuisa dalam rekabentuk mereka. Manakala kontraktor perlu menyesuaikan penggunaan konkrit ringan berbuisa dalam pembinaan supaya penggunaan konkrit ringan berbuisa boleh dimaksimakan. Kajian literatur mendapati konkrit ringan berbuisa telah digunakan secara meluas dalam kerja-kerja pembinaan bangunan dan juga kerja-kerja kejuruteraan awam terutama di negara-negara maju, seperti; Eropah, Rusia dan Amerika Syarikat.

Penggunaan konkrit ringan berbuisa pada peringkat awalnya lebih sebagai bahan binaan penebat haba. Negara-negara yang beriklim sejuk memerlukan elemen bangunan yang mampu menghalang aliran haba sejuk masuk ke dalam ruang bangunan. Maka konkrit ringan terutama konkrit ringan berbuisa merupakan pilihan mereka. Ianya digunakan

sebagai bahan penebat haba untuk mengurangkan penggunaan tenaga dalam memanaskan ruang bangunan. Penggunaan konkrit ringan berbuis dalam industri pembinaan terus berkembang melampaui sebagai bahan penebat haba. Ianya kemudian digunakan sebagai bahan binaan tanggung beban sendiri dan juga bahan struktur bertetulang. Kepelbagaian penggunaan ini telah mendorong ahli-ahli sains bahan dan teknologi bahan binaan mempertingkatkan penyelidikan. Penyelidikan perlu dijalankan secara berterusan bagi mempertingkatkan sifat-sifat konkrit ringan berbuis seumpama atau lebih baik dari konkrit biasa. Antara sifat penting adalah kekuatan dan ketahanan.

Kajian literatur konkrit ringan berbuis dalam industri pembinaan ini bermula dengan kajian umum tentang konkrit ringan. Perbincangan kemudiannya dilanjutkan dan dikembangkan dengan penumpuan khusus terhadap sifat-sifat konkrit ringan berbuis dan penggunaan konkrit ringan berbuis dalam industri pembinaan.

2.2 Sejarah Konkrit Ringan Dalam Industri Pembinaan

Sejarah penggunaan konkrit ringan dalam industri pembinaan telah lama bermula, walau bagaimanapun penggunaannya kurang popular pada peringkat awal dan mula popular beberapa tahun kebelakangan ini. Mengikut Short dan Kinniburgh (1978), konkrit ringan bukan bahan binaan yang baru dalam industri pembinaan. Sejarah mencatat permulaan konkrit ringan adalah penggunaan batu kelikir sebagai agregat ringan yang digunakan pada lewat kurun ke sembilan belas di negara-negara maju seperti Amerika Syarikat, England dan beberapa negara Eropah lainnya. Ini terbukti apabila kerja-kerja pembinaan

bangunan tambahan Musium British pada tahun 1097 penggunaan konkrit ringan daripada agregat ringan kelikir.

Sejarah juga menunjukkan bagaimana masyarakat Rom lama telah menggunakan konkrit ringan daripada agregat ringan pumis untuk membina kubah *The Pantheon* pada jarak garis pusat 44 m pada abad ke dua lagi yang kekal sehingga sekarang. Masyarakat Amerika Syarikat telah membina kapal pada perang dunia pertama menggunakan konkrit ringan daripada agregat ringan tanah liat terkembang dalam penyediaan dan pembinaan blok-blok konkrit untuk perumahan semenjak tahun 1920an lagi. Masyarakat England pula menggunakan sangga berbusa sebagai konkrit ringan pada pertengahan tahun 1930an. Malah England merupakan antara negara pengeluar agregat ringan ini dan menghasilkan blok-blok konkrit ringan berasaskan sangga berbusa ringan (Short dan Kinniburgh, 1978).

Pada masa perang dunia kedua, pengeluaran agregat biasa menjadi sukar dan ianya tidak dapat diperdagangkan. England telah menghasilkan, mengeluarkan dan menggunakan konkrit agregat ringan sebagai blok tidak tanggung beban. Hasil pengeluaran yang berterusan telah meningkatkan kualiti agregat ringan. Konkrit ringan telah ditingkatkan penggunaannya sebagai binaan dinding tanggung beban dua lapis. Maklumat ini telah disahkan oleh Stesen Penyelidikan Bangunan, United Kingdom. Perkembangan dan pembangunan penggunaan konkrit ringan dalam industri pembinaan yang semakin meningkat telah mewujudkan kumpulan-kumpulan penyelidik. Penyelidikan tentang penggunaan dan kualiti konkrit ringan telah meningkat menjadikan penyelidikan yang