

**KESAN KEADAAN PENGAWETAN DAN PENDEDAHAN  
TERHADAP PRESTASI KEKUATAN DAN CIRI-CIRI  
KETAHANLASAKAN KONKRIT MENGANDUNGI  
METAKAOLIN**

**oleh**

**MUHD NORHASRI BIN MUHD SIDEK**

**Tesis yang diserahkan untuk memenuhi keperluan bagi  
Ijazah Sarjana Sains Penyelidikan**

**DISEMBER 2009**

## **PENGHARGAAN**

Dengan nama Allah yang maha perkasa lagi maha bijaksana, yang menentukan perjalanan waktu dan perkembangan ilmu manusia di muka buminya yang bersifat sementara ini. Selawat dan salam ke atas junjungan Nabi Muhammad s.a.w di atas usaha dan kesungguhannya membawa cahaya iman dan ilmu dalam kehidupan manusia.

Alhamdulillah, syukur ke hadrat Allah S.W.T di atas kasih sayang, keizinan dan rahmatnya maka tesis ini telah berjaya disiapkan seperti yang seadanya. Adalah diharapkan segala ilmu yang diperolehi sepanjang menyiapkan tesis ini akan dapat dimanfaatkan dan digolongkan dalam amalan soleh yang diredai oleh Allah S.W.T, insya Allah

Terlebih dahulu, jutaan terima kasih diucapkan kepada penyelia utama yang dihormati Profesor Madya Dr. Megat Azmi bin Megat Johari di atas tunjuk ajar, komitmen dan pengorbanan yang diberikan kepada saya sepanjang tempoh penyiapan projek ini. Juga tidak dilupakan kepada penyelia bersama iaitu Dr. Mohd Zaid bin Yusof yang turut membantu dan menegur segala kesilapan sepanjang saya menyiapkan tesis ini dan juga semua pensyarah Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam, Universiti Sains Malaysia dan juga kakitangan sokongan yang banyak membantu sepanjang tempoh pengajian saya. Semoga segala jasa baik yang telah diberikan akan dibalas oleh Allah S.W.T.

Di sini juga saya ingin merakamkan penghargaan kepada pihak Universiti Teknologi Mara Perlis dan juga Fakulti Kejuruteraan Awam UiTM Perlis di atas kerjasama dan membantu membiayai sebahagian daripada kajian saya ini. Tidak dilupakan kepada

kakitangan makmal Kejuruteraan Awam UiTM Perlis dan juga orang perseorangan yang telah banyak membantu. Hanya Allah sahaja yang dapat membalas jasa mereka semua.

Penghargaan yang tak terkira saya hadiahkan buat isteri tercinta, Hamidah binti Osman dan anak tersayang Muhammad Nabil Hakimi di atas kesabaran, pengorbanan, kefahaman dan kesetiaan yang terpaksa ditempuhi bersama sepanjang pengajian saya ini. Merekalah yang memberikan saya semangat ketika saya dalam keadaan terumbang – ambing ketika menyiapkan tesis ini.

Tak lupa buat ayahanda, Muhd Sidek bin Nordin, bonda, Habibah binti Bahari dan keluarga tercinta. Tidak dilupakan kepada keluarga mertua saya Allahyarham Tuan Haji Osman bin Awang dan Hajjah Siti Aminah binti Ijam. Terima kasih di atas sokongan dan dorongan yang telah kalian berikan. Semoga Allah juga yang memberikan balasan yang terbaik untuk kita semua.

Akhir kata, semoga segala ilmu yang sedikit ini dapat dikongsi bersama untuk kesejahteraan kita jua hendaknya. Terima kasih sekali lagi untuk semua dan segala yang buruk dan kelemahan itu datang daripada saya sendiri dan segala yang baik itu datangnya daripada Allah S.W.T. Wassalam.

.

# SUSUNAN KANDUNGAN

	Muka surat
<b>PENGHARGAAN</b>	ii
<b>JADUAL KANDUNGAN</b>	iv
<b>SENARAI JADUAL</b>	x
<b>SENARAI RAJAH</b>	xi
<b>ABSTRAK</b>	xvi
<b>ABSTRACT</b>	xvii
<b>BAB SATU : PENGENALAN</b>	
1.0 Pengenalan	1
1.1 Pernyataan masalah	7
1.2 Objektif dan skop kajian	7
1.3 Susun atur tesis	8
<b>BAB DUA : TINJAUAN LITERATUR</b>	
2.0 Pengenalan	10
2.1 Bahan – bahan mentah untuk konkrit PC-MK	10
2.1.1 Simen	11
2.1.2 Batu baur kasar dan halus	12
2.1.3 Air	13
2.1.4 Bahan superpemplastikan	13
2.2 Pozolan	14
2.2.1 Tindakbalas pozolan dalam konkrit	15
2.2.2 Tindakan agen pengisi	17
2.3 Metakaolin	17
2.3.1 Definasi kaolin	18
2.3.2 Pembentukan kaolin	19
2.3.3 Penghasilan metakaolin	20
2.3.4 Komposisi kimia dalam kaolin	20
2.3.5 Pengkalsinan metakaolin	21

2.3.6	Ciri-ciri fizikal metakaolin	22
2.3.6.1	Kesan metakaolin terhadap masa pemejalan	22
2.3.6.2	Kesan metakaolin terhadap soundness	23
2.3.6.3	Kesan metakaolin terhadap keboleherjaan	24
	Konkrit	
2.3.6.4	Kesan MK terhadap penghidratan	25
2.3.7	Kesan MK terhadap ciri-ciri mekanikal konkrit	26
2.3.7.1	Kesan MK terhadap kekuatan mampatan	27
2.3.7.2	Kesan MK terhadap kekuatan lenturan	28
2.3.8	Kesan MK terhadap ketahananlasakan konkrit	29
2.3.8.1	Kesan MK terhadap keliangan konkrit	31
2.3.8.2	Kesan MK terhadap kebolehtelapan konkrit	33
2.3.8.3	Kesan MK terhadap kadar resapan air	35
2.4	Kesan keadaan pendedahan terhadap konkrit	36
2.4.1	Pengaruh pendedahan kepada air	37
2.4.2	Kesan pendedahan kepada udara	38
2.4.3	Kesan keadaan pendedahan kepada air pada suhu tinggi	39
2.4.4	Kesan pendedahan kepada sulfat	40
2.4.4.1	Serangan berdasarkan pembentukkan ettringite dan gypsum	42
2.4.4.2	Serangan berdasarkan pembentukkan thaumasite	42
2.5	Ringkasan	43

### **BAB TIGA : BAHAN, PENYEDIAAN KONKRIT, CIRI-CIRI SIMEN DAN KONKRIT SEGAR**

3.0	Pengenalan	46
3.1	Bahan mentah	46
3.1.1	Simen	46
3.1.2	Batu baur halus	47
3.1.3	Batu baur kasar	47
3.1.4	Air	48
3.1.5	Metakaolin	48

3.1.6	Bahan superpemplastikan	48
3.2	Rekabentuk bancuhan konkrit	49
3.3	Cara kerja dan bancuhan konkrit	50
3.4	Kaedah pendedahan konkrit	51
3.4.1	Kaedah pendedahan piawai	52
3.4.2	Kaedah pendedahan udara	53
3.4.3	Kaedah pendedahan sulfat	53
3.4.4	Kaedah pendedahan suhu tinggi	54
3.5	Cara kerja dan bancuhan untuk ciri-ciri fizikal	55
3.5.1	Ujian soundness	55
3.5.1.1	Kaedah ujian soundness	55
3.5.2	Ujian masa pemejalan	55
3.5.2.1	Kaedah ujian masa pemejalan	56
3.5.3	Ujian keboleherjaan konkrit	56
3.5.3.1	Kaedah ujian keboleherjaan konkrit	56
3.6	Keputusan dan perbincangan	57
3.6.1	Kesan MK terhadap soundness	57
3.6.2	Kesan MK terhadap konsistensi piawai	58
3.6.3	Kesan MK terhadap masa pemejalan	60
3.6.4	Kesan MK terhadap keboleherjaan konkrit	63
3.7	Ringkasan	66

## **BAB EMPAT : PRESTASI KEKUATAN**

4.0	Pengenalan	68
4.1	Kekuatan mampatan	68
4.1.1	Kaedah ujian kekuatan mampatan konkrit	68
4.2	Kekuatan lenturan	70
4.2.1	Kaedah ujian kekuatan lenturan konkrit	71
4.3	Keputusan dan perbincangan	72
4.3.1	Kesan MK terhadap kekuatan mampatan	72
4.3.2	Kesan MK terhadap kekuatan lenturan	76

4.3.3 Pengaruh keadaan pendedahan terhadap prestasi Kekuatan	78
4.3.3.1 Kesan MK terhadap prestasi kekuatan konkrit pada pendedahan udara	78
4.3.3.2 Kesan pendedahan udara terhadap prestasi kekuatan konkrit	82
4.3.3.3 Kesan MK terhadap prestasi kekuatan konkrit pada pendedahan suhu tinggi	85
4.3.3.4 Kesan pendedahan suhu tinggi terhadap prestasi kekuatan konkrit	89
4.3.3.5 Kesan MK terhadap prestasi kekuatan konkrit pada pendedahan larutan sulfat	93
4.3.3.6 Kesan pendedahan larutan sulfat terhadap prestasi kekuatan konkrit	98
4.3.3.7 Perbandingan keseluruhan bagi kesan keadaan pendedahan yang berlainan terhadap prestasi kekuatan	100
4.3.4 Hubungan diantara kekuatan mampatan dan kekuatan Lenturan	105
4.3.5 Ringkasan	106

## **BAB LIMA : CIRI-CIRI KETAHANLASAKAN KONKRIT**

5.0 Pengenalan	110
5.1 Keliangan dan penyerapan air konkrit	111
5.1.1 Kaedah ujian keliangan dan penyerapan air konkrit	112
5.2 Kebolehtelapan konkrit	115
5.2.1 Kaedah ujian kebolehtelapan konkrit	115
5.3 Keputusan dan perbincangan	118
5.3.1 Kesan MK terhadap keliangan dan penyerapan air	118
5.3.2 Kesan MK terhadap kebolehtelapan konkrit	123
5.3.3 Pengaruh keadaan pendedahan terhadap prestasi ketahananlasakan konkrit	125

5.3.3.1	Kesan MK terhadap prestasi ketahananlasakan konkrit pada pendedahan udara	125
5.3.3.2	Kesan pendedahan udara terhadap prestasi ketahananlasakan konkrit	131
5.3.3.3	Kesan MK terhadap prestasi ketahananlasakan konkrit pada pendedahan suhu tinggi	133
5.3.3.4	Kesan pendedahan suhu tinggi terhadap prestasi ketahananlasakan konkrit	141
5.3.3.5	Kesan MK terhadap prestasi ketahananlasakan konkrit pada pendedahan larutan sulfat	143
5.3.3.6	Kesan pendedahan larutan sulfat terhadap prestasi ketahananlasakan konkrit	152
5.3.3.7	Hubungan diantara kebolehtelapan dan keliangan konkrit untuk semua keadaan pendedahan	155
5.3.3.8	Hubungan diantara keliangan dan penyerapan air konkrit untuk semua keadaan pendedahan	156
5.3.3.9	Hubungan diantara kebolehtelapan dan penyerapan air konkrit untuk semua keadaan pendedahan	157
5.3.3.10	Hubungan diantara keliangan dan kekuatan mampatan konkrit untuk semua keadaan pendedahan	158
5.3.3.11	Hubungan diantara kekuatan mampatan dan kebolehtelapan untuk semua keadaan pendedahan	159
5.3.3.12	Hubungan diantara kekuatan mampatan dan penyerapan air konkrit untuk semua keadaan pendedahan	160
5.4	Ringkasan	161



**BAB ENAM : KESIMPULAN DAN CADANGAN KAJIAN  
MASA DEPAN**

6.1	Pengenalan	164
6.2	Kesan penggunaan MK ke atas ciri-ciri simen dan keboleherjaan konkrit	165
6.3	Kesan penggunaan MK terhadap prestasi kekuatan	165
6.4	Kesan penggunaan MK terhadap ciri-ciri ketahananlasakan konkrit	166
6.5	Cadangan dan kajian masa depan	168
	<b>SENARAI RUJUKAN</b>	169
	<b>SENARAI PENERBITAN</b>	173

## SENARAI JADUAL

	Muka surat
1.1 Ciri-ciri simen dan beberapa bahan pozolan	5
2.1 Komposisi Kimia OPC dan MK	18
2.2 Pengaruh MK ke atas masa pemejalan	23
2.3 Kesan MK ke atas keboleherjaan konkrit	25
3.1 Bancuhan konkrit	50
3.2 Kesan <i>Soundness</i>	58
3.3 Keputusan Ujian Konsistensi Piawai	59
3.4 Kesan MK terhadap Keboleherjaan Konkrit	65

## SENARAI RAJAH

	Muka surat
1.1 Pengaruh pendedahan suhu tinggi terhadap konkrit	6
1.2 Kesan pendedahan udara terhadap konkrit	6
2.1 Kesan MK ke atas proses penghidratan konkrit	26
2.2 Kesan MK ke atas kekuatan mampatan konkrit	28
2.3 Kesan MK ke atas kekuatan lenturan konkrit	29
2.4 Kesan MK ke atas keliangan konkrit	33
2.5 Kesan sulfat ke atas pengembangan konkrit MK	37
3.1 Keputusan Ujian konsistensi piawai	60
3.2 Keputusan Ujian Masa Pemejalan Awal dan Akhir	61
3.3 Keputusan Ujian Runtuhan	65
4.1 Mesin mampatan konkrit	70
4.2 Mesin kekuatan lenturan	71
4.3 Kesan MK ke atas pembentukan kekuatan mampatan konkrit yang didedahkan kepada air pada suhu bilik	73
4.4 Kekuatan mampatan relatif campuran konkrit yang mengandungi MK berbanding konkrit OPC	73
4.5 Kesan penggunaan MK ke atas kekuatan lenturan	76
4.6 Kekuatan lenturan relatif konkrit yang mengandungi MK berbanding konkrit OPC	77
4.7 Pembentukan kekuatan mampatan campuran konkrit yang didedahkan kepada pendedahan udara	79
4.8 Kekuatan mampatan relatif konkrit yang mengandungi MK pada pendedahan udara	79
4.9 Pengaruh penggunaan MK terhadap kekuatan lenturan bagi konkrit yang didedahkan kepada udara	80
4.10 Kekuatan lenturan relatif konkrit yang mengandungi MK berbanding konkrit OPC pada pendedahan udara	80
4.11 Kekuatan mampatan relatif konkrit yang didedahkan kepada pendedahan udara berbanding pendedahan piawai	83

4.12	Kekuatan lenturan relatif konkrit yang didedahkan kepada pendedahan udara berbanding pendedahan piawai	83
4.13	Kesan penggunaan MK terhadap pembentukan kekuatan mampatan konkrit yang didedahkan kepada air pada suhu tinggi	87
4.14	Kekuatan mampatan relatif konkrit yang mengandungi MK yang didedahkan kepada air pada suhu tinggi	87
4.15	Pengaruh penggunaan MK terhadap kekuatan lenturan bagi konkrit yang didedahkan kepada suhu tinggi	88
4.16	Kekuatan lenturan relatif konkrit yang mengandungi MK yang didedahkan kepada air pada suhu tinggi	89
4.17	Kekuatan mampatan relatif konkrit yang didedahkan kepada pendedahan suhu tinggi berbanding pendedahan piawai	91
4.18	Kekuatan lenturan relatif konkrit yang didedahkan kepada pendedahan suhu tinggi berbanding pendedahan piawai	92
4.19	Kesan penggunaan MK terhadap pembentukan kekuatan mampatan konkrit yang didedahkan kepada larutan sulfat	95
4.20	Kekuatan mampatan relatif konkrit yang mengandungi MK yang didedahkan kepada larutan sulfat	95
4.21	Kesan penggunaan MK terhadap pembentukan kekuatan lenturan konkrit yang didedahkan kepada larutan sulfat	97
4.22	Kekuatan lenturan relatif konkrit yang mengandungi MK yang didedahkan kepada larutan sulfat	97
4.23	Kekuatan mampatan relatif konkrit yang didedahkan kepada larutan sulfat berbanding pendedahan piawai	99
4.24	Kekuatan lenturan relatif konkrit yang didedahkan kepada larutan sulfat berbanding pendedahan piawai	100
4.25	Perbandingan keseluruhan bagi kesan pendedahan untuk kekuatan mampatan pada hari ke 3	101
4.26	Perbandingan keseluruhan bagi kesan pendedahan untuk kekuatan mampatan pada hari ke 7	102
4.27	Perbandingan keseluruhan bagi kesan pendedahan untuk kekuatan mampatan pada hari ke 28	102

4.28	Perbandingan keseluruhan bagi kesan pendedahan untuk kekuatan mampatan pada hari ke 90	103
4.29	Perbandingan keseluruhan bagi kesan pendedahan untuk kekuatan mampatan pada hari ke 180	103
4.30	Perbandingan keseluruhan bagi kesan pendedahan untuk kekuatan mampatan pada hari ke 365	104
4.31	Perbandingan keseluruhan bagi kesan pendedahan untuk kekuatan lenturan pada hari ke 28	104
4.32	Perbandingan keseluruhan bagi kesan pendedahan untuk kekuatan lenturan pada hari ke 180	105
4.33	Perbandingan keseluruhan bagi kesan pendedahan untuk kekuatan lenturan pada hari ke 365	105
4.34	Hubungan diantara kekuatan mampatan dan lenturan untuk semua keadaan pendedahan.	106
5.1	Radas penepuan vakum yang digunakan untuk ujian keliangan dan penyerapan air	114
5.2	Rajah skematik bagi radas penepuan vakum	115
5.3	Radas Kebolehtelapan Gas	118
5.4	Kesan MK ke atas keliangan konkrit yang didedahkan kepada air pada suhu bilik	121
5.5	Keliangan relatif campuran konkrit yang mengandungi MK berbanding konkrit OPC	121
5.6	Kesan penggunaan MK terhadap penyerapan air konkrit	122
5.7	Penyerapan air relatif campuran konkrit yang mengandungi MK berbanding konkrit OPC	122
5.8	Kesan MK ke atas kebolehtelapan konkrit yang didedahkan kepada air pada suhu bilik	124
5.9	Kebolehtelapan relatif campuran konkrit yang mengandungi MK berbanding konkrit OPC	124
5.10	Kesan MK terhadap keliangan konkrit yang didedahkan kepada pendedahan udara	126
5.11	Keliangan relatif konkrit yang mengandungi MK pada pendedahan udara	127

5.12	Kesan MK terhadap penyerapan air campuran konkrit yang didedahkan kepada pendedahan udara	128
5.13	Resapan air relatif konkrit yang mengandungi MK pada pendedahan udara	128
5.14	Kesan MK terhadap kebolehtelapan konkrit yang didedahkan kepada pendedahan udara	130
5.15	Ketelapan relatif konkrit yang mengandungi MK pada pendedahan udara	130
5.16	Keliangan relatif konkrit yang didedahkan kepada pendedahan udara berbanding pendedahan piawai	132
5.17	Resapan air relatif konkrit yang didedahkan kepada pendedahan udara berbanding pendedahan piawai	132
5.18	Kebolehtelapan relatif konkrit yang didedahkan kepada pendedahan udara berbanding pendedahan piawai	133
5.19	Kesan MK terhadap keliangan konkrit yang didedahkan kepada pendedahan suhu tinggi	135
5.20	Keliangan relatif konkrit yang didedahkan kepada pendedahan suhu tinggi	135
5.21	Kesan MK terhadap resapan air konkrit yang didedahkan kepada pendedahan suhu tinggi	137
5.22	Penyerapan air relatif konkrit yang didedahkan kepada air pada suhu tinggi	138
5.23	Kesan MK terhadap kebolehtelapan konkrit yang didedahkan kepada pendedahan suhu tinggi	140
5.24	Kebolehtelapan relatif konkrit yang didedahkan kepada pendedahan suhu tinggi	140
5.25	Keliangan relatif konkrit yang didedahkan kepada pendedahan suhu tinggi berbanding pendedahan piawai	142
5.26	Penyerapan air relatif konkrit yang didedahkan kepada pendedahan suhu tinggi berbanding pendedahan piawai	142
5.27	Kebolehtelapan relatif konkrit yang didedahkan kepada pendedahan suhu tinggi berbanding pendedahan piawai	143
5.28	Kesan MK terhadap keliangan konkrit yang didedahkan kepada pendedahan sulfat	145

5.29	Keliangan konkrit yang didedahkan kepada pendedahan sulfat	146
5.30	Kesan MK terhadap penyerapan air konkrit yang didedahkan kepada pendedahan sulfat	148
5.31	Penyerapan air konkrit yang didedahkan kepada pendedahan sulfat	149
5.32	Pembentukan ketelapan campuran konkrit yang didedahkan kepada pendedahan sulfat	151
5.33	Ketelapan konkrit yang didedahkan kepada pendedahan sulfat	152
5.34	Keliangan relatif konkrit yang didedahkan kepada pendedahan sulfat berbanding pendedahan piawai	153
5.35	Resapan air relatif konkrit yang didedahkan kepada pendedahan sulfat berbanding pendedahan piawai	154
5.36	Kebolehtelapan relatif konkrit yang didedahkan kepada pendedahan sulfat berbanding pendedahan piawai	154
5.37	Hubungan diantara keliangan dan kebolehtelapan konkrit untuk semua keadaan pendedahan	156
5.38	Hubungan diantara keliangan dan resapan air konkrit untuk semua keadaan pendedahan	157
5.39	Hubungan diantara kebolehtelapan dan resapan air konkrit untuk semua keadaan pendedahan	158
5.40	Hubungan diantara kekuatan mampatan dan keliangan konkrit untuk semua keadaan pendedahan	159
5.41	Hubungan diantara kekuatan mampatan dan kebolehtelapan konkrit untuk semua keadaan pendedahan	160
5.42	Hubungan diantara kekuatan mampatan dan penyerapan air konkrit untuk semua keadaan pendedahan	161

# **KESAN KEADAAN PENDEDAHAN DAN PENDEDAHAN TERHADAP PRESTASI KEKUATAN DAN CIRI-CIRI KETAHANLASAKAN KONKRIT MENGANDUNGI METAKAOLIN**

## **ABSTRAK**

Kesan keadaan pendedahan terhadap prestasi kekuatan dan ciri-ciri ketahananlasakan konkrit yang mengandungi metakaolin (MK) telah dikaji. MK telah dihasilkan melalui proses pengkalsinan ke atas kaolin yang didapati daripada sumber tempatan, pada suhu 700°C selama 3 jam. MK telah digunakan sebagai bahan gantian separa terhadap simen Portland biasa (OPC) berasaskan gantian jisim-ke-jisim pada tahap gantian 5, 10 dan 15 %. Nisbah campuran konkrit dikekalkan untuk semua campuran, dengan nisbah air/pengikat yang malar dan dos superpemplastikan yang sama, untuk mengasingkan kesan tahap gantian MK. Sampel-sampel konkrit telah didedahkan kepada keadaan pendedahan yang berbeza, iaitu pendedahan kepada air pada suhu bilik, pendedahan kepada udara, pendedahan kepada air pada suhu tinggi dan pendedahan kepada larutan sulfat. Keputusan kajian menunjukkan penggunaan MK meningkatkan keperluan air simen untuk mencapai konsistensi piawai, mengurangkan potensi simen untuk menjadi unsound dan melambatkan masa pemejalan. Penggunaan MK mengurangkan keboleherjaan konkrit dengan kesan yang lebih ketara pada tahap gantian MK yang lebih tinggi. Penggunaan MK juga meningkatkan kedua-dua kekuatan mampatan dan lenturan untuk semua keadaan pendedahan dengan tahap gantian MK 10 % memberikan peningkatan kekuatan yang tertinggi. Konkrit yang mengandungi MK memaparkan ciri-ciri ketahananlasakan yang lebih baik untuk semua keadaan pendedahan. Berbanding konkrit OPC, konkrit yang mengandungi MK adalah kurang terjejas oleh keadaan pendedahan yang berbeza, dengan konkrit MK10 menunjukkan prestasi kekuatan dan ciri-ciri ketahananlasakan yang superior di dalam semua keadaan pendedahan.



# **EFFECT OF CURING AND EXPOSURE CONDITIONS ON STRENGTH PERFORMANCE AND DURABILITY CHARACTERISTICS OF CONCRETE CONTAINING METAKAOLIN**

## **ABSTRACT**

The effect of exposure conditions on the strength performance and durability characteristics of concrete containing metakaolin (MK) has been investigated. The MK was produced by calcining kaolin obtained from a local source at a temperature of 700°C for 3 hours. The MK was used to partly replace the ordinary Portland cement (OPC) by direct replacement method on mass-for-mass basis at replacement levels of 5, 10 and 15 %. The mix proportions were kept nominally the same, with constant water/binder ratio and the same superplasticiser dosage for all concrete mixes, so as to isolate the effect of MK replacement levels. The concrete samples were exposed to different exposure conditions, namely in water at room temperature, in air, in water at high temperature and in sulfate solution. The tests results show that the inclusion of MK increases the water demand of cement to achieve standard consistency, reduces the potential of cement to become unsound, and retards the setting times. In addition, the effect of MK is to reduce the workability of concrete with greater effect at higher MK replacement level. In term of strength performance, the effect of MK is to enhance both compressive and flexural strength in all exposure conditions with 10 % MK replacement level providing the greatest increase in strength. Similarly, the concrete containing MK seems to exhibit better durability characteristics in all exposure conditions. In comparison to the OPC, concrete containing MK seems to be less affected by the different exposure conditions, with the MK10 concrete exhibiting superior strength performance and durability characteristics in all exposure conditions.

# **BAB 1**

## **PENGENALAN**

### **1.0 Pengenalan**

Konkrit merupakan bahan binaan yang meluas digunakan dalam sektor pembinaan di Malaysia dan juga di dunia. Menurut *Sabir et al* [2001], dipercayai industri konkrit merupakan sumber yang kedua terbanyak dihasilkan di dunia selepas industri air iaitu kira-kira 6 billion tan dihasilkan setiap tahun. Banyak faktor yang menyumbang kepada penggunaan konkrit jika dibandingkan dengan bahan binaan yang lain seperti kayu, besi dan sebagainya. Konkrit dihasilkan daripada campuran beberapa bahan asas yang terdiri daripada batu baur kasar dan halus, simen, air dan juga bahan tambah. Di Malaysia sumber-sumber yang disebutkan tadi boleh diperolehi dalam jumlah yang banyak dan tiada masalah yang akan timbul dalam menghasilkan konkrit secara besar-besaran. Antara sebab konkrit menjadi pilihan utama sebagai bahan pembinaan di Malaysia dan juga di dunia ialah :

- a. Kebolehan konkrit untuk dibentuk mengikut sebarang bentuk yang dikehendaki.
- b. Ketahananlasakan dan memerlukan kadar penyelenggaraan yang minima

[Mindess, 2003]

Simen merupakan bahan asas untuk mengikat segala komponen bahan-bahan mentah untuk menjadikan konkrit padat dan kuat. Banyak kajian telah dan sedang dijalankan untuk mengurangkan penggunaan simen dalam konkrit kerana kos yang

semakin meningkat dan kesan kepada alam sekitar. Kajian yang dilakukan lebih kepada mencari bahan yang mempunyai kandungan bahan kimia yang sama dengan simen seperti pozolan dan lain-lain. Penggunaan simen sebagai bahan pengikat telah dilakukan sejak tahun 1824 di mana teknologi simen Portland telah dihasilkan [Neville, 2002]. Simen terhasil apabila campuran tanah liat dan batu kapur dikisar dan menjalani proses pembakaran pada suhu yang tinggi kira-kira 1500° C untuk menghasilkan satu bahan yang dipanggil batu hangus. Batu hangus tadi akan dikisar bersama-sama gipsum untuk menghasilkan simen [Neville, 2002].

Namun begitu akibat dari penggunaan simen yang semakin meluas di seluruh dunia telah menyebabkan masalah pencemaran kepada dunia. Masalah ini terjadi akibat pencemaran dan pembebasan yang berlebihan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) oleh kilang-kilang yang menghasilkan simen. Masalah ini diburukkan lagi apabila banyak kawasan-kawasan terutamanya yang berbukit telah diletupkan kerana mengandungi kandungan batu kapur yang banyak. Ini terpaksa dilakukan kerana kita sedia maklum bahawa batu kapur merupakan bahan utama dalam penghasilan simen. Disamping itu kawasan yang telah diwartakan sebagai kawasan pelombongan batu kapur ini akan habis sumbernya bila sampai waktu dan sekiranya habis kita akan kehilangan satu lagi bahan galian yang tidak mungkin diperolehi semula.

Akibat daripada masalah-masalah ini banyak kajian telah dijalankan untuk mengurang dan mengatasi masalah ini. Antara kajian yang dijalankan ialah mencari satu bahan yang dapat memberikan kesan yang sama seperti simen iaitu sebagai bahan

pengikat dalam konkrit. Disinilah timbulnya istilah yang disebut seperti alumina, pozolan dan lain-lain yang biasa digunakan dalam industri simen sekarang [Mehta, 1998]. Dengan penggunaan bahan-bahan tersebut dapat mengurangkan masalah yang terhasil akibat penggunaan simen kerana bahan-bahan tersebut digunakan sebagai bahan gantian separa kepada simen. Ditambah lagi kebanyakan bahan-bahan mentah untuk menghasilkan pozolan mudah didapati dan sumber-sumbernya masih belum diterokai secara meluas terutamanya di kawasan Asia khususnya Malaysia.

Bahan pozolan telah lama digunakan dalam industri pembinaan di seluruh dunia. Istilah pozolan bermaksud bahan yang mempunyai kandungan silika dan atau alumina yang tinggi dimana dengan kehadiran air bahan ini akan bertindak secara kimia dengan kalsium hidroksida (CH) dan bertindak sebagai bahan pengikat [Swamy, 1986]. Antara bahan pozolan yang biasa kita dengar ialah wasap silika, jermang relau bagas, abu ringan arang batu dan lain-lain lagi. Kebanyakan bahan pozolan ini bukan sahaja telah berjaya mengurangkan penggunaan simen tetapi sesetengah bahan pozolan telah berjaya memperbaiki kekuatan dan ketahanan lasakan konkrit [Sabir et al, 2001].

Dalam kajian ini, metakaolin telah digunakan kerana ia masih baru di Malaysia dan Malaysia sendiri mempunyai sumber kaolin yang banyak dan belum diterokai secara meluas. Metakaolin terhasil daripada kaolin iaitu sejenis tanah liat putih yang biasa digunakan dalam industri seramik di Malaysia. Menurut *Poon et al* [2003] metakaolin akan mempertingkatkan kekuatan dan ketahanan lasakan konkrit berdasarkan tiga tindakan iaitu sebagai bahan pengisi, mempercepatkan proses penghidratan simen dan tindakbalas

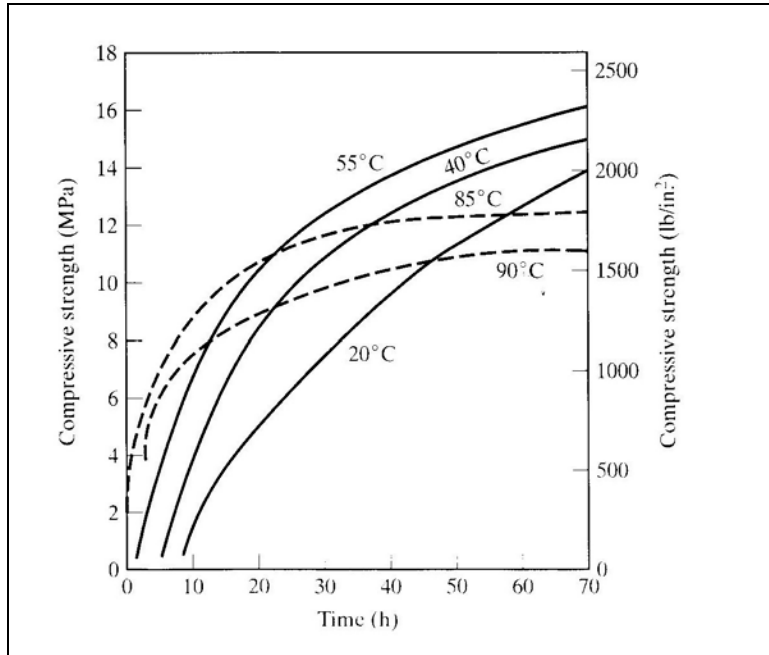
pozolan dengan kalsium hidroksida (CH). Hasil daripada kajian *Wild et al* [1996], menunjukkan penggunaan metakaolin dengan kadar penggantian yang optima akan memberikan kesan kekuatan yang lebih tinggi daripada simen biasa dan ini menunjukkan bahawa bahan ini mempunyai potensinya untuk digunakan dalam industri konkrit.

Seperti yang kita ketahui konkrit sememangnya bahan yang sudah terkenal kerana kekuatan dan ketahananlasakkannya, namun begitu konkrit juga akan mula mengalami kerosakan atau kemerosotan pada tempoh waktu yang lama. Antara masalah yang akan dihadapi oleh konkrit ialah serangan-serangan daripada agen-agen persekitaran seperti air, karbon dioksida, sulfat dan lain-lain. Kesan daripada masalah ini akan menyebabkan komponen dalaman konkrit terutamanya simen akan kehilangan sifat pengikatnya dan menyebabkan konkrit retak dan terdedah kepada faktor persekitaran yang lebih teruk lagi. Hasil daripada kajian *Sabir et al* [2001], menunjukkan bahawa penggunaan metakaolin pada kadar gantian yang tertentu akan mengurangkan masalah ini dan menghasilkan konkrit yang kuat dan tahanlasak. Kajian yang dilakukan *Poon et al* [2003], menunjukkan saiz metakaolin yang halus iaitu 1  $\mu\text{m}$  hingga 2  $\mu\text{m}$  akan bertindak sebagai pengisi ruang antara konkrit dan menghasilkan konkrit yang lebih padat dan mengurangkan masalah keliangan dan ketelapan air. Ini kerana air merupakan agen yang paling bahaya kerana sekiranya air meresap masuk ke dalam konkrit ia akan menghakis komponen-komponen utama dalam konkrit dan mengurangkan kepadatan konkrit dan konkrit terdedah kepada masalah yang lebih buruk lagi. Perbandingan antara ciri-ciri simen dengan beberapa bahan pozolan termasuk MK ditunjukkan di dalam Jadual 1.1.

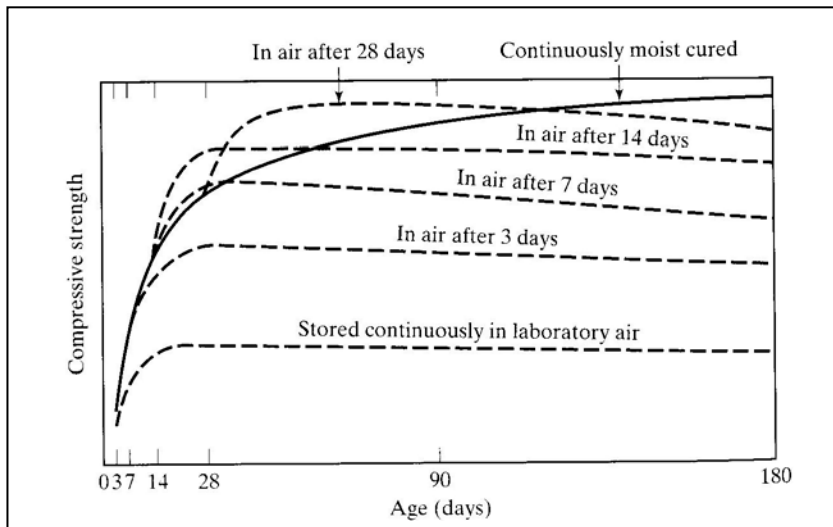
Jadual 1.1: Ciri-ciri simen dan beberapa bahan pozolan [Mindess et al, 2002]

Bahan	Saiz ( $\mu\text{m}$ )	Luas permukaan ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	Butiran bentuk	Graviti tentu
Simen Portland	10-15	<1	Bentuk tak sekata	3.2
Pozolan semulajadi	10-15	<1	Bentuk tak sekata	Variasi
Abu ringan	10-15	1-2	Sfera	2.2-2.4
Wasap silika	0.1-0.3	15-25	Sfera	2.2
Metakaolin	1-2	15	Memanjang	2.4
Sekam padi	10-20	50-100	Tak sekata	<2.0

Kesan keadaan pendedahan juga akan mempengaruhi konkrit. Kesan pendedahan di mana suhu yang dikenakan ke atas konkrit akan menghasilkan sifat fizikal yang berbeza-beza. Untuk menghasilkan konkrit yang bermutu adalah dengan mengawal suhu yang dikenakan semasa proses pendedahan konkrit iaitu semasa proses penghidratan berlaku. Rajah 1.1, menunjukkan suhu yang terlalu tinggi semasa proses pengawetan akan menghasilkan konkrit yang mempunyai kekuatan awal yang tinggi tetapi kekuatan muktamad menurun atau tiada sebarang peningkatan. Suhu yang sesuai adalah penting untuk menghasilkan konkrit yang baik. Namun begitu kesan suhu yang berbeza-beza kepada konkrit perlu diketahui untuk melihat kesan kepada konkrit terutamanya semasa pembinaan sedang berjalan. Hasil daripada kajian ini dipercayai akan memberikan maklumat yang berguna kepada industri konkrit. Rajah 1.2 menunjukkan pengaruh tempoh pengawetan basah mula terhadap kekuatan konkrit.



Rajah 1.1: Pengaruh pendedahan suhu tinggi terhadap konkrit.[Mindess et al, 2002]



Rajah 1.2: Kesan pendedahan udara terhadap konkrit [Mindess et al, 2002]

Berdasarkan kepada potensi yang disebutkan tadi diharap kajian ini dapat memperbaiki kualiti konkrit yang sedia ada sekarang disamping itu dapat mengoptimalkan produk tempatan iaitu kaolin yang diperolehi di Malaysia untuk kegunaan dalam industri simen dan konkrit.

## **1.1 Pernyataan Masalah**

Kesan penggunaan bahan pozolan terutama metakaolin telah dan sedang dilakukan dan didapati metakaolin menghasilkan kesan yang positif apabila digunakan sebagai bahan gantian separa simen. Namun begitu, bagi konkrit yang mengandungi metakaolin, pengaruh persekitaran dan keadaan pendedahan belum lagi diterokai secara meluas lebih-lebih lagi yang melibatkan pendedahan kepada keadaan terkawal atau biasa, udara, tinggi dan juga pendedahan kepada sulfat. Pengaruh suhu dalam penghasilan konkrit amat penting kerana suhu yang tinggi akan mempercepatkan proses penghidratan di dalam simen berlaku. Jika dikaitkan dengan sektor pembinaan sekarang, konkrit perlu disesuaikan dengan berbagai-bagai kesan pendedahan seperti panas, sejuk, berair dan ekstrim seperti sulfat dan klorida. Walaubagaimanapun kesan pendedahan ini belum diterokai secara mendalam lebih-lebih lagi bagi konkrit yang mengandungi metakaolin. Adalah diharap informasi yang diperolehi daripada kajian ini akan dapat membantu dalam menambahbaikkan konkrit yang sedia ada sekarang khususnya bagi konkrit yang mengandungi metakaolin.

## **1.2 Objektif dan Skop Kajian**

Skop kajian ini merangkumi tiga aspek utama iaitu pengaruh metakaolin terhadap sifat simen dan keboleherjaan konkrit, pengaruh metakaolin dan keadaan pendedahan terhadap prestasi kekuatan konkrit dan pengaruh metakaolin dan keadaan pendedahan terhadap aspek ketahananlasakan konkrit. Oleh itu objektif-objektif utama kajian adalah seperti berikut:



- 1) Untuk menentukan pengaruh penggunaan metakaolin terhadap sifat simen dan konkrit berdasarkan ujian soundness, masa pemejalan dan kebolehkerjaan.
- 2) Untuk mengkaji kesan penggunaan metakaolin terhadap prestasi kekuatan konkrit yang didedahkan kepada keadaan pendedahan yang berlainan.
- 3) Untuk mengkaji kesan penggunaan metakaolin terhadap aspek ketahananlasakan konkrit yang didedahkan kepada keadaan pendedahan yang berbeza.

### **1.3 Susun Atur Tesis**

Tesis ini mengandungi enam bab keseluruhannya. Bab 1 merupakan pengenalan kepada kajian yang telah dijalankan merangkumi pernyataan masalah serta skop dan objektif kajian.

Bab 2 merupakan tinjauan literatur. Di sini pengetahuan sedia ada mengenai konkrit, khususnya kesan penggunaan metakaolin terhadap sifat-sifat dan prestasi konkrit dibincangkan.

Bab 3 menerangkan tentang bahan-bahan yang telah digunakan di dalam kajian ini termasuk nisbah bancuhan konkrit. Di samping itu, keputusan terhadap ujian-ujian yang telah dijalankan ke atas simen dan konkrit segar dilaporkan dan dibincangkan di sini. Perbincangan yang dibuat menekankan kesan penggunaan MK terhadap sifat-sifat simen dan konkrit segar.

Seterusnya Bab 4 membincangkan kesan penggunaan MK dan kesan keadaan pendedahan yang berlainan terhadap prestasi kekuatan konkrit berdasarkan ujian mampatan dan lenturan.

Bab 5 memaparkan kesan penggunaan MK dan keadaan pendedahan terhadap aspek ketahananlasakan konkrit. Di sini aspek ketahananlasakan dinilai berdasarkan ujian keliangan, penyerapan air dan kebolehtelapan.

Akhirnya Bab 6 menerangkan kesimpulan daripada kajian yang telah dijalankan. Disamping itu, cadangan untuk kajian selanjutnya juga diterangkan.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN LITERATUR**

#### **2.0 Pengenalan**

Konkrit merupakan satu bahan komposit yang terdiri daripada campuran simen, pasir, agregat kasar dan air. Perkembangan di bidang teknologi konkrit yang semakin meningkat telah membawa kepada berbagai-bagai kaedah dan bahan diperkenalkan untuk meningkatkan kualiti dan prestasi ketahanan lasakan konkrit. Antara kaedah yang diguna pakai untuk mencapai tujuan itu adalah dengan menggunakan bahan tambah mineral dan kimia. Di dalam bahagian ini akan diterangkan tentang bahan-bahan yang membentuk konkrit termasuk MK. Disamping itu, maklumat sedia ada tentang sifat-sifat konkrit yang mengandungi MK akan dibincangkan dan dijadikan asas terhadap kajian yang dijalankan.

#### **2.1 Bahan-bahan mentah untuk konkrit PC-MK**

Konkrit terdiri daripada bahan-bahan seperti simen, batu baur kasar dan halus, air dan bahan tambah lain jika perlu. Kesemua bahan-bahan ini mempunyai fungsi tersendiri antaranya simen sebagai bahan pengikat, batu baur kasar bertindak sebagai bahan yang akan menentukan kekuatan konkrit, pasir sebagai bahan pengisi ruang-ruang diantara konkrit supaya konkrit menjadi lebih padat dan air sebagai agen tindakbalas kimia dengan simen. Kesemua bahan ini amat penting kerana ia akan menentukan kualiti dan prestasi konkrit yang dihasilkan.

### 2.1.1 Simen

Simen merupakan komponen utama dalam menghasilkan konkrit. Kehadiran simen berfungsi sebagai bahan pengikat untuk mengikat kesemua komponen konkrit yang lain seperti batu baur kasar dan halus dan menjadikan konkrit padat dan kuat. Terdapat berbagai-bagai jenis simen di pasaran dan setiap jenis dihasilkan untuk kegunaan tertentu. Sebagai contoh, Simen Portland biasa (OPC) adalah simen yang paling banyak digunakan dalam industri pembinaan di Malaysia. Simen Portland cepat keras (RHPC) biasanya digunakan untuk kerja-kerja pembaikan dan penyelenggaraan yang memerlukan konkrit mencapai kekuatan dalam masa yang singkat. Komposisi kimia dalam simen memainkan peranan yang penting dalam proses penghidratan dan pembentukan kekuatan konkrit. Lebih 75% kandungan Simen Portland terdiri daripada kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan selebihnya terdiri daripada gipsum ( $\text{CSH}_2$ ) [Somayaji, 2001]. Simen terdiri daripada 4 komposisi sebatian utama iaitu :

- a. Trikalsium Silikat ( $\text{C}_3\text{S}$ ) – merupakan sebatian utama yang membentuk ikatan dan kekuatan simen. Ia mempunyai kadar tindakbalas penghidratan yang cepat dan menyumbang kepada kekuatan jangka pendek konkrit.
- b. Dikalsium Silikat ( $\text{C}_2\text{S}$ ) – mempunyai kadar tindakbalas penghidratan yang perlahan dan menyumbang kepada kekuatan konkrit untuk jangka masa panjang.
- c. Trikalsium Aluminat ( $\text{C}_3\text{A}$ ) – paling cepat bertindak dengan air dan akan menyebabkan konkrit cepat memejal “*flash set*” tetapi sumbangan kepada kekuatan konkrit adalah kecil.

d. Tetrakalsium Alumino Ferrite ( $C_4AF$ ) – menghasilkan kesan yang sedikit ke atas kekuatan dan pemejalan konkrit.

[Duggal, 1998]

### **2.1.2 Batu Baur Kasar dan Halus**

Batu baur merupakan bahan yang paling banyak digunakan di dalam kandungan konkrit dimana batu baur mempengaruhi kekuatan dan ketahanan lasakan konkrit. Batu baur berperanan sebagai bahan pengisi untuk memenuhi ruang-ruang kosong diantara perekat simen. Komposisi perekat simen ini bergantung kepada ruang-ruang kosong dan juga jumlah isipadu batu baur yang akan digunakan. Dalam kerja konkrit saiz batu baur memainkan peranan dalam menentukan kekuatan konkrit. Semakin besar saiz batu baur akan dapat mengurangkan ruang-ruang kosong dan dapat mengurangkan perekat simen. Manakala saiz batu baur yang kecil juga membantu dalam mengurangkan ruang-ruang diantara perekat simen di mana saiz batu baur yang kecil tadi akan memenuhi ruang-ruang yang tidak dapat dipenuhi oleh batu baur bersaiz besar. Ini akan mengurangkan perekat simen dan dapat menghasilkan nisbah bancuhan yang senang dikerjakan dan menjimatkan kos bergantung kepada keadaan semasa pembinaan. Kekuatan konkrit akan meningkat tetapi mendatangkan masalah dalam pengendalian konkrit segar. Batu baur merupakan faktor yang penting di dalam menghasilkan konkrit yang baik kerana ia membentuk 70-80% isipadu konkrit [Duggal, 1998]. Oleh itu batu baur mestilah bersih, keras, kuat, tahanlasak dan mempunyai julat saiz yang sesuai. Saiz dan bentuk batu baur juga memainkan peranan penting dalam menghasilkan konkrit yang baik. Dari segi saiz, semakin besar saiz batu baur akan menghasilkan konkrit yang kuat dan menjimatkan

penggunaan simen tetapi akan mengurangkan keboleherjaan konkrit tersebut. Saiz yang kecil pula akan menyebabkan kekurangan dari segi kekuatan dan penggunaan simen akan bertambah kerana kuantiti batu yang banyak tetapi konkrit mudah dikerjakan [Neville, 1993]. Manakala dari segi bentuk pula, bentuk batu baur yang bulat akan memudahkan kerja dilakukan keatas konkrit tetapi dari segi ikatan antara batu baur dan adunan simen adalah terhad. Sebaliknya batu baur yang bersegi-segi susah untuk dikerjakan tetapi dari segi ikatan antara batu baur dan adunan simen akan menjadi lebih kuat [Neville, 1993].

### **2.1.3 Air**

Air juga merupakan satu elemen yang penting dalam penghasilan konkrit. Ini kerana air berfungsi untuk membolehkan proses penghidratan simen berlaku. Air juga berfungsi sebagai bahan pelincir antara batu baur kasar dan halus untuk menghasilkan konkrit yang senang dikerjakan dan ekonomi [Duggal, 1998]. Kehadiran air di dalam konkrit mesti mencukupi untuk memastikan proses penghidratan simen dapat berlaku dengan sempurna. Namun begitu, air yang berlebihan tidak akan digunakan di dalam tindakbalas penghidratan dan akan menyumbangkan kepada keliangan konkrit. Ini boleh menjejaskan kekuatan dan prestasi ketahananlasakan konkrit.

### **2.1.4 Bahan Superpemplastikan**

Bahan superpemplastikan merupakan sejenis bahan tambah yang merupakan bahan selain daripada air, batu baur kasar dan halus serta simen yang ditambah ke dalam bancuhan konkrit untuk mengubah sifat-sifat konkrit. Terdapat berbagai-bagai jenis bahan tambah seperti agen seret udara (*air entraining agen*), pelambat (*retarder*),

pengurang air (*water reducer*) dan pencepat (*accelerator*). Kesemua bahan tambah yang disebutkan tadi mempunyai fungsi dan kegunaan yang berbeza. Sebagai contoh *retarder* digunakan untuk melambatkan proses penghidratan simen manakala *accelerator* digunakan untuk mempercepatkan proses penghidratan simen. Bahan superplastik dan bahan tambah pengurang air digunakan sama ada untuk meningkatkan keboleherjaan konkrit atau untuk mengurangkan penggunaan air dalam konkrit untuk tujuan meningkatkan kekuatan dan prestasi ketahanan lasakan konkrit [Mindess, 2003].

## **2.2 Pozolan**

Bahan pozolan juga boleh bersifat sebagai bahan tambah dan apabila digunakan di dalam bancuhan konkrit akan menghasilkan kesan yang berbeza-beza kepada konkrit. Ini bergantung kepada jenis pozolan yang digunakan dan tindakbalasnya dengan konkrit. Pozolan bermaksud bahan yang mengandungi kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) ataupun kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang mempunyai sifat perikat yang minima ataupun tiada tetapi sekiranya diadun dengan halus dan dengan kehadiran kelembapan, akan bertindak dengan kalsium hidroksida ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) pada suhu yang tertentu untuk menghasilkan sebatian yang bersifat perikat seperti simen [Malhorta, 2004]. Dalam erti kata lain tindakbalas pozolanik berlaku selepas simen bertindakbalas dengan air dan membentuk kalsium hidroksida sebagai salah satu produk penghidratan di samping kalsium silikat terhidrat (C-S-H). Mengikut kepada *Swamy* (1990), bahan tambah pozolan ini akan meningkatkan kekuatan dan memperbaiki kadar keliangan di dalam konkrit serta seterusnya menjamin kualiti dan ketahanan lasakan konkrit.

Bahan pozolan boleh terhasil daripada unsur semulajadi atau buatan. Antara contoh pozolan yang terhasil bukan daripada unsur semulajadi ialah abu ringan, wasap silika dan lain-lain lagi. Manakala abu gunung berapi seperti pumice, opal dan banyak lagi adalah terhasil secara semulajadi. Penggunaan pozolan di dalam industri konkrit semakin meluas sekarang kerana kebanyakan unsur-unsur tersebut seperti abu ringan adalah bahan buangan daripada sisa industri dimana akan mengurangkan kos dalam menghasilkan simen disamping mengurangkan penggunaan simen.

### **2.2.1 Tindakbalas Pozolan dalam Konkrit**

Kehadiran bahan yang mempunyai unsur silika atau silika dan alumina akan menghasilkan tindakbalas kimia dengan kalsium hidroksida dan tindakan ini dipanggil tindakbalas pozolan. Namun begitu penggunaan bahan pozolan dalam konkrit sebagai bahan gantian separa simen dengan kadar penggantian diantara 5 hingga 30% bergantung kepada jenis pozolan yang digunakan. Kehadiran bahan pozolan ini akan menambahkan pembentukan gel kalsium silikat terhidrat (C-S-H) dimana penambahan gel ini akan meningkatkan keupayaan konkrit dari aspek ketahananlasakkan dan mekanikal. Kehadiran pozolan ini akan meningkat keupayaan dan kekuatan konkrit kerana kalsium silikat terhidrat (C-S-H) yang dihasilkan akan mengisi liang-liang yang ditinggalkan oleh produk-produk penghidratan simen dan seterusnya meningkatkan prestasi mekanikal dan ketahananlasakkan konkrit.

Sesetengah bahan pozolan akan memberi kesan yang berbeza kepada konkrit tetapi kehadiran bahan pozolan ini akan memperbaiki ketahananlasakkan konkrit terutama



ketika pembinaan yang terdedah kepada persekitaran yang berair seperti di tepi laut atau bawah tanah [Sayampuk et al, 2001]. Mengikut *Sayampuk et al* [2001], kehadiran bahan pozolan yang mempunyai saiz yang halus seperti wasap silika dan metakaolin akan menjadikan konkrit tidak telap air dan dapat menghalang masalah seperti serangan sulfat dan sebagainya. Dari segi kekuatan pula kebanyakan bahan pozolan akan memberi kesan yang berlainan bergantung kepada jenis pozolan. *Megat Johari et al* [2002] melaporkan, penggunaan wasap silika akan menambahkan kekuatan konkrit pada setiap peringkat umur konkrit. Manakala metakaolin pula pada peringkat awal iaitu pada umur konkrit 1 hingga 3 hari, akan mengurangkan kekuatan awal, namun kekuatan akan meningkat selepas umur konkrit tersebut mencecah 7 hari dan seterusnya. Kesan ini terjadi bergantung kepada pembentukan kalsium silikat terhidrat (C-S-H) dan kehalusan bahan pozolan yang digunakan.

Bahan-bahan yang bertindak sebagai pozolan mempunyai sifat-sifat yang tersendiri. Ini bergantung kepada jenis sesuatu pozolan itu sendiri dan jumlah komposisi kimia yang terdapat di dalamnya. Sebagaimana yang digambarkan oleh *Sabir et al* [2001], keadaan sesuatu pozolan itu bertindak adalah bergantung kepada saiz zarah butiran bahan tersebut dan bagaimana ia akan bertindak balas dengan simen untuk penghidratan kalsium. Ini kerana semakin banyak kalsium dapat dihidratkan akan membantu proses penghidratan berlaku dengan pantas dan ini akan meningkatkan kekuatan dan keupayaan konkrit tersebut. Berdasarkan apa yang diperolehi oleh *Sabir et al* [2001], juga mengatakan kehadiran metakaolin di dalam konkrit sebagai bahan pengganti simen akan menghasilkan tiga tindakbalas iaitu bertindak sebagai pengisi

ruang–ruang diantara butiran simen, mempercepat tindakbalas penghidratan simen dan seterusnya tindakbalas pozolan itu sendiri yang akan memberi kesan yang positif kepada sifat fizikal, mekanikal dan ketahananlasakan konkrit itu sendiri.

### **2.2.2 Tindakan Agen Pengisi**

Kesan utama agen pengisi ialah untuk memperbaiki ketumpatan konkrit. Di dalam konkrit simen yang digunakan akan digantikan secara separa dengan agen pengisi seperti wasap silika, abu ringan ataupun metakaolin. Kebanyakan agen pengisi dalam keadaan serbuk atau butiran yang sangat halus jika dibandingkan dengan simen. Ini menjadikan adunan simen terkeras menjadi lebih tumpat dan juga meningkatkan kualiti zon antara muka diantara adunan simen dan agregat. Secara keseluruhannya, kesan pengisi daripada penggunaan bahan pozolan yang halus ini boleh meningkatkan kekuatan dan prestasi ketahananlasakan konkrit. Agen pengisi ini bertindak dengan meningkatkan ikatan–ikatan antara butiran batu dan simen dan kesannya akan mengurangkan geseran dalaman di dalam ikatan konkrit kerana proses penghidratan berlaku dengan lebih baik [Brandt, 1995].

### **2.3 Metakaolin**

Metakaolin ialah produk yang terhasil dari proses pengkalsinan bahan kaolin. Selepas melalui proses pengkalsinan unsur kaolin akan mengalami kehilangan kandungan kelembapan dan beberapa unsur lain yang membentuk sebatian unsur  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ . Metakaolin telah dikenalpasti sebagai bahan pozolan yang boleh digunakan sebagai bahan gantian separa simen dalam bancuhan konkrit. Daripada kajian terdahulu adalah

didapati kadar penggantian Metakaolin ke dalam bancuhan konkrit adalah sekitar 5 hingga 15% [Sabir et al, 2001]. Jadual 2.1 menunjukkan kadar komposisi kimia yang terkandung di dalam MK jika dibandingkan dengan OPC.

Jadual 2.1 : Komposisi Kimia OPC dan MK [Khatib et al, 1996]

<b>KOMPOSISI KIMIA</b>	<b>OPC (%)</b>	<b>MK (%)</b>
SiO <sub>2</sub>	20.40	51.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.9	40.18
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.10	1.23
CaO	63.10	2.00
MgO	3.10	0.12
K <sub>2</sub> O	1.05	0.53
SO <sub>3</sub>	2.30	0.00
TiO <sub>3</sub>	0.00	2.27
Na <sub>2</sub> O	0.25	0.08

### **2.3.1 Definasi Kaolin**

Kaolin juga dipanggil dengan nama tanah liat putih ataupun tanah liat cina. Nama kaolin dipercayai diberikan nama berdasarkan sebuah gunung yang berwarna putih di daerah Kiangsi di Negara China kira-kira 4000 tahun dahulu. Kaolin kebiasaannya digunakan untuk membuat kraftangan seperti tembikar, pinggan mangkuk dan lain-lain lagi [Arshad, 2003]. Dalam istilah mineralogi kaolin dipanggil sebagai kaolinit dan ia

diklasifikasikan sebagai sejenis mineral tanah lempung atau tanah liat yang mengandung unsur-unsur aluminium disilikat terhidrat ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ).

### **2.3.2 Pembentukan Kaolin**

Kaolin terbentuk daripada perubahan mineral seperti feldspar yang mengalami proses luluhawa sejak berpuluh ribu tahun dahulu. Feldspar merupakan sejenis mineral yang berasaskan silika yang berwarna putih dan kebiasaannya terdapat dalam batuan igneus. Batuan igneus yang terhasil tadi daripada magma gunung berapi akan menghasilkan mineral seperti feldspar dan lain-lain. Feldspar amat mudah berubah sifat terutama sekali apabila dipengaruhi oleh proses luluhawa. Semasa proses luluhawa feldspar akan bertindak balas dengan air dan bahan kimia dan menjadi monmorilonit dan seterusnya dengan proses luluhawa yang berterusan akan menukar ia menjadi mendapan hablur kaolinit yang stabil [Arshad, 2003]. Seterusnya proses luluhawa akan menyebabkan perubahan bentuk muka bumi. Batu-batu tadi akan menyepai kepada bentuk yang lebih halus dan termendap antara satu sama lain dan membentuk lapisan dipanggil regolitos. Regolitos ialah lapisan-lapisan tanah yang menyelubungi batuan dasar dan terbentuk daripada proses pemendapan. Tanah yang berketumpatan tinggi akan termendap dahulu daripada tanah yang berketumpatan rendah. Disebabkan ketumpatan kaolin tinggi menyebabkan ia akan termendap lebih cepat dan berada di bawah lapisan tanah liat yang lain [Sabir et al, 2001].

### **2.3.3 Penghasilan Metakaolin**

Kaolin merupakan bahan galian semulajadi namun begitu ia tidak mempunyai nilai yang tinggi seperti bahan mentah yang lain seperti emas. Kaolin tidak boleh digunakan secara terus tetapi terpaksa melalui berbagai-bagai peringkat rawatan supaya dapat digunakan. Kaolin mentah perlu dikorek dan kawasan perlombongan kaolin perlu dikenalpasti terlebih dahulu sebelum dihantar ke kilang untuk diproses. Di kilang kaolin akan melalui proses seperti pembuburan, pengisaran, pengemparan, pencerahan, persempadanan, penapisan, pengeringan, pembungkusan dan seterusnya dihantar untuk dipasarkan [Arshad, 2003].

### **2.3.4 Komposisi Kimia dalam Metakaolin**

MK merupakan sejenis bahan yang bersifat pozolan ia mempunyai kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang tinggi dimana silika dan alumina akan bersifat reaktif dengan kalsium hidroksida dan juga air dan memberi kesan yang baik kepada konkrit. Jadual 2.1 menunjukkan kandungan oksida di dalam simen dan MK.

Daripada Jadual 2.1, didapati bahawa kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang tinggi dalam MK jika dibandingkan dengan simen. Kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang tinggi akan menyebabkan proses penghidratan menjadi lebih cepat dan kekuatan akan dapat dicapai dalam waktu yang singkat. Namun begitu kaolin mentah adalah tidak stabil kerana ia bercampur dengan bendasing yang lain dan sebelum digunakan dalam konkrit perlu melalui proses pengkalsinan [Arshad, 2003].

Kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang tinggi menunjukkan MK mempunyai sifat pozolanik yang mana boleh menyumbang kepada kekuatan dan ketahanan lasakan konkrit. Namun begitu MK adalah tidak reaktif kerana struktur kristalnya dan perlu melalui proses pengkalsinan yang memusnahkan struktur kristal kaolin, menjadikannya terurai dan membentuk MK.

### **2.3.5 Pengkalsinan Metakaolin**

Seperti yang telah dinyatakan kaolin perlu melalui proses pengkalsinan sebelum digunakan dalam konkrit ini kerana kaolin mentah berada dalam keadaan tidak stabil dan terdapat banyak bendasing yang bersifat organik dan pengkalsinan akan menguraikan bahan organik tersebut. Ini boleh dirujuk kepada MS 522, bahagian 3, Fasa 11 (1995) mengatakan kadar kehilangan bahan baki organik dan kandungan lembapan dirujuk sebagai LOI ' *loss of ignition* '. Kaolin perlu dibakar pada suhu sekitar 600–900 °C pada jangka waktu dari 2–4 jam [Khatib et al, 1996]. Selepas proses pengkalsinan ini akan menghasilkan metakaolin.

Selain daripada proses tadi kaolin mentah boleh diperolehi melalui pembakaran tanah laterit pada suhu tertentu dimana kebiasaannya suhu yang sesuai adalah sekitar 750–800 °C. Adalah dipercayai dengan suhu tersebut kandungan kaolin dan gibbsite di dalam tanah laterit akan bertukar kepada metakaolin [Sabir et al, 2001]. Kenyataan ini diperkuatkan lagi dengan kajian yang dijalankan oleh Pera et al [1998]. Pera mengatakan metakaolin dapat dihasilkan melalui proses pembakaran sisa–sisa bahan mentah yang digunakan dalam proses pembuatan kertas. Dengan menggunakan sisa buangan ini adalah

dipercayai dapat mengitar semula kertas terpakai disamping itu dapat menghasilkan Metakaolin yang mempunyai kadar keaktifan yang tinggi. Berdasarkan kajian mereka juga mendakwa dengan menggunakan teknik ini dapat menghasilkan Metakaolin yang mempunyai keaktifan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan menggunakan kaolin mentah.

### **2.3.6 Ciri – ciri Fizikal Metakaolin**

Seperti yang diketahui metakaolin akan memberikan kesan kepada ciri–ciri fizikal simen seperti proses penghidratan simen. Kehadiran bahan pozolan yang mempunyai kandungan silika dan alumina yang tinggi akan bertindakbalas dengan kalsium hidroksida dan membentuk kalsium silikat terhidrat dan kalsium alumina terhidrat [Malhorta, 2004]. Proses ini dipanggil tindakbalas pozolanik. Di dalam tajuk ini kita akan melihat kesan–kesan metakaolin kepada ciri–ciri fizikal iaitu kesan terhadap masa pemejalan awal dan akhir dan kesan terhadap soundness.

#### **2.3.6.1 Kesan Metakaolin kepada Masa Pemejalan**

Pemejalan bermaksud perubahan bentuk daripada keadaan cecair ke pepejal. Pemejalan disebabkan penghidratan  $C_3A$  dan  $C_3S$  dengan kehadiran suhu. Kehadiran metakaolin dipercayai dapat memberikan kesan kepada pemejalan konkrit. *Ambroise et al* [1994], melaporkan bahawa metakaolin akan dapat mempercepatkan proses pemejalan berbanding simen Portland biasa (OPC) namun begitu pada tahap penggantian pada 40%, kadar masa pemejalan akan menjadi lebih lambat berbanding OPC [Ambroise et al, 1994]. Mengikut *Megat Johari et al* [2002], peratus gantian simen sehingga 10% akan

menyebabkan masa pemejalan awal dan akhir akan menjadi lebih lambat ini kerana metakaolin dipercayai menyerap air yang banyak dan ini akan melambatkan proses pemejalan awal dan akhir. Jadual 2.2 menunjukkan kesan penggunaan MK ke atas ciri-ciri pemejalan.

Jadual 2.2: Pengaruh MK ke atas masa pemejalan [Vu et al, 2001]

Code	P(%)	K(%)	W (P+K)	Masa pemejalan	
				Awal	Akhir
P	100	0	0.25	215	275
PK1	90	10	0.30	210	270
PK2	85	15	0.33	215	280
PK3	80	20	0.36	215	280
PK4	75	25	0.38	220	285
PK5	70	30	0.41	225	290

### 2.3.6.2 Kesan Metakaolin kepada Soundness

Soundness bermaksud perubahan isipadu simen selepas simen mengeras. Ia berkait rapat dengan proses penghidratan di dalam simen. Sekiranya perubahan isipadu di dalam simen melebihi tahap yang ditetapkan kemungkinan besar konkrit akan mengalami keretakan. Soundness di dalam simen terjadi disebabkan proses penghidratan yang perlahan diantara kapur bebas MgO yang bertindakbalas dengan gipsum dengan kehadiran C<sub>3</sub> A. Tindakbalas ini akan menyebabkan butiran simen tadi mengembang dan menolak antara satu sama lain.



Kehadiran Metakaolin di dalam simen akan mengurangkan kesan pengembangan disebabkan tindakbalas kapur bebas dan silika. Saiz butiran metakaolin yang halus akan memenuhi ruang–ruang di dalam simen yang akan mengurangkan ruang–ruang kosong yang terbentuk akibat soundness ini. Kehadiran metakaolin akan menjadikan simen menjadi padat dan kekuatan simen akan bertambah disebabkan sifat pozolan yang terdapat pada metakaolin [Sabir et al, 2001]

### **2.3.6.3 Kesan Metakaolin Terhadap Kebolehkerjaan Konkrit**

Kebolehkerjaan konkrit adalah penting untuk memastikan konkrit boleh dikerjakan termasuk boleh dipadatkan dengan sempurna yang mana akan menyumbang kepada kekuatan dan prestasi ketahanan lasakan konkrit. Kaedah-kaedah ujian untuk menganggarkan kebolehkerjaan konkrit termasuklah ujian penurunan, ujian masa vebe dan ujian meja aliran. *Sabir et al* [2001], melaporkan bahawa kehadiran metakaolin akan mengurangkan kebolehkerjaan konkrit di mana semakin tinggi tahap gantian metakaolin kandungan air yang banyak perlu digunakan untuk menjadikan konkrit lebih konsisten dan mudah dikerjakan. Mengikut *Wild et al* [1996], tahap kebolehkerjaan konkrit dapat diperbaiki dengan menambah bahan superpempplastikan ataupun dengan mengubah nisbah air bancuhan konkrit. Adalah dipercayai sifat MK yang berasal daripada tanah dengan butiran–butiran MK yang halus akan meningkatkan penggunaan air dan bahan tambah diperlukan untuk mendapatkan kadar kebolehkerjaan yang sesuai ataupun untuk menghasilkan konkrit yang mudah untuk bergerak [Qian et al, 2001]. Jadual 2.3 daripada kajian yang dijalankan *Brooks et al* [2001], jelas menunjukkan pengaruh MK kepada kebolehkerjaan konkrit.