

**PEMBANGUNAN KONKRIT RINGAN MENGGUNAKAN POLISTERENA,
SERBUK ALUMINIUM DAN KAYU DALAM KEJURUTERAAN AWAM**

Oleh

POH KOON POO

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

Mei 2004

PENGHARGAAN

Saya ingin mengambil kesempatan ini untuk mengucapkan ribuan terima kasih kepada para kakitangan yang telah membantu saya dengan sepenuh hati untuk menjayakan penyelidikan ini.

Setinggi-tinggi penghargaan dan terima kasih kepada Profesor Ir. Dr. Mahyuddin Ramli, selaku penyelia utama atas kesediaan beliau meluangkan masa untuk memberi tunjuk ajar serta nasihat yang tidak ternilai kepada saya demi menjayakan penyelidikan ini.

Saya juga mengambil kesempatan ini untuk mengucapkan ribuan terima kasih kepada Encik Khalid, selaku penyelia makmal dan Encik Idris, selaku pembantu makmal konkrit dan struktur. Terima kasih kerana tunjuk ajar teknikal semasa menjalankan kajian penyelidikan tersebut. Selain itu, saya juga ingin memberikan setinggi-tinggi penghargaan kepada Pusat Pengajian Perumahan, Bangunan dan Perancangan kerana menyediakan kemudahan yang secukupnya untuk membolehkan penyelidikan saya ini berjalan dengan lancar.

Akhir sekali, saya mengambil kesempatan ini untuk mengucapkan ribuan terima kasih kepada keluarga saya yang sentiasa memberikan sokongan moral kepada saya.

Sekian, terima kasih.

SUSUNAN KANDUNGAN

	MUKA SURAT
PENGHARGAAN	ii
JADUAL KANDUNGAN	iii
SENARAI JADUAL	x
SENARAI RAJAH	xv
ABSTRAK	xxii
ABSTRACT	xxiv

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pengenalan dan Latar Belakang Penyelidikan	1
1.2 Isu-isu Dan Masalah-masalah Yang Terlibat	5
1.3 Hipotesis Kajian	6
1.4 Objektif Kajian	7
1.5 Skop Kajian	9
1.6 Metodologi Kajian	9

BAB 2

LATAR BELAKANG KONKRIT RINGAN

2.1 Pengenalan	14
2.2 Komposisi Kimia Dalam Konkrit Ringan	15
2.2.1 Kandungan Bahan Kimia Dalam Simen	15
2.2.2 Campuran Air Ke Dalam Simen Portland	17

2.3	Campuran Konkrit Ringan	17
2.4	Agregat	19
2.4.1	Gentian Kelapa	21
2.4.2	Gentian Sisal	22
2.4.3	Gentian Tebu	23
2.4.4	Gentian Buluh	24
2.4.5	Gentian Jerami	25
2.4.6	Gentian Polipropilena	26
2.4.7	Polisterena	27
2.5	Sifat-sifat Konkrit Ringan	32
2.5.1	Ketumpatan Dan Kekuatan Mampat	32
2.5.2	Kekuatan Tegangan dan Modulus Kerosakan Struktur	33
2.5.3	Modulus Kekenyalan	35
2.5.4	Pengecutan Fabrik	36
2.5.4.1	Keretakan	38
2.5.5	Penebatan Terma	40
2.5.5.1	Konduktiviti Terma	41
2.5.5.2	Nilai Kekonduksian Terma	42
2.5.6	Penebatan Dan Penyerapan Bunyi	45
2.5.7	Perlindungan Daripada Api	46
2.5.8	Ketahanlasakan	48
2.5.9	Penyerapan Air	49
2.5.10	Tembusan Air Hujan	50

2.6 Kesan-Kesan Campuran	51
--------------------------	----

BAB 3

PEMBINAAN DENGAN KONKRIT RINGAN

3.1 Pengenalan	55
3.2 Pengawalan Penggunaan Agregat Dalam Konkrit Ringan	57
3.3 Kesesuaian Agregat Ringan Untuk Konkrit Tertulang	59
3.4 Penyelidikan Dalam Konkrit Ringan	61
3.5 Konkrit Ringan Dalam Praktis	64
3.5.1 Dinding	65
3.5.2 Panel Konkrit Paratuang	66
3.5.3 Jambatan	69
3.5.4 Komposit	70
3.5.5 Kapal	71
3.5.6 Bangunan Bertingkat-tingkat	71
3.5.7 Bangunan-Bangunan Lain	73
3.5.8 Pembinaan Dinding Konkrit Tuang Di-Situ	74
3.5.9 Lapisan Lepa	75
3.6 Konkrit Ringan Di Negara-Negara Membangun	78
3.7 Kebaikan Dan Keburukan Konkrit Ringan	82
3.7.1 Kebaikan	83
3.7.2 Keburukan	86
3.8 Ekonomi Konkrit Ringan	88

3.9	Penilaian Konkrit Ringan	94
-----	--------------------------	----

BAB 4

METODOLOGI KAJIAN

4.1	Pengenalan	96
4.2	Penyediaan Sampel Konkrit	98
4.2.1	Contoh Pengiraan	98
4.2.2	Campuran Konkrit	100
4.2.3	Pemadatan Konkrit	103
4.2.3.1	Cara-Cara Pemadatan	104
4.3	Pengawetan Konkrit	110
4.3.1	Pengawetan Di Udara	112
4.3.2	Pengawetan Wap Di Bawah Tekanan Rendah	113
4.3.3	Pengawetan Wap Di Bawah Tekanan Tinggi	114
4.3.4	Pengawetan Di Dalam Air	116
4.4	Pengujian Konkrit	117
4.5	Kawalan Kualiti	127
4.5.1	Kawalan Kualiti Dengan Statistik	128
4.5.2	Penggunaan Teori Taburan Normal Untuk Pengeluaran Konkrit	132
4.5.2.1	Penilaian Kekuatan Min Dan Sisihan Piawai Secara Matematik	133
4.5.2.2	Penilaian Min Dan Sisihan Piawai Secara	133

Anggaran Analitikal

4.5.3	Margin Rekabentuk Campuran Dan Kekuatan Ciri	134
4.5.4	Sistem Kawalan Kualiti	135
4.5.5	Rekabentuk Carta Kawalan	136
4.5.6	Lain-lain Sistem Kawalan Kualiti	137
4.6	Analisis Data Dengan Statistik	137

BAB 5

KONKRIT CAMPURAN POLISTERENA

5.1	Pengenalan	141
5.2	Kuantiti Campuran	142
5.3	Jumlah Kandungan Air Setelah Campuran Dihasilkan	142
5.4	Ketumpatan Basah Campuran	144
5.5	Ketumpatan Kering Campuran	146
5.6	Kekuatan Lentur	151
5.7	Kekuatan Mampat	155
5.8	Pengujian Kecutan Kering	159
5.9	Pengujian Halaju Denyut Ultrasonik	163

BAB 6

KONKRITCAMPURAN POLISTERENA DAN SERBUK ALUMINIUM

6.1	Pengenalan	169
6.2	Kuantiti Campuran	170

6.3	Jumlah Kandungan Air Setelah Campuran Dihasilkan	170
6.4	Ketumpatan Basah Campuran	172
6.5	Ketumpatan Kering Campuran	173
6.6	Kekuatan Lentur	178
6.7	Kekuatan Mampat	182
6.8	Pengujian Kecutan Kering	186
6.9	Pengujian Halaju Denyut Ultrasonik	190

BAB 7

KONKRIT CAMPURAN SERBUK KAYU

7.1	Pengenalan	196
7.2	Kuantiti Campuran	196
7.3	Jumlah Kandungan Air Setelah Campuran Dihasilkan	197
7.4	Ketumpatan Basah Campuran	199
7.5	Ketumpatan Kering Campuran	200
7.6	Kekuatan Lentur	204
7.7	Kekuatan Mampat	208
7.8	Pengujian Kecutan Kering	211
7.9	Pengujian Halaju Denyut Ultrasonik	214
7.10	Perbandingan Ketiga-Tiga Konkrit Ringan Penyelidikan	218
7.10.1	Perbandingan Ketumpatan	219
7.10.2	Perbandingan Kekuatan Lentur	220
7.10.3	Perbandingan Kekuatan Mampat	222
7.10.4	Perbandingan Kecutan Kering	224
7.10.5	Perbandingan Halaju Denyut Ultrasonik	226

BAB 8
KESIMPULAN DAN CADANGAN

8.1 Rumusan	228
8.2 Kesimpulan	245
8.3 Cadangan Kajian Lanjutan	248
RUJUKAN	251
LAMPIRAN	
Lampiran 1 Pengiraan Kuantiti Campuran Konkrit	256
Lampiran 2 Pengiraan Agregat Campuran	259
Lampiran 3 Pengiraan Jumlah Kandungan Air Setelah Campuran konkrit Dihasilkan	262
Lampiran 4 Data-Data Kekuatan Mampat	265

SENARAI JADUAL

MUKA SURAT

Jadual 1.1	Jadual program kerja	10
Jadual 2.1	Kandungan bahan kimia dalam simen Portland yang ditetapkan BS 12	16
Jadual 2.2	Jenis dan gred agregat	20
Jadual 2.3	Sifat-sifat gentian kelapa	21
Jadual 2.4	Sifat-sifat gentian sisal	22
Jadual 2.5	Sifat-sifat gentian tebu	23
Jadual 2.6	Sifat-sifat gentian buluh	24
Jadual 2.7	Sifat-sifat gentian jerami	25
Jadual 2.8	Perbandingan gas-gas kimia yang dibebaskan oleh polisterena dan kayu	30
Jadual 2.9	Sifat fizikal dan mekanikal biji polisterena	31
Jadual 2.10	Terma konduktiviti untuk konkrit	43
Jadual 2.11	Beban api dan rintangan api	47
Jadual 3.1	Penebatan Terma Untuk Lapisan Lepa Konkrit Ringan	76
Jadual 3.2	Ringkasan anggaran kos rekabentuk	93
Jadual 4.1	Pemalar kawalan statistik	134

Jadual 5.1	Jumlah jisim yang diperlukan untuk campuran	142
Jadual 5.2	Jumlah air yang diperlukan dalam campuran	143
Jadual 5.3	Ketumpatan basah konkrit dengan campuran polisterena	145
Jadual 5.4	Ketumpatan konkrit campuran polisterena	146
Jadual 5.5	Kekuatan lentur konkrit campuran polisterena	151
Jadual 5.6	Kekuatan mampat kiub-kiub konkrit campuran polisterena	156
Jadual 5.7	Keputusan pengujian kecutan kering	160
Jadual 5.8	Keputusan pengujian halaju denyut ultrasonik	164
Jadual 6.1	Jumlah jisim yang diperlukan untuk campuran konkrit	170
Jadual 6.2	Jumlah air yang diperlukan dalam campuran	171
Jadual 6.3	Ketumpatan basah konkrit campuran polisterena dan serbuk aluminium	172
Jadual 6.4	Ketumpatan konkrit campuran polisterena dan serbuk aluminium	174
Jadual 6.5	Kekuatan lentur konkrit campuran polisterena dan serbuk aluminium	178

Jadual 6.6	Kekuatan mampat kiub-kiub konkrit campuran polisterena dan serbuk aluminium	182
Jadual 6.7	Keputusan pengujian kecutan kering	187
Jadual 6.8	Keputusan pengujian halaju denyut ultrasonik	191
Jadual 7.1	Jumlah jisim yang diperlukan untuk campuran	197
Jadual 7.2	Jumlah air yang diperlukan dalam campuran	197
Jadual 7.3	Ketumpatan basah konkrit dengan campuran serbuk kayu	199
Jadual 7.4	Ketumpatan konkrit campuran serbuk kayu	201
Jadual 7.5	Kekuatan lentur konkrit campuran serbuk kayu	205
Jadual 7.6	Kekuatan mampat kiub-kiub konkrit campuran serbuk kayu	208
Jadual 7.7	Keputusan pengujian kecutan kering	212
Jadual 7.8	Keputusan pengujian halaju denyut ultrasonik	215
Jadual 7.9	Perbandingan ketumpatan ketiga-tiga konkrit penyelidikan	219
Jadual 7.10	Perbandingan kekuatan lentur ketiga-tiga konkrit penyelidikan	221
Jadual 7.11	Perbandingan kekuatan mampat konkrit-konkrit penyelidikan	223

Jadual 7.12	Perbandingan nilai pengecutan konkrit-konkrit penyelidikan	225
Jadual 7.13	Perbandingan halaju denyut ultrasonik konkrit-konkrit penyelidikan	226
Jadual 8.1	Ringkasan penurunan ketumpatan konkrit dengan kandungan polisterena	228
Jadual 8.2	Ringkasan peningkatan peratusan kekuatan lentur dan kekuatan mampat mengikut hayat pengawetan konkrit polisterena	230
Jadual 8.3	Ringkasan kekuatan lentur dan kekuatan mampat yang dicapai mengikut kandungan polisterena	231
Jadual 8.4	Ringkasan peratus pengecutan konkrit berbanding dengan kandungan polisterena	232
Jadual 8.5	Ringkasan peratus penurunan halaju denyut ultrasonik mengikut kandungan polisterena	233
Jadual 8.6	Ringkasan penurunan ketumpatan konkrit dengan kandungan polisterena dan serbuk aluminium	234
Jadual 8.7	Ringkasan kekuatan lentur dan kekuatan mampat yang dicapai konkrit polisterena dan serbuk aluminium	235
Jadual 8.8	Ringkasan peratus peningkatan kekuatan lentur dan kekuatan mampat mengikut hayat konkrit	237

Jadual 8.9	Ringkasan peratus pengecutan konkrit berbanding dengan kandungan polisterena	238
Jadual 8.10	Ringkasan peratus penurunan halaju denyut ultrasonik konkrit mengikut kandungan	239
Jadual 8.11	Ringkasan penurunan ketumpatan konkrit dengan kandungan serbuk kayu	240
Jadual 8.12	Ringkasan peratus peningkatan kekuatan lentur dan kekuatan mampat mengikut hayat konkrit	241
Jadual 8.13	Ringkasan kekuatan lentur dan kekuatan mampat yang dicapai konkrit serbuk kayu	242
Jadual 8.14	Ringkasan peratus pengecutan konkrit berbanding kandungan serbuk kayu	243
Jadual 8.15	Ringkasan peratus penurunan halaju denyut ultrasonik konkrit serbuk kayu mengikut kandungan	244

SENARAI RAJAH

MUKA SURAT

Rajah 1.1	Kekubah konkrit yang dibina daripada konkrit ringan	3
Rajah 1.2	Pembinaan struktur kekubah konkrit ringan	3
Rajah 1.3	Panel konkrit menggunakan gentian kaca	4
Rajah 1.4	Perbezaan antara konkrit biasa dengan konkrit berudara	8
Rajah 1.5	Rumusan metodologi kajian	13
Rajah 2.1	Struktur kimia tiga jenis konkrit ringan	15
Rajah 2.2	Polisterena yang sudah dikembangkan	32
Rajah 2.3	Cara pengaliran haba pada sesuatu pepejal	41
Rajah 2.4	Contoh “ <i>hot plate apparatus</i> ” yang digunakan untuk mengukur kekonduksian terma	44
Rajah 2.5	Contoh pengujian rintangan api	48
Rajah 2.6	Contoh pancutan air hujan tiruan	51
Rajah 3.1	“ <i>The Pantheon</i> ” yang menggunakan agregat <i>pumice</i>	57

Rajah 3.2	Contoh panel konkrit ringan paratuang	69
Rajah 3.3	Contoh jambatan yang dibina dengan konkrit ringan di Jerman	70
Rajah 3.4	Bangunan BMW di Jerman yang menggunakan konkrit ringan untuk pembinaannya	72
Rajah 3.5	Makmal penyelidikan nukler fizik di Oxford	74
Rajah 3.6	Lepaan papak lantai bumbung dengan konkrit beragregat <i>leca</i> di hospital Bishop's Stortford, England	77
Rajah 3.7	Blok asrama di IKM, Balik Pulau, Pinang	81
Rajah 3.8	Penggunaan blok konkrit berudara di bangunan pusat pelajar, IKM, Balik Pulau	81
Rajah 3.9	Blok surau di IKM, Balik Pulau	82
Rajah 3.10	Contoh papak konkrit ringan yang digunakan di IKM, Balik Pulau	82
Rajah 4.1	<i>Tilting drum mixer</i>	101
Rajah 4.2	Campuran menjadi rapuh akibat kekurangan air	101
Rajah 4.3	Alat penimbang elektronik	102
Rajah 4.4	Acuan-acuan besi keluli yang telah	103

digriskan

Rajah 4.5	Meja penggetar elektrik	107
Rajah 4.6	Konkrit yang tidak sempurna akibat pepadatan yang tidak sempurna	107
Rajah 4.7	Contoh konkrit yang sempurna	108
Rajah 4.8	Kiub-kiub sampel konkrit yang diawet di dalam air	116
Rajah 4.9	Prisma sampel konkrit yang diawet di dalam air	116
Rajah 4.10	Alat PUNDIT	118
Rajah 4.11	Prosedur untuk melakukan pengujian halaju denyut ultrasonik bagi silinder	118
Rajah 4.12	Prosedur untuk melakukan pengujian halaju denyut ultrasonik bagi prisma konkrit	119
Rajah 4.13	Mesin “ <i>ELE auto test</i> ”	120
Rajah 4.14	Contoh butang-butang digital mesin	121
Rajah 4.15	Contoh pengujian mampat kiub konkrit	122
Rajah 4.16	Mesin “ <i>ELE auto test</i> ” untuk pengujian lentur prisma konkrit	123

Rajah 4.17	Pengujian kekuatan lentur	124
Rajah 4.18	Daya yang dikenakan semasa pengujian kekuatan lentur	124
Rajah 4.19	Panjang prisma konkrit setelah putus	125
Rajah 4.20	Mikrometer pengujian kecutan kering	126
Rajah 4.21	Lengkung taburan normal	129
Rajah 4.22	Ciri-ciri lengkung taburan normal	131
Rajah 4.23	Graf taburan normal dengan kebarangkalian Z	139
Rajah 5.1	Biji polisterena	141
Rajah 5.2	Nisbah air simen	143
Rajah 5.3	Ketumpatan basah konkrit campuran polisterena	145
Rajah 5.4	Ketumpatan kering konkrit berbanding hayat	147
Rajah 5.5	Ketumpatan kering konkrit berbanding kandungan polisterena	149
Rajah 5.6	Kekuatan lentur konkrit berbanding hayat	152
Rajah 5.7	Kekuatan lentur konkrit berbanding kandungan polisterena	154

Rajah 5.8	Kekuatan mampat kiub konkrit polisterena berbanding hayat	156
Rajah 5.9	Kekuatan mampat kiub konkrit polisterena berbanding kandungan polisterena	158
Rajah 5.10	Keputusan kecutan kering	161
Rajah 5.11	Halaju denyut ultrasonik berbanding kandungan polisterena	165
Rajah 5.12	Halaju denyut ultrasonik berbanding hayat konkrit	167
Rajah 6.1	Serbuk aluminium	169
Rajah 6.2	Nisbah air simen	171
Rajah 6.3	Ketumpatan basah konkrit campuran polisterena dan serbuk aluminium	173
Rajah 6.4	Ketumpatan kering konkrit berbanding hayat konkrit	174
Rajah 6.5	Ketumpatan konkrit berbanding kandungan polisterena	176
Rajah 6.6	Kekuatan lentur konkrit berbanding hayat	179
Rajah 6.7	Kekuatan lentur konkrit berbanding kandungan polisterena	180

Rajah 6.8	Kekuatan mampat kiub konkrit polisterena dan serbuk aluminium berbanding hayat	183
Rajah 6.9	Kekuatan mampat kiub konkrit polisterena dan serbuk aluminium berbanding kandungan polisterena	185
Rajah 6.10	Pengujian kecutan kering untuk konkrit campuran polisterena dan serbuk aluminium	188
Rajah 6.11	Pengujian halaju denyut ultrasonik berbanding kandungan polisterena	192
Rajah 6.12	Pengujian halaju denyut ultrasonik berbanding hayat konkrit	194
Rajah 7.1	Serbuk kayu	196
Rajah 7.2	Nisbah air simen	198
Rajah 7.3	Ketumpatan basah konkrit campuran serbuk kayu	200
Rajah 7.4	Ketumpatan konkrit berbanding hayat	201
Rajah 7.5	Ketumpatan konkrit berbanding kandungan serbuk kayu	203
Rajah 7.6	Kekuatan lentur konkrit berbanding hayat	205
Rajah 7.7	Kekuatan lentur konkrit berbanding kandungan serbuk kayu	207

Rajah 7.8	Kekuatan mampat konkrit serbuk kayu berbanding hayat	209
Rajah 7.9	Kekuatan mampat konkrit berbanding kandungan serbuk kayu	210
Rajah 7.10	Pengujian kecutan kering konkrit serbuk kayu	213
Rajah 7.11	Halaju denyut ultrasonik berbanding kandungan serbuk kayu	216
Rajah 7.12	Halaju denyut ultrasonik berbanding hayat konkrit	217
Rajah 7.13	Perbandingan ketumpatan 28 hari ketiga-tiga jenis konkrit ringan	220
Rajah 7.14	Perbandingan kekuatan lentur konkrit-konkrit berusia 28 hari	221
Rajah 7.15	Perbandingan kekuatan mampat konkrit-konkrit berusia 28 hari	223
Rajah 7.16	Perbandingan kecutan kering konkrit-konkrit 10% bahan tambahan ringan	225
Rajah 7.17	Perbandingan halaju denyut konkrit-konkrit 10% bahan tambahan ringan	227

ABSTRAK

Konkrit ringan merupakan bahan binaan yang penting pada masa kini. Oleh yang demikian, penyelidikan perlu menerokai bidang ini. Tujuan utama penyelidikan ini ialah untuk menyelidiki konkrit ringan yang mempunyai ketumpatan yang rendah serta kekuatan yang tinggi. Walau bagaimanapun, kajian lepas menunjukkan konkrit yang berketumpatan rendah tidak mempunyai kekuatan yang tinggi. Selain itu, masalah juga timbul kerana konkrit-konkrit daripada bahan dan teknik campuran yang sama memberikan keputusan yang berbeza-beza. Oleh yang demikian, kaedah statistik digunakan untuk mengurangkan ralat-ralat yang wujud. Konkrit dengan tambahan ringan seperti polisterena, serbuk aluminium dan serbuk kayu telah digunakan sebagai bahan ujian dalam penyelidikan ini.

Keputusan menunjukkan polisterena mempunyai keupayaan yang baik untuk dijadikan bahan tambahan ringan dalam konkrit ringan. Misalnya, konkrit dengan campuran polisterena telah menunjukkan kekuatan yang tinggi pada usia 180 hari. Kekuatan mampat yang dapat mencapai sehingga 36 N/mm^2 membolehkan konkrit ini tergolong sebagai konkrit ringan yang kuat. Selain itu, ketumpatan konkrit yang kurang daripada 2000 kg/m^3 sebelum pengawetan menepati sasaran penyelidikan serta nilai kekecutan keringan yang rendah menunjukkan struktur konkrit ini mempunyai kekuatan dan kepadatan yang mencukupi sebagai bahan binaan konkrit.

Penambahan serbuk aluminium dan polisterena ke dalam konkrit telah menyebabkan penurunan ketumpatan dengan banyak. Misalnya, dengan tambahan 10% polisterena dan 0.1% serbuk aluminium, ketumpatannya menurun sebanyak 14%-17%. Walau bagaimanapun, konkrit polisterena dan serbuk aluminium tidak mempunyai kekuatan

yang tinggi. Selain itu, nilai kekecutan keringan yang tinggi iaitu hampir 0.1% menunjukkan struktur konkrit polisterena dan serbuk aluminium tidak kuat. Nilai kekecutan keringan yang tinggi menyebabkan konkrit ini mudah retak, dan oleh itu, konkrit polisterena dan serbuk aluminium hanya sesuai untuk pembinaan dinding-dinding tidak tanggung beban.

Serbuk kayu yang bersifat penyerap air menyebabkan konkrit dengan tambahannya tidak dapat menunjukkan kekuatan yang tinggi. Ini kerana serbuk kayu yang telah menyerap air tidak dapat membuat ikatan yang kuat dengan simen. Walau bagaimanapun, konkrit ini mempunyai ketumpatan yang rendah, iaitu kurang daripada 2000 kg/m^3 dan nilai kekecutan keringan yang sederhana iaitu 0.02%-0.09% sesuai menjadi bahan tambahan untuk panel-panel konkrit ringan tidak tanggung beban.

Memandangkan polisterena merupakan bahan tambahan ringan berpotensi, maka kajian berlanjutan perlu dijalankan. Demi menerokai konkrit serbuk aluminium dengan lebih mendalam, ia dicadangkan bertambah dengan peratusan yang lebih kecil misalnya 0.01% ke dalam konkrit campuran simen-pasir. Serbuk kayu yang bersifat menyerap air pula bukan merupakan agregat baik. Walau bagaimanapun, masalah ini dapat diatasi dengan menambahkan kalsium klorida ke dalam serbuk kayu untuk rawatannya supaya mengurangkan kesan keracunan terhadap proses penghidratan simen.

THE DEVELOPMENT OF LIGHTWEIGHT CONCRETE USING POLYSTYRENE, ALUMINUM POWDER AND WOOD PARTICLE IN CIVIL ENGINEERING

ABSTRACT

Lightweight concrete is one of the important materials for construction. The objective of this study is to determine a suitable formulation to produce a low density with high strength concrete. However, the previous results showed that the concrete with low densities did not have higher strength. Besides, it is more difficult to consider the experimental data because the concrete with similar materials and mixing techniques reveal a different sets of results. However, the statistical analysis was used to reduce erroneous data. The concrete with polystyrene beads, aluminum powder and wood particle have been used as testing materials in this research.

The results revealed that polystyrene beads was a potential material for lightweight aggregate in concrete. The polystyrene concrete gives higher compressive strength in 180 days i.e. 36 N/mm^2 . The high strength properties of the concrete enable it to be categorized as high strength lightweight concrete. In addition, it achieved the research objective of having a density lower than 2000 kg/m^3 before curing. The lower drying shrinkage also showed that the concrete had a strong and compacted structure suitable for use in concrete construction.

Aluminum powder and polystyrene beads added into concrete reduce the density of the concrete. With additional of 10% polystyrene and 0.1% aluminum powder into the mixture of the concrete would achieve a reduction 14%-17% in the concrete density.

However, the concrete with polystyrene beads and aluminum powder concrete did not show high mechanical properties. The higher drying shrinkage also indicate the weak bond exist within the structure which lead to cracking. Thus, the polystyrene beads and aluminum powder concrete are only suitable for use in non-load bearing structure, such as block walls.

The high water absorption characteristics in wood particle reduce the ability of the concrete to achieve high strength in compression. This is because the wood particle absorbed water cannot provide strong bond with cement particles. However, the concrete have lower density of lower than 2000 kg/m^3 and a medium high drying shrinkage of 0.02%-0.09% suitable for use in construction of non-load bearing lightweight concrete panes.

Since the experimental results showed the desirable quality of the polystyrene concrete, a continuous research would be recommended. In order to explore the potential of the aluminum powder concrete, it is recommended that the future experiment to be limited to a lower percentage, e.g. 0.01% of aluminum powder. The wood particle that shows water absorption characteristics is not a good aggregate material. Therefore, the problem was resolved by adding of calcium chloride into wood particles in order to reduce the negative effect on the cement hydration process.

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pengenalan Dan Latar Belakang Penyelidikan

Secara umumnya, konkrit merupakan hasil daripada campuran simen, pasir, agregat dan air. Demi menambahkan kekuatan konkrit, pengilang menambahkan bar-bar keluli sebagai tetulang ke dalam campuran konkrit.

Sekiranya kita meninjau projek-projek pembinaan pada masa ini, kita mendapati konkrit luas digunakan. Sebagai contoh, tiang-tiang serta rasuk sesebuah bangunan telah menggunakan konkrit sebagai bahan binaannya. Ini ialah kerana konkrit yang mengandungi bar-bar tetulang amat kuat dan tahan lasak.

Sekiranya kita membandingkan tiang-tiang serta rasuk konkrit dengan tiang-tiang serta rasuk besi bergalvani (GI), kita mendapati kedua-dua bahan binaan ini mempunyai kekuatan yang hampir sama. Selain itu, konkrit lebih bersifat rintangan api jika dibandingkan dengan besi bergalvani.

Dari segi kosnya, walaupun penggunaan konkrit agak mahal, tetapi ia lebih menjimatkan jikalau dibandingkan dengan penggunaan besi bergalvani. Ini kerana menurut undang-undang Jabatan Bomba, rasuk atau tiang yang menggunakan besi bergalvani mesti ditutupi dengan satu atau dua lapisan papan rintangan api. Keadaan ini menyebabkan kos pembinaan menjadi lebih tinggi sekiranya menggunakan besi bergalvani.

Walaupun bagaimanapun, penggunaan konkrit bukan lagi terhad kepada pembinaan tiang, rasuk, cerucuk serta asas sahaja. Pada masa ini, para penyelidik telah berjaya mencipta panel-panel dinding yang menggunakan konkrit sebagai bahan binaan. Selain itu, penggunaan blok-blok konkrit juga menggantikan penggunaan bata untuk pembinaan dinding bangunan.

Walaupun penggunaan konkrit sangat luas, tetapi ia merupakan satu bahan binaan yang sangat berat. Keadaan ini menyebabkan para pembina menghadapi masalah semasa mengendalikan kerja-kerja pembinaan. Misalnya, panel-panel dinding yang sangat berat sukar dipasang tanpa jentera. Selain itu, ia memerlukan tenaga pekerja yang ramai untuk menguruskannya.

Oleh yang demikian, kajian dan penyelidikan terhadap konkrit perlu dilaksanakan. Penemuan terhadap konkrit yang lebih ringan daripada konkrit biasa digelar konkrit ringan. Sekiranya kita meninjau di luar negara, umpamanya negara maju, mereka telah berjaya menemui penggunaan konkrit ringan sebagai bahan binaan. Misalnya kekubah konkrit seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.1 dan Rajah 1.2 yang menggunakan konkrit ringan telah dibina di Eropah.



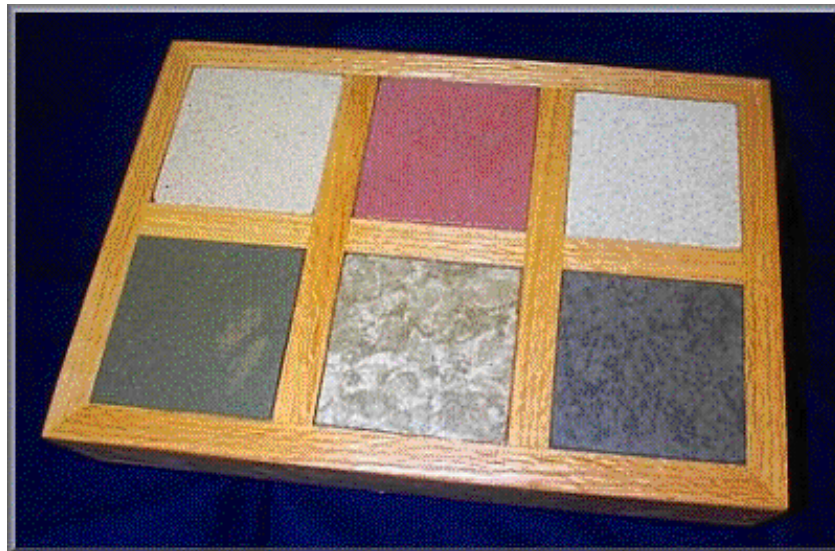
Rajah 1.1 Kekubah konkrit yang dibina daripada konkrit ringan



Rajah 1.2 Pembinaan struktur kekubah konkrit ringan

Memandangkan salah satu komposisi yang mempengaruhi kekuatan konkrit ialah bahan campurannya, maka para penyelidik telah membuat kajian dan penyelidikan terhadap bahan campurannya. Tujuannya ialah supaya menghasilkan konkrit yang lebih ringan daripada konkrit biasa. Hasil daripada itu, terdapat banyak bahan tambahan telah dikenalpasti oleh para penyelidik bahawa ia dapat menghasilkan sesuatu campuran konkrit yang lebih ringan.

Di antara bahan tambahan biasa yang boleh ditemui di negara kita ialah biji polistirena, gentian-gentian semula jadi dan sebagainya. Walau bagaimanapun, di luar negara, terdapat pelbagai bahan tambahan yang telah digunakan untuk konkrit ringan. Misalnya, terdapat sebuah pengilang telah membuat pengiklanan di laman web untuk memperkenalkan konkrit ringan yang menggunakan bahan campuran gentian kaca. Rajah 1.3 menunjukkan konkrit gentian kaca yang diiklankan.



Rajah 1.3 Contoh panel konkrit menggunakan gentian kaca

1.2 Isu-isu Dan Masalah-Masalah Yang Terlibat

Memandangkan konkrit sangat berguna kepada manusia dan ia telah membawa manfaat kepada manusia sejagat, maka satu kajian dan penyelidikan yang lebih mendalam perlu diadakan untuk menghasilkan konkrit ringan yang dapat memanfaatkan industri pembinaan. Walau bagaimanapun, masalah-masalah turut timbul semasa penyelidikan.

Misalnya, untuk konkrit ringan, terutamanya blok-blok konkrit, kekuatan sama ada kekuatan tegang ataupun kekuatan mampat bergantung kepada ketumpatannya. Ini menunjukkan blok konkrit yang semakin ringan, kekuatannya semakin berkurangan. Oleh yang demikian, menyelidiki sesuatu bahan tambahan yang dapat meringankan konkrit tetapi dapat mengekal kekuatannya amat sukar.

Pada masa sekarang, jikalau kita meninjau pembuatan konkrit ringan, terutamanya blok konkrit ringan yang menggunakan tambahan buih, ia dapat dikategorikan sebagai 'mahal'. Walaupun konkrit jenis ini sangat ringan, tetapi kos bahannya adalah tinggi kerana penghasilan buih tersebut memerlukan bahan kimia serta mesin yang mahal untuk menghasilkannya. Oleh itu, pemilihan bahan tambahan berdasarkan kos bahan menjadi isu yang penting dalam penyelidikan ini.

Selain daripada kos bahan yang tinggi, julat ketumpatan serta kekuatan yang berbeza-beza juga menyebabkan kesukaran dalam penyelidikan ini. Jikalau kita meninjau satu kumpulan ataupun satu longgok blok-blok konkrit yang dihasilkan dengan kuantiti bahan campuran yang sama serta menggunakan teknik pemadatan dan

pengawetan yang sama, kita mendapati bahawa blok-blok konkrit tersebut tidak kesemuanya mempunyai ketumpatan ataupun kekuatan yang sama. Selain itu, terdapat pula segelintir blok konkrit yang mempunyai kekuatan yang jauh berbeza dengan blok-blok konkrit yang lain.

Masa yang panjang diambil untuk menuangkan konkrit setelah siap dibancuh juga menjadikan ketumpatan dan kekuatan konkrit berbeza-beza walaupun dalam satu bancuhan yang sama.

Kandungan lembapan dalam pasir yang diuji turut menyebabkan keputusan yang didapati menjadi tidak tepat. Misalnya, pasir yang dibasahkan oleh air hujan menyebabkan air berlebihan semasa bancuhan konkrit. Air berlebihan akan menyebabkan konkrit yang terbentuk lebih lemah.

1.3 Hipotesis Kajian

Hipotesis penyelidikan adalah berdasarkan hasil-hasil penyelidikan yang lalu serta teori-teori yang sedia ada:

- a) Konkrit yang mempunyai kekuatan yang tinggi juga mempunyai ketumpatan yang tinggi. Oleh yang demikian, konkrit yang bertumpatan rendah tidak mempunyai kekuatan yang tinggi.

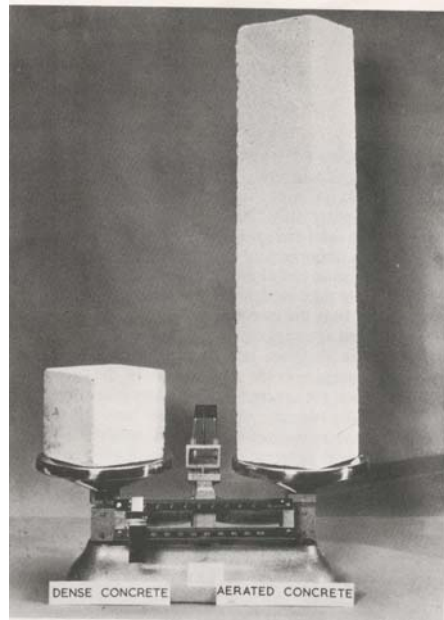
- b) Kekuatan sesuatu konkrit adalah berdasarkan jenis dan kandungan bahan tambahan yang digunakan. Misalnya, bahan tambahan yang semakin banyak merendahkan kekuatan konkrit ringan tetapi bahan tambahan ringan yang semakin banyak menurunkan ketumpatan konkrit ringan.
- c) Kekuatan dan ketumpatan konkrit ringan meningkat mengikut usia.
- d) Kekuatan sesuatu konkrit juga bergantung kepada nisbah air yang digunakan. Misalnya, campuran air yang terlalu banyak akan menyebabkan kekuatan konkrit menurun. Campuran air yang kurang pula menyebabkan konkrit menjadi tidak sempurna dan strukturnya juga lemah.
- e) Pengecutan konkrit ringan meningkat mengikut usia konkrit ringan tersebut

1.4 Objektif Kajian

Memandangkan konkrit ringan sungguh bermanfaat kepada manusia sejagat, maka, satu kajian dan penyelidikan yang lebih mendalam untuk konkrit ringan perlu diadakan supaya menghasilkan konkrit ringan yang bermutu tinggi dan seterusnya memanfaatkan industri binaan.

Objektif utama bagi kajian ini ialah mengkaji dan menyelidiki sesuatu bahan tambahan yang dapat meringankan campuran konkrit dan seterusnya menghasilkan konkrit yang berketumpatan rendah. Dalam pada itu, ketumpatan seboleh-bolehnya

kurang daripada 2000 kg/m^3 . Mengikut CEB (1977), konkrit ringan mempunyai ketumpatan antara $1800 - 2000 \text{ kg/m}^3$. Rajah 1.4 menunjukkan prisma konkrit ringan yang besar mempunyai berat yang sama seperti satu kiub konkrit biasa yang kecil.



Rajah 1.4 Perbezaan antara konkrit biasa dengan konkrit berudara (Short & Kinniburgh,1978)

Objektif kedua kajian ini bertujuan untuk menghasilkan konkrit ringan yang mempunyai kekuatan yang tinggi. Ini kerana kekuatan sesuatu konkrit adalah sangat penting dalam pembinaan. Kajian ini lebih menumpukan kekuatan mampat serta kekuatan lentur konkrit ringan yang dikaji. Selain itu, kekuatan konkrit ringan dapat menentukan sama ada ia sesuai dijadikan blok kepada dinding, panel dinding ataupun sesuai menjadi struktur bangunan.

1.5 Skop Kajian

Kajian ini hanya tertumpu kepada bahan-bahan yang boleh didapati di pasaran untuk menilai kemampuannya terhadap kekuatan dan prestasi dalam kegunaan struktur pada masa ini. Selain dari kemudahan untuk mendapatkan bahan kajian, kos bahan ini juga lebih kompetitif dan ia amat bertepatan dengan matlamat kajian iaitu menghasilkan bahan tempatan yang lebih bermutu.

Penyelidikan ini juga akan menumpukan kepada campuran terutamanya nisbah simen dan pasir, dan nisbah air kepada simen yang akan ditentukan. Ini bertujuan untuk mendapatkan kadar campuran yang sesuai dengan keperluan kekuatan dan ketahanan jangka panjang.

Oleh yang demikian, terdapatnya tiga jenis bahan campuran yang dikenal pasti untuk menjalankan kajian ini iaitu serbuk kayu, biji polistirena dan serbuk aluminium.

1.6 Metodologi Kajian

Dalam menjalankan penyelidikan ini, terdapatnya beberapa peringkat, iaitu peringkat permulaan, peringkat penyediaan sampel, peringkat pengumpulan data, peringkat penganalisan dan pemprosesan data serta peringkat akhiran.

Peringkat awalan ini merupakan peringkat permulaan kajian. Pada peringkat ini, jadual program kerja akan ditetapkan. Ini bertujuan untuk memberikan satu garis panduan masa untuk menjalankan kajian ini.

Jadual 1.1 Program kajian

Program Kajian	
Program	Catatan
Pencarian bahan yang sesuai untuk projek penyelidikan yang bakal dijalankan.	Penyelidikan telah dilakukan dengan mencari bahan-bahan di perpustakaan dan Internet. Perbincangan dengan penyelia dilakukan.
Mencari serta mendapatkan bahan yang telah dipastikan untuk penyelidikan.	Mencari atau membeli bahan-bahan yang akan digunakan untuk tujuan pengujian (testing)
Penyediaan Sampel Ujian	
Pengujian Makmal:	Pengujian makmal serta mengutipan data-data yang diperolehi. Sebelum pengujian makmal, maklumat-maklumat seperti prosedur, formula yang berkaitan akan diperolehi terlebih dahulu.
Penulisan Tesis	Penulisan mengenai pendahuluan, abstrak serta pengasingan bab-bab yang berkaitan.

Setelah itu, kerja-kerja pencarian mengenai bahan-bahan campuran pengujian dilakukan. Setelah bahan-bahan pengujian misalnya bahan-bahan campuran yang bakal digunakan telah siap dicari, maka kerja-kerja bancuhan dilakukan.

Sebelum kerja-kerja bancuhan dilakukan, pengiraan mengenai nisbah simen / pasir serta nisbah simen / air ditentukan. Selain itu, kerja-kerja membersihkan acuan juga dilakukan. nisbah simen / pasir akan ditetapkan sebagai 1 : 2.5, manakala nisbah simen / air akan ditetapkan kepada 1 : 0.4. Sekurang-kurangnya 3 sampel akan disediakan untuk untuk setiap set pengujian. Ini untuk mengelakkan berlakunya ralat.

Setelah setiap sampel telah siap, iaitu setelah konkrit tersebut dikeluarkan daripada acuannya, maka ia akan ditimbang dan diawet dalam air untuk tempoh 7 hari, 28 hari, 90 hari serta 180 hari.

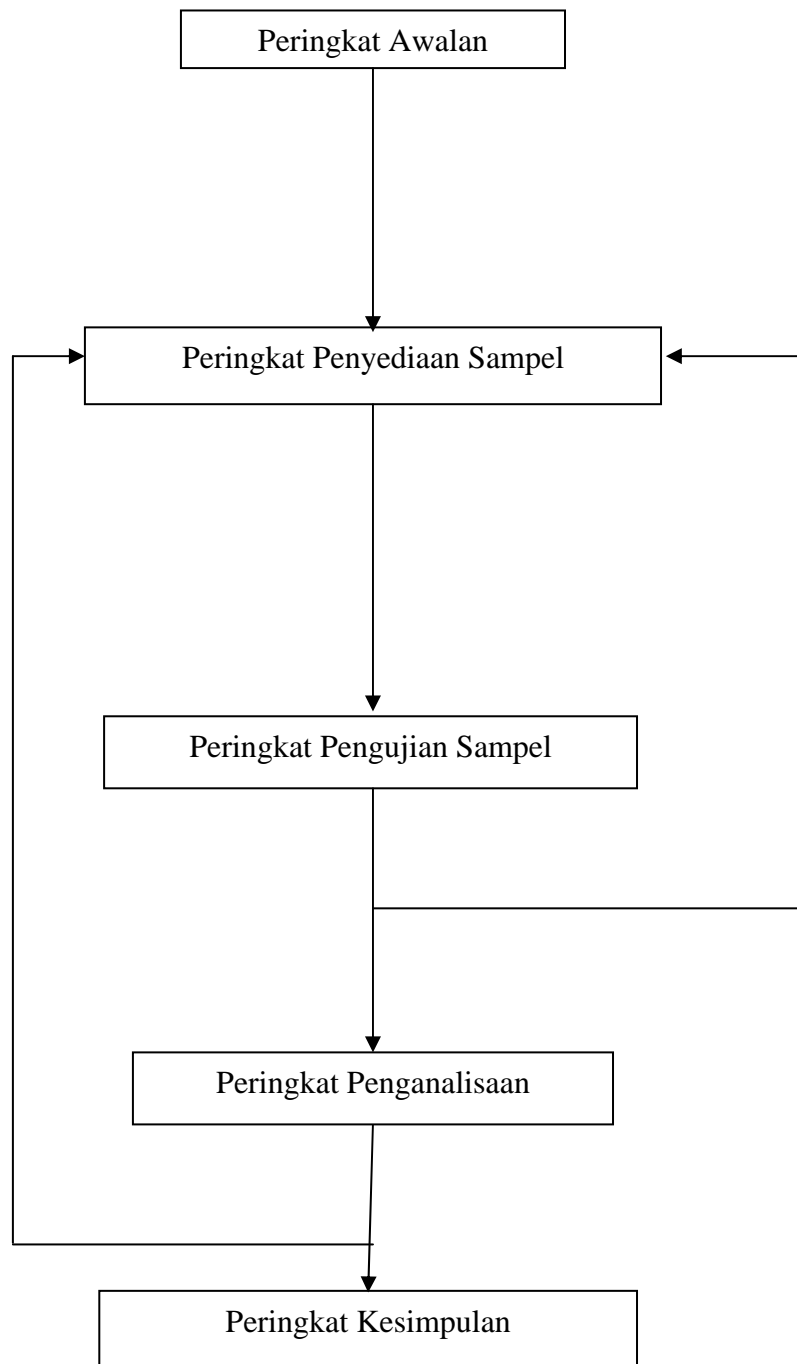
Pada peringkat ini, sampel-sampel yang telah tamat tempoh pengawetan dikeluarkan dan ditimbang semula. Setelah penimbangan, sampel-sampel tersebut akan dijalankan ujian untuk kekuatan mampat dan kekuatan lentur. Sebenarnya, terdapatnya sebahagian sampel yang tidak diawet kerana ia akan dijadikan sebagai sampel untuk pengujian kecutan kering serta pengujian halaju denyut ultrasonik. Bacaan tersebut diambil setiap hari sehingga tempoh 90 hari. Setelah data-data telah diperolehi, maka ia akan dikumpulkan dan seterusnya disusun.

Walau bagaimanapun, sekiranya terdapatnya sampel-sampel yang tidak konsisten, misalnya, sampel-sampel yang terdiri daripada peratusan bahan campuran yang sama tetapi mempunyai berat atau kekuatan yang jauh berbeza daripada yang lain, maka, sampel tersebut dianggap gagal dan disediakan semula.

Setelah itu, data-data yang diperolehi dijadualkan dan seterusnya graf-graf akan diplotkan. Penganalisan mengenai sifat-sifat bagi bahan campuran yang tidak sama dibuat. Misalnya perjalanan graf, sama ada berkadar ataupun tidak dan seterusnya.

Selain itu, penganalisan dengan menggunakan kaedah statistik dengan mengira min dan sisihan piawai supaya memastikan sampel-sampel tersebut adalah konsisten.

Pada peringkat akhiran, satu rumusan serta kesimpulan dibuat untuk menunjukkan sifat-sifat bagi sampel-sampel yang disediakan tersebut. Dalam pada itu, cadangan masa depan dibuat untuk melanjutkan penyelidikan terhadap bahan tambahan. Secara umumnya, metodologi kajian projek penyelidikan ini dapat dirumuskan seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 1.5



Rajah 1.5 Rumusan metodologi kajian

BAB 2

LATAR BELAKANG KONKRIT RINGAN

2.1 Pengenalan

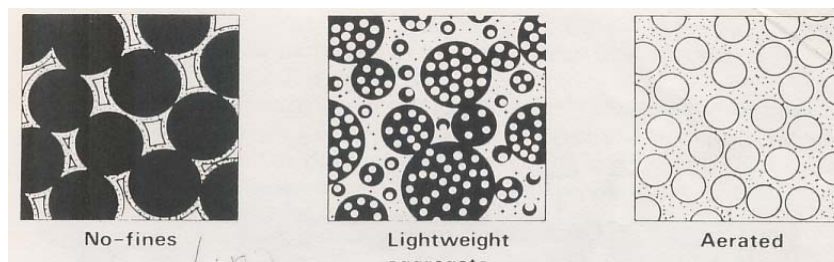
Konkrit merupakan hasil daripada campuran simen, pasir, air dan agregat. Begitu juga dengan konkrit ringan, ia juga hasil daripada campuran simen, pasir dan agregat. Yang berbeza, ialah konkrit ringan menggunakan bahan tambahan yang lebih ringan misalnya, serbuk aluminium, polisterena, serbuk kayu, gentian-gentian seperti gentian kaca dan lain-lain lagi.

Menurut teori (CEB, 1977), konkrit ringan mempunyai ketumpatan antara 1800–2000 kg/m³ jika dibandingkan dengan konkrit biasa iaitu antara 2240–2400kg/m³.

Selain itu, sebahagian konkrit ringan tidak sesuai dijadikan struktur binaan kerana kekuatannya yang terhad. Keadaan ini disebabkan konkrit ringan mempunyai ketumpatan yang lebih rendah, dan biasanya ia tidak berkeupayaan untuk menanggung beban yang lebih berat seperti yang boleh ditanggung oleh konkrit biasa.

2.2 Komposisi Kimia Dalam Konkrit Ringan

Secara umumnya, bahan utama dalam kesemua konkrit ialah simen. Simen inilah yang berperanan untuk mengikatkan bahan-bahan lain supaya membentuk satu kombinasi konkrit yang sempurna. Tidak hairanlah jikalau kita menyatakan bahawa kebanyakan sifat konkrit ringan misalnya, keretakan akibat kering, rintangan tindak balas kimia dan sifat-sifat lain amat dipengaruhi oleh simen. Rajah 2.1 menunjukkan contoh struktur dalaman konkrit yang menunjukkan susunan zarah-zarah simen dan agregat yang terdapat pada konkrit ringan.



Rajah 2.1 Struktur kimia tiga jenis konkrit ringan (Short & Kinniburgh , 1978)

2.2.1 Kandungan Bahan Kimia Dalam Simen

Menurut *Short & Kinniburgh* (1978), simen terdiri daripada dua golongan besar iaitu:

- a) Simen Portland yang terdiri daripada Simen Portland Biasa, Simen Portland Mudah Kering, Simen Berhaba Rendah, Simen Rintangan Sulfat dan Simen Portland Putih.

- b) Simen Bukan Portland yang terdiri daripada Simen Beralumina Tinggi dan simen-simen khas yang lain.

Daripada sumber yang sama, diketahui bahawa simen Portland merupakan campuran dua bahan kimia yang utama iaitu kalsium karbonat (CaCO_3) dalam bentuk kapur dengan Aluminium Silikat ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) yang berbentuk liat. Campuran kemudiannya dikenakan suhu yang sangat tinggi (1000°C) dan campuran tersebut akan bertindak balas dan menjadi Kalsium Silikat ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) dan Kalsium Aluminat ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$). Kehadiran air (H_2O) dalam kedua-dua bahan kimia ini akan membentuk satu bahan kimia kompleks yang akan memberikan kekuatan seperti dalam sifat simen Portland. Jadual 2.1 menunjukkan kandungan peratus bahan-bahan kimia yang terdapat dalam Simen Portland.

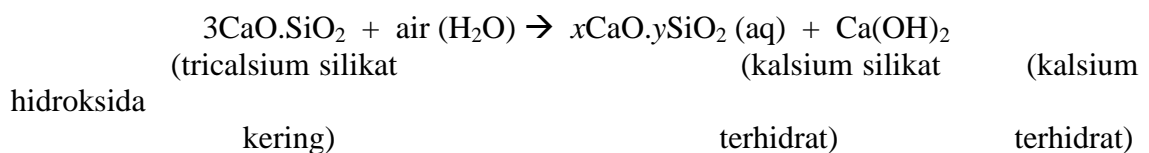
Jadual 2.1 Kandungan bahan kimia dalam simen portland yang ditetapkan BS 12(1978)

Bahan Kimia	Peratus Daripada Berat Simen (%) (Piawaian BS 12)
Trikalsium Silikat ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)(C_3S)	54.1
Dikalsium Silikat ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)(C_2S)	16.6
Trikalsium Aluminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)(C_3A)	10.8
Tetrakasium Aluminoferik ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$)(C_4AF)	9.1
Gypsum dan lain-lain	9.4

2.2.2 Campuran Air Ke Dalam Simen Portland

Kehadiran air dalam simen Portland akan mengakibatkan berlakunya dua proses tindak balas kimia utama iaitu proses hidrolisis dan juga proses penghidratan.

Dalam proses hidrolisis, air (H₂O) akan menyebabkan bahan kimia yang kering dalam simen misalnya Kalsium Silikat menjadikannya dua bahan kimia terhidrat. Perkara ini ditunjukkan dalam persamaan di bawah:



(Short & Kinniburgh, 1978)

2.3 Campuran Konkrit Ringan

Secara amnya, campuran konkrit ringan adalah hasil daripada campuran simen, air dan agregat ringan. Campuran yang berpatutan akan mempengaruhi kekuatan konkrit tersebut. Misalnya, campuran agregat ringan yang terlalu banyak akan menyebabkan kekuatan konkrit tersebut menjadi lebih lemah. Selain itu, campuran air juga akan mempengaruhi kekuatan konkrit ringan tersebut.

Secara umumnya, nisbah air / simen sangat mempengaruhi kekuatan sesuatu campuran konkrit ringan. Selain itu, nisbah air/simen akan dikategorikan kepada dua iaitu “nisbah air / simen bebas” dan “nisbah jumlah air / simen”.

Nisbah air / simen bebas membawa maksud jumlah berat air yang telah digunakan mengikut kadar berat simen yang juga digunakan untuk campuran sesuatu konkrit ringan. Walau bagaimanapun, berat air tersebut adalah bebas daripada serapan oleh agregat dalam campuran konkrit ringan tersebut. Misalnya, terdapat agregat yang boleh menyerap air seperti serbuk kayu, gipsum, serabut kelapa dan sebagainya. Keadaan ini menyebabkan jumlah air yang digunakan menjadi lebih banyak jika dibandingkan dengan menggunakan agregat yang tidak menyerap air seperti polisterena, buih dan sebagainya.

$$\frac{\text{Berat air campuran} - \text{Berat air yang diserap oleh agregat}}{\text{Berat Simen campuran}} = \text{Nisbah Simen Air Bebas}$$

Manakala nisbah jumlah air / simen membawa maksud jumlah berat air yang telah digunakan dengan kadar berat simen yang juga telah digunakan untuk campuran sesuatu konkrit ringan. Bagi agregat yang bersifat menyerap air, maka air yang digunakan untuk mencampurkan konkrit akan menjadi lebih banyak.

$$\frac{\text{Jumlah Berat Air Dalam Campuran}}{\text{Berat Simen Campuran}} = \text{Nisbah Jumlah Air / Simen}$$

Kandungan air yang berlebihan akan menyebabkan sesuatu campuran konkrit ringan menjadi kurang kuat (Neville, 1994). Sebaliknya, kandungan air yang kurang juga akan menyebabkan sesuatu konkrit ringan ringan menjadi tidak sempurna.

2.4 Agregat

Secara umumnya, agregat merupakan bahan tambahan kepada simen portland untuk menjadikan konkrit bertambah kuat. Walau bagaimanapun, dalam konkrit ringan, agregat bukan berfungsi sebagai bahan penambahan kekuatan, malah ia merupakan bahan untuk menjadikan konkrit tersebut lebih ringan. Pemilihan agregat dalam sesuatu konkrit akan mempengaruhi bukan sahaja kekuatan konkrit, malah ketumpatannya.

Salah satu daripada sifat penting untuk agregat dalam konkrit ialah gred agregat tersebut. Misalnya, agregat terdiri daripada yang bersaiz kecil hingga bersaiz besar. Agregat yang berlainan akan membawa kesan yang berlainan kepada sesuatu konkrit. Gred-gred sesuatu agregat merupakan salah satu daripada faktor yang penting untuk menunjukkan keberkesanan sesuatu konkrit. Selain itu, agregat juga membawa kesan kepada ketumpatan konkrit. Ini disebabkan konkrit yang menggunakan agregat yang bersaiz besar akan menambahkan isipadu konkrit. Jadual 2.2 telah menunjukkan jenis konkrit ringan yang menggunakan jenis agregat serta grednya.

Jadual 2.2 Jenis dan gred agregat (Short & Kinniburgh, 1978)

Jenis Konkrit Ringan	Jenis Agregat	Gred Agregat
Konkrit Tanpa Agregat Halus	-Agregat semula jadi mengikut BS 882 - <i>Blast-furnace slag</i> mengikut BS 1165 -Batu Hangus mengikut BS 1165 - lain-lain agregat ringan mengikut BS 3979	Bahan bersaiz antara 10mm hingga 20mm
Konkrit Beragregat Ringan (Pemadatan Berbahagian)	-Batu Hangus mengikut BS 1165 - <i>Foamed Slag</i> mengikut BS 877 - <i>Expanded clay, syal, slate, Vermiculite & Perlite</i> - <i>Sintered Pulverised-fuel ash & pumice</i> mengikut BS 3797	Mungkin campuran daripada agregat halus dan kasar
Konkrit Beragregat Ringan Berstruktur (Pemadatan Sepenuhnya)	- <i>Foamed slag</i> mengikut BS 877. - <i>Expanded clay, syal & slate & Sintered Pulverised-fuel ash</i> mengikut BS 3797	Gred campuran sama ada 14mm atau 20mm
Konkrit Berudara	-Agregat halus semula jadi. - <i>Raw pulverised-fuel ash</i> - <i>Ground slag</i> dan Syal Berbakar.	Agregat yang telah dihaluskan misalnya serbuk yang berukuran 75µm

2.4.1 Gentian Kelapa

Kelapa sebenarnya bertumbuh banyak terutamanya di Asia dan Timur Afrika. Bahagian kulit kelapa yang telah masak menghasilkan gentian kelapa yang kuat. Biasanya gentian kelapa yang berukuran 150 – 350mm panjang yang mengandungi serabut-serabut yang kuat serta selulosanya sesuai dijadikan bahan campuran dalam konkrit ringan. Biasanya, gentian kelapa, hasil daripada pengekstrakan dimana kandungannya yang dipanggil “*tannin*” dan “*pectins*” dilarutkan dalam air dan terurai. Bahan yang tertinggal iaitu bahagian serabut yang keras akan diproses melalui proses mekanikal. Sifat-sifat gentian kelapa adalah seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.3.

Jadual 2.3 Sifat-sifat gentian kelapa (Swamy, 1984)

Kegravatian (m/s^2)	1.12 – 1.15
Ketumpatan (kg/m^3)	145 – 280
Panjang Gentian (mm)	50 – 350
Diameter Gentian (mm)	0.1 – 0.4
Kekuatan Tegangan (N/mm^2)	120 – 200
Modulus Kekenyalan (KN/mm^2)	19 – 26
Kekenyalan (%)	10 – 25
Kadar Penyerapan air (%)	130 – 180

2.4.2 Gentian Sisal

Sisal merupakan sejenis gentian yang dihasilkan oleh daun daripada pokok-pokok tropikal. *Hawkins* (2001) telah memberikan maksud sisal “*rope-fiber made from the leaves of a tropical plants*”. Sisal merupakan salah satu gentian yang kuat di kalangan gentian semula jadi. Oleh yang demikian, ia telah dijadikan sebagai bahan campuran konkrit ringan sejak awal lagi. Dalam industri bangunan di Australia, sisal digunakan sebagai tetulang kepada papan plaster gipsum. Selain itu, di Sweden, terdapat kumpulan-kumpulan penyelidik serta firma-firma binaan yang telah menggunakan gentian sisal sebagai agregat semula jadi kepada konkrit. Sifat-sifat gentian sisal adalah seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.4.

Jadual 2.4 Sifat-sifat gentian sisal (Swamy, 1984)

Ketumpatan (kg/m^3)	700 – 800
Kekuatan Tegangan (N/mm^2)	280 – 568
Modulus Kekenyalan (KN/mm^2)	13 – 26
Kekenyalan (%)	3 – 5
Kadar Penyerapan air (%)	60 – 70

2.4.3 Gentian Tebu

Gentian tebu merupakan hasil daripada sisa-sisa tebu setelah ia dihancurkan serta airnya telah dikeringkan. Swamy (1984) telah memberikan maksud “sisa” seperti berikut:

“Bagasse is the fibrous residue which is obtained in cane-sugar production after extraction of the juice from the cane stalks”.

Tebu juga dikategorikan dalam kumpulan rumput. Ia boleh membesar sehingga 6m tinggi. Walau bagaimanapun, ia juga bergantung kepada spesis dan kawasan tanamannya. Tebu tumbuh di kawasan tropika yang berkelembapan tinggi. Setelah tebu dimasukkan ke dalam mesin, ia akan menghasilkan sisa yang mengandungi gentian prima (50 – 55%), kelembapan (15 – 20%), sisa hancur (30 – 35%) dan sedikit bahan terlarut yang lain (4 – 6%). Walau bagaimanapun, ia juga bergantung kepada jenis tebu, kematangan tebu, teknik-teknik penuaian serta kecekapan mesin pengisar yang digunakan. Sifat-sifat gentian tebu adalah seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.5.

Jadual 2.5 Sifat-sifat gentian tebu (Swamy, 1984)

Kegravatian (m/s^2)	1.2 – 1.3
Panjang Gentian (mm)	50 – 300
Diameter Gentian (mm)	0.2 – 0.4
Kandungan air (%)	15 – 20
Kekuatan Tegangan (N/mm^2)	170 – 290
Modulus Kekenyalan (KN/mm^2)	15 – 19
Kadar Penyerapan air (%)	70 – 75

2.4.4 Gentian Buluh

Buluh merupakan sejenis tumbuhan yang tumbuh rapat di kawasan tropika. Oleh yang demikian, buluh sangat banyak tumbuh di Asia Tenggara. Buluh juga tergolong dalam kumpulan 'rumput'. Buluh dapat tumbuh setinggi hingga 15 meter. Kebiasaannya, buluh mempunyai diameter di antara 25 hingga 100mm di bahagian batangnya. Gentian buluh kuat dari segi mampatannya. Walau bagaimanapun, buluh sangat lemah dari segi kekenyalannya dan ia juga merupakan bahan penyerapan air yang tinggi. Rumusan sifat-sifat gentian buluh adalah seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.6.

Jadual 2.6 Sifat-sifat gentian buluh (Swamy, 1984)

Kegravatian (m/s^2)	1.52
Min ketebalan (mm)	1.24
Min luas keratan (mm^2)	0.1
Kekuatan Tegangan (N/mm^2)	442
Modulus Kekenyalan (KN/mm^2)	37
Kekuatan Ikatan (pengujian pada 5.8% bebas udara) (N/mm^2)	1.96
Slip modulus, (N/mm^2)	77.66