

Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral

**PENGARUH BAHAN TAMBAH METAKAOLIN SEBAGAI BAHAN
PENGANTI DALAM PERESAPAN ION KLORIDA DALAM MORTAR**

oleh :

MOHD NORHANIZAN BIN MOHD ZAIN

Penyelia : Dr. Sunara Purwadaria

Disertasi ini diserahkan untuk memenuhi sebahagian daripada syarat keperluan ijazah

Sarjana Muda Kejuruteraan dengan kepujian

(Kejuruteraan Bahan)

Universiti Sains Malaysia

Mac 2005

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, bersyukur ke hadrat Ilahi kerana dengan berkat kurnia-Nya dapatlah saya menyiapkan projek ilmiah tahun akhir ini.

Jutaan terima kasih juga saya ucapkan kepada penyelia projek saya iaitu Dr. Sunara Purwadaria diatas bantuan dan tunjuk ajar beliau dalam proses perlaksanaan projek tahun akhir saya ini. Buah fikiran, tunjuk ajar dan masa yang diluangkan oleh beliau bagi membantu menyelesaikan sebarang masalah yang timbul sepanjang menjalankan projek ini amat saya hargai

Dengan ini juga, tidak lupa akan kedua ibu bapa saya yang sentiasa memberikan dorongan dan semangat serta sentiasa mendoakan kejayaan saya selama ini.

Ucapan terima kasih yang tidak terhingga kepada Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan & Sumber Mineral, khususnya kepada pensyarah-pensyarah yang tidak jemu memberikan didikan, tunjuk ajar dan dorongan yang berharga sepanjang tempoh pengajian saya di kampus ini.

Ucapan ini juga ditujukan kepada semua juruteknik yang bertugas sama ada dari Pusat pengajian Kejuruteraan Bahan & Sumber Mineral serta Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam atas kerjasama yang mereka berikan kepada saya ketika menjalankan sebarang aktiviti bengkel ataupun makmal.

Tidak ketinggalan kepada rakan-rakan seperjuangan yang banyak membantu, memberikan semangat serta turut sama berkongsi masalah yang telah dihadapi sepanjang menjalankan kajian ini. Segala jasa baik kalian amat saya hargai

Segala jasa baik kalian hanya Allah sahaja dapat membalasnya. Sekian terima kasih

Mohd Norhanizan Bin Mohd Zain

ABSTRAK

Kajian ini dijalankan untuk menentukan kadar keofisen peresapan ion klorida yang melalui mortar. Faktor utama yang ingin dikaji adalah kesan penambahan metakaolin dengan komposisi yang berbeza keatas peresapan ion klorida dalam mortar. 4 sampel yang dijalankan ujikaji dimana satu sampel tidak ditambah dengan metakakaolin dan tiga sampel lagi ditambah dengan komposisi berbeza iaitu 12.5%, 20% dan 27.5%. kaedah yang digunakan adalah kaedah yang dipercepatkan dengan menggunakan medan elektrik. Kaedah ini lebih praktikal kerana masa yang digunakan ada singkat jika dibandingkan dengan kaedah perendaman. Sebahagian daripada ion klorida yang melalui mortar diserap oleh gel yang dihasilkan dari proses penghidratan mortar. Proses pengikatan klorida ini akan mempengaruhi laju peresapan ion klorida kedalam lapisan mortar dan ini akan menyebabkan penurunan keofisen peresapan efektifnya. Dalam kajian ini, nisbah air : simen telah ditetapkan iaitu 0.55 dan nisbah simen : aggregate adalah 1 : 2. Ini untuk mengelakkan faktor-faktor yang lain akan mempengaruhi kadar peresapan yang akan diperolehi. Terdapat dua ujian lain yang dijalankan bersama-sama dengan ujian peresapan ion ini iaitu ujian kekuatan mampatan dan ujian ketumpatan. Diketahui bahawa dengan penambahan metakaolin akan mengurangkan kadar keofisen peresapan ion klorida dari 6.29×10^{-8} kepada 2.41×10^{-8} untuk Nerns-Plank dan dari 12.2×10^{-8} kepada 4.42×10^{-8} untuk Einstein. Pengurangan ini adalah untuk komposisi yang tidak ditambah metakaolin dengan sampel yang ditambah dengan 27.5% metakaolin.

INFLUENCE OF A DOMESTIC METAKAOLIN AS CEMENT SUBSTITUTING MATERIAL ON THE DIFFUSIVITY OF CHLORIDE ION IN MORTAR

ABSTRACT

This study is done to define chloride ions absorption coefficient rate which is going through the mortar. Main factor studied was the effect of metakaolin addition with different composition on the chloride ion absorption in mortar. 4 samples is tested where one sample is not added with metakaolin while another three samples is added with metakaolin with different composition that is 12.5%, 20% dan 27.5%. Chosen methods was faster method by using electric field. This method is more practical because shorter time is needed compared to the soaking method. A part of the chloride ion which is going through the mortar is absorbed by the gel produced from the mortar hydrating process. Chloride bonding processes will influence the speed of chloride ion absorption into the mortar layer. This will reduced the effective absorption coefficient. In this project water:cement ratio is fixed at a value of 0.55 and cement:aggregate is 1:2. This is to ensure those factors will not influence the absorption rate. Another tests which has been done were compressive strength test and density test. With addition of metakaolin, the chloride ion absorption coefficient is reduced from 6.29×10^{-8} to 2.41×10^{-8} for Nernst-Planck and for Einstein the value is reduced from 12.2×10^{-8} to 4.42×10^{-8} . The decreasing of the chloride ions absorption coefficient is for the composition which is not added with metakaolin and for the sample with 27.5% metakaolin.

ISI KANDUNGAN

PENGHARGAAN	ii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
ISI KANDUNGAN	vi
SENARAI RAJAH	ix
SENARAI JADUAL	xi
BAB 1 : PENGENALAN	1
1.1 Latar belakang penyelidikan	1
1.2 Tujuan Penyelidikan	5
1.3 Metodologi Penyelidikan	6
BAB 2 : LATAR BELAKANG DAN KAJIAN PERSURATAN	10
2.1 Konkrit	10
2.1.1 Komponen-komponen bagi konkrit moden	12
2.1.2 Jenis-jenis konkrit	14
2.2 Pengaruh mikrostruktur konkrit terhadap proses pemindahan Ion klorida	15
2.2.1 Struktur liang	16
2.2.2 pengikatan atau pertautan antara liang	17
2.2.3 Kriteria mortar	18
2.3 Faktor-faktor yang mempengaruhi keporosan konkrit	19
2.3.1 Nisbah air-simen	21
2.3.2 Pematangan	23

2.4 Penentuan koefisien peresapan efektif ion klorida dengan kaedah dipercepatkan	24
2.5 Kaolin	26
2.5.1 Metakaolin	28
2.5.2 Kesan suhu terhadap kaolin	31
2.5.3 Kereaktifan metakaolin sebagai pozzolana	32
2.6 Analisis Bahan Mentah	35
2.6.1 Analisis Terma	35
2.6.2 Analisis Pembelauan Sinar-X (XRD)	38
BAB 3 : BAHAN MENTAH	41
3.1 Pendahuluan	41
3.2 Bahan Mentah	41
3.2.1 Simen	41
3.2.2 Pasir	41
3.2.3 Kaolin	42
3.2.4 Metakaolin	43
3.2.5 Natrium klorida (NaCl)	43
3.2.6 Natruim Hidroksida (NaOH)	44
3.3 Penyediaan Bahan Mentah	44
3.3.1 Penyediaan metakaolin	44
3.4 Penyediaan Sampel	46
3.4.1 Radas/peralatan	46
3.4.2 Suhu penyediaan	47

3.4.3	Tatacara penyediaan sampel	47
3.4.4	Penyediaan sel peresapan	50
3.4.5	Penyediaan elektrod	51
3.5	Ujikaji bagi mortar	52
3.5.1	Ujian keliatan ketara, ketumpatan pukal dan peratus penyerapan air	52
3.5.2	Ujian kekuatan mampatan	53
3.5.3	Ujian peresapan ion klorida	55
3.5.4	Pengujian ion klorida dengan menggunakan kaedah Mohr	56
BAB 4	: KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	57
4.1	Analisis Sampel	57
4.1.1	Ujian ketumpatan	57
4.1.2	Ujian kekuatan mampatan	59
4.1.3	Ujian kadar peresapan ion klorida	62
BAB 5	: KESIMPULAN DAN CADANGAN	70
5.1	Kesimpulan	70
5.2	Cadangan	71
RUJUKAN		77
LAMPIRAN		85

SENARAI RAJAH

	mukasurat
Rajah 1.1 : Skematik penentuan kadar peresapan ion klorida Cl ⁻ dengan cara mengenakan medan elektrik	7
Rajah 1.2 : Grafik skematik konsentrasi klorida terhadap masa dalam larutan Anodit	8
Rajah 2.2 : Gambar skematik pengikatan antara liang-liang	17
Rajah 2.3 : Skematik dua dimensi zon antaramuka disekitar agreggat dan zon transisi yang mengalami perkolasi	19
Rajah 2.4 : Hubungan kadar peresapan air terhadap nisbah air-simen	21
Rajah 2.5 : Perubahan keporosan pada nisbah air-simen (a/s) yang berbeza	22
Rajah 2.6 : Proses-proses yang terjadi dalam sel peresapan selama ujian peresapan efektif ion Cl ⁻ dengan kaedah dipercepatkan	26
Rajah 2.7 : (a) Struktur gelang-gelang 6-jiran bagi kelompok tetrahedron SiO ₄ (b) Struktur gelang-gelang 6-jiran bagi kelompok tetrahedron AlO ₄	29
Rajah 2.7 : Perbandingan XRD bagi sampel kaolin Akima 35 dengan sampel kaolin yang telah dikalsin pada suhu berbeza (650°C, 700°C dan 750°C)	40
Rajah 3.1 : Kurva pengkalsinan kaolin Akima 35	45
Rajah 3.2 : Meja penggetar yang digunakan untuk adunan mortar yang seragam	47
Rajah 3.4 : Contoh sampel yang terbentuk selepas proses pematangan	48
Rajah 3.5 : Alat yang digunakan untuk mencampurkan mortar	49

Rajah 3.6 : Sel peresapan yang digunakan untuk penentuan ion klorida	51
Rajah 3.7 : Mesin yang digunakan untuk ujian pemampatan	54
Rajah 4.1 : Graf yang menunjukkan ketumpatan melawan komposisi sampel yang diuji	58
Rajah 4.2 : Graf komposisi sampel melawan kekuatan mampatan	60
Rajah 4.3 : Bilangan mol ion klorida melawan tempoh yang meresap melalui sampel mortar 100% simen	63
Rajah 4.4 : Bilangan mol ion klorida melawan tempoh yang meresap melalui sampel mortar 12.5% metakaolin	64
Rajah 4.5 : Bilangan mol ion klorida melawan tempoh yang meresap melalui sampel mortar 20% metakaolin	65
Rajah 4.6 : Bilangan mol ion klorida melawan tempoh yang meresap melalui sampel mortar 27.5% metakaolin	66
Rajah 4.7 : Perbandingan bilangan mol ion klorida yang meresap melalui 4 sampel dengan komposisi yang berbeza	67
Rajah 4.9 : Perbezaan keofisen peresapan ion klorida dengan menggunakan persamaan Nerns-Plank dan Einstein	68

SENARAI JADUAL

	Mukasurat
Jadual 2.1 : Faktor-faktor yang mempengaruhi dar peresapan konkrit	20
Jadual 2.2 : Masa pematangan konkrit yang diperlukan untuk memperoleh darjah penghidratan tertentu	24
Jadual 3.1 : Unsur-unsur yang hadir dalam serbuk kaolin (Akima 35)	42
Jadual 3.2 : Ciri-ciri fizikal untuk kaolin (Akima 35)	43
Jadual 4.1 : Data yang diperolehi daripada ujikaji untuk penentuan ketumpatan pukal mortar dengan komposisi yang berbeza	57
Jadual 4.2 : Data yang diperolehi apabila dikenakan ujikaji dengan menggunakan mesin pemampat kepada komposisi metakaolin yang berlainan	61

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Latar Belakang Penyelidikan

Seperti yang telah diketahui umum, konkrit telah menjadi bahan binaan yang penting pada masa ini bagi menghasilkan pelbagai kegunaan bukan sahaja sebagai bahan binaan bangunan tetapi telah digunakan untuk penghasilan bahan yang memerlukan kekuatan. Konkrit terhasil daripada penggabungan dari bahan-bahan seperti simen, air, agregat (kasar atau halus) yang membentuk bahan yang padat. Oleh kerana sifatnya yang kuat, memiliki daya tahan yang tinggi dan harga yang murah, konkrit yang bertetulang sehingga kini digunakan secara meluas dalam komponen-komponen struktur bangunan.

Dalam penggunaan konkrit dalam suatu struktur tidak terlepas daripada penggunaan bahan tetulang yang menjadi salah satu pembentuk komposit pada struktur konkrit. Apabila terjadinya penurunan pH larutan atau peresapan ion-ion agresif kedalam lapisan konkrit, lapisan yang melindungi bahan tetulang akan terhakis. Bahan yang terhakis akan mengalami pengurangan isipadu 2-10 kali kandungan isipadu awal sebelum terhakis. Ini akan menyebabkan tegangan setempat pada lapisan konkrit dan akan menjadi tempat tumpuan retakan. Sekiranya terjadinya retakan ini maka peresapan zat-zat agresif seperti gas CO₂ dan atau ion klorida dari sekitaran masuk kedalam lapisan konkrit sehingga boleh mempercepatkan proses kakisan bahan tetulangnya. Kakisan konkrit akan menyebabkan penurunan kebolehanharapan sesuatu konkrit tersebut.

Secara teori bahan tetulang yang dimasukkan dalam simen akan terlindung terhadap kakisan. Kandungan alkali dalam sekeliling simen akan membentuk selaput oksida (Fe_2O_3) atau $\gamma\text{-FeOOH}$) mikroskopik yang bersifat protektif pada permukaan bahan tambah. Selaput protektif ini akan menghalang proses pelarutan besi kedalam lingkungan sehingga kakisan bahan tetulang berlangsung dengan sangat lambat. Simen Portland yang mengandungi trikalsium silikat (C_3S) dengan kandungan purata diantara 35% - 60% dan dikalsium silikat (C_2S) dengan kandungan purata diantara 15% - 35% akan bertindak balas dengan air pada saat pembuatan campuran simen sehingga menghasilkan gel kalsium silikat hidrat (CSH) dan kalsium hidroksida (CH) melalui persamaan dibawah



Selain Cao, simen Portland juga mengandungi K_2O dan Na_2O diantara 0.5 – 1.5% sehingga produk kering yang terhasil akan mengandungi NaOH dan KOH. Produk kering ini akan membuat kandungan alkali yang tinggi dengan pH sekitar 12.5 sehingga 13.8 (**Kumar Metha P., 1986**). Keadaan ini akan menghasilkan selaput pasif proaktif dan bahan tetulang akan dilindungi dari kakisan.

Kakisan yang berlaku akibat penurunan pH larutan selaput konkrit dapat terjadi kerana proses kerosakan pada selaput konkrit. Gas CO_2 yang meresap akan larut dalam larutan konkrit dan membentuk asam karbonat yang akan bertindakbalas dengan kalsium

hidroksida dalam larutan dan membentuk kalsium karbonat sehingga pH larutan turun mencapai 8 (**Rowles Matthew dan O'Connor Brain, 1987**). Proses peresapan gas CO₂ kedalam lapisan konkrit adalah proses yang lambat sehinggakan proses pengkarbonatan berlaku dalam proses yang lama.

Kerosakan yang lebih teruk pada struktur konkrit terjadi akibat adanya penembusan ion klorida khususnya pada struktur-struktur simen yang terdedah dipantai. Pada binaan struktur konkrit di dalam laut masalah kakisan bahan tetulang yang ditindak oleh ion klorida mendapat perhatian yang serius. Kenyataan ini disebabkan oleh tingginya unsur klorida didalam laut sehingga cenderung untuk menembusi kedalam lapisan konkrit. Apabila ion klorida menembusi lapisan konkrit dan mencapai permukaan bahan tetulang. Ion klorida ini mampu menembusi bahan tetulang secara setempat walaupun pun pH larutan nya tinggi. Ion klorida akan merosakkan selaput pasif dan mampu mengakibatkan terjadinya kakisan setempat (kakisan celah)

Bergantung kepada keadaan, peresapan ion klorida kedalam selaput konkrit ada beberapa mekanisma. Mekanisma yang terjadi adalah peresapan, peresapan kapilari dan permiasi (**Li C.W., dan Yamanis J., 1992**). Secara umumnya, peresapan kapilari adalah mekanisma yang biasa terjadi berbanding mekanisma peresapan melalui selaput konkrit yang sangat poros dan belum dipenuhi dengan air. Tetapi apabila keporosannya sangat rendah atau konkrit sangat basah mekanisma peresapan selaput akan berlaku. Meskipun mekanisma perpindahan ion klorida kedalam selaput konkrit sangat rumit tetapi peresapan diperhatikan sebagai proses perpindahan yang dominan.

Koefisien peresapan klorid menjadi perkara yang sangat penting apabila proses penyerapan ion ini berlaku. Dalam kaedah pengukuran koefisien ion klorida dapat dilakukan dengan menggunakan kaedah elektrokimia. Dengan kaedah ini, proses peresapan ion klorida melalui sampel uji dipercepatkan dengan memberikan medan elektrik. Peresapan ini juga disebut dengan peresapan paksa. Ini kerana ion-ion klorida tersebut dipaksa melalui sampel tidak secara semula jadi. Kaedah ini telah diusulkan pertama kali oleh Whiting dan pengukurannya disebut dengan *Uji Coulomb*. Kaedah ini juga telah dijadikan sebagai kaedah standart oleh AASHTO dan kemudiannya oleh ASTM (Mukerji K., dan Stulz R., 1988). Dalam kajian ini, penentuan koefisien peresapan ion klorida menggunakan kaedah dipercepatkan dibawah medan elektrik dan dilakukan dengan keadaan mantap. Koefisien peresapan yang diperolehi dari ujian ini adalah koefisien peresapan efektif (D_{eff}). Terdapat kaedah yang kedua digunakan untuk menentukan koefisien peresapan ion ini iaitu cara konvensional. Kaedah ini adalah kaedah yang mula-mula digunakan dan ianya memerlukan masa yang lama untuk dilakukan. Kaedah kedua ini tidak dapat dijalankan dalam kajian ini kerana masa yang diperuntukkan adalah terhad sedangkan kaedah konvensional ini memerlukan masa sekurang-kurangnya 6 bulan hingga mencapai 1 tahun.

Secara efektifnya kaedah pengukuran yang dipercepatkan tidak memberikan nilai koefisien peresapan ion klorida yang sama dengan kaedah pengukuran konvensional dengan teknik perendaman. Pemerhatian terhadap kaedah ini lebih menitik beratkan pada

pengukuran peresapan ion klorida dalam mortar ataupun konkrit namun belum banyak kajian yang diperhatikan dan hubungkait antara kaedah pengukuran tersebut.

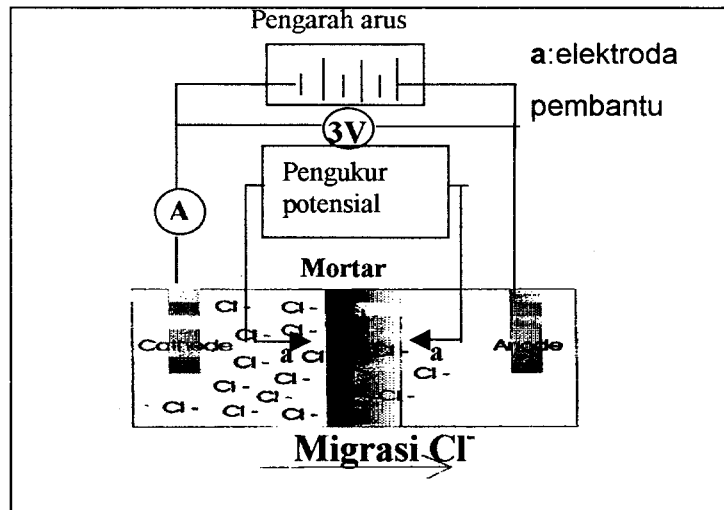
1.2 Tujuan Penyelidikan

Penyelidikan ini adalah bertujuan untuk :

- 1) Mengkaji kesan bahan pengganti simen iaitu metakaolin terhadap kadar peresapan ion klorida didalam simen.
- 2) Mengkaji kesan kehadiran metakaolin terhadap sifat keporosan simen yang terhasil daripada peratusan yang berbeza.
- 3) Mengkaji kesan kekuatan tegasan diantara simen biasa, simen yang mengandungi metakaolin.

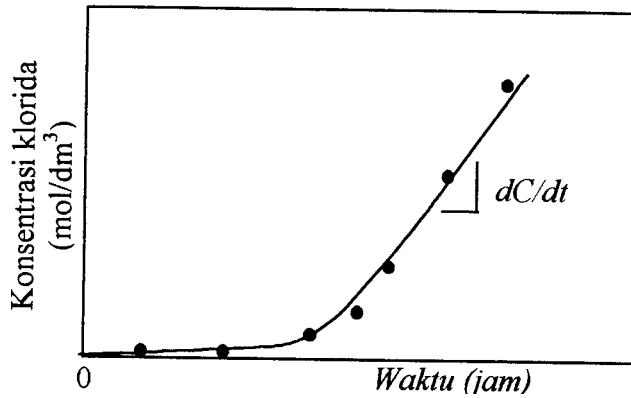
1.3 Metodologi Penyelidikan

Pengukuran penentuan pengaliran ion klorida dilakukan dalam sebuah sel peresapan yang terdiri daripada dua bahagian seperti cara konvensional. Bahagian elektrolit yang mengandungi konsentrasi ion klorid, Cl^- yang tinggi akan dijadikan sebagai katodik dan bahagian dengan elektrolit yang mengandungi konsentrasi ion Cl^- rendah dijadikan anodik. Sel peresapan ini dilengkapi dengan elektrod logam yang akan disambungkan kesumber arus terus (d.c). Acuan yang digunakan sebagai sel peresapan adalah mengikut standart ASTM C 1202-97. Kaedah penentuan kadar peresapan ion klorida melalui spesimen konkrit yang dijalankan dengan nisbah air : simen 0.55 dan juga melalui penambahan metakaolin dengan kadar yang berbeza. Semasa ujian ion Cl^- dijalankan, larutan katolitik akan meresap dibawah medan elektrik melalui spesimen mortar yang diletakkan diantara dua bahagian tersebut. Gambar skematik sel yang digunakan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.1. Voltan yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebanyak 3 Voltan. Voltan ini adalah kecil supaya arus yang mengalir juga adalah kecil. Sekiranya arus mengalir adalah besar, ini akan menyebabkan jumlah logam anod yang larut dalam anolit adalah tinggi dan juga akan menyebabkan terjadinya peningkatan suhu dalam sel selama ujian dijalankan



Rajah 1.1 Skematik penentuan kadar peresapan ion klorida Cl^- dengan cara mengenakan medan elektrik.

Untuk melihat kesan pengaliran ion klorida yang efektif melalui sampel mortar, ujian peningkatan kosentrasi ion klorida pada anolit tiap selang waktu yang telah ditetapkan (dalam kajian ini selang waktu yang ditetapkan adalah selama 12 jam) sehingga diperolehi hubungan kosentrasi diantara klorida terhadap masa. Pengukuran terus dilakukan sehingga kosentrasi adalah tetap. Kosentrasi ion yang tetap pada sampel mortar tersebut menunjukkan kosentrasi ion klorida pada anolit yang tetap sehingga diperolehi garis lurus pada kurva kosentrasi klorida terhadap waktu/masa seperti yang ditunjukkan secara skematik pada Rajah 1.2. Keadaan tetap tersebut terjadi akibat tidak ada lagi ruang untuk ion Cl^- dalam mortar kerana ion Cl^- yang diserap oleh komponen-komponen dalam mortar telah maksimum.



Rajah 1.2 Grafik skematik konsentrasi klorida terhadap masa dalam larutan anodit

Penentuan kosentrasi klorida dalam anolit dilakukan dengan titrasi sampel menggunakan argentum nitrat. Pengiraan keofisen peresapan klorida dengan cara peresapan dengan keadaan mantap dilakukan dengan menggunakan persamaan Nernst-Plank :

$$D_{\text{eff}} = \frac{RT}{zF\Delta E} \frac{LV}{C_{\text{cl}}^{-A}} \frac{dC}{dT} \quad \frac{(\text{cm}^3 \text{ larutan}).(\text{cm}_x)}{(\text{cm}^3 \text{ konkrit}).(\text{det})} \quad 1.3$$

dan dengan persamaan Einstein yang telah diubah suai :

$$D_{\text{eff}} = \beta_0 \frac{300kT}{ze\Delta\phi} \frac{LV}{C_{\text{cl}}^{-A}} \frac{dC}{dT} \quad \frac{(\text{cm}^3 \text{ larutan}).(\text{cm}_x)}{(\text{cm}^3 \text{ konkrit}).(\text{det})} \quad 1.4$$

D_{eff} adalah koefisien peresapan efektif,

A adalah luas permukaan simen (cm^2),

L adalah tebal spesimen yang digunakan (cm),

ΔE atau $\Delta\phi$ adalah kuasa yang dibekalkan pada antara muka simen (Volt),

z adalah muatan ion klorid, F adalah pemalar Faraday (23.066 cal/Volt.mol),

R adalah konstan gas ideal (1.987 cal/mol.K)

T adalah suhu (K)

C_{Cl^-} adalah kosentrasi ion klorida pada ruang katolit (mol/cm^3)

k adalah pemalar boltzman (1.39×10^{-16} energi/K)

e adalah bilangan electron (4.8×10^{-10} e.s.u)

V adalah isipadu larutan anolit (cm^3)

B_0 adalah faktor koreksi

dC/dT adalah kadar masa peresapan ion klorid yang meresapi sampel ($\text{mol}/\text{cm}^3 \cdot \text{dt}$)

dengan mengambil nilai garisan yang diperolehi dari kurva kosentrasi ion klorida terhadap masa (Rajah 1.2) dan memasukkan kedalam Persamaan 1.1 dan Persamaan 1.2, maka koefisien resapan efektif ion klorida akan dapat ditentukan

BAB 2

LATARBELAKANG DAN KAJIAN PERSURATAN

2.1 Konkrit

Di dalam artikel yang diterbitkan oleh Science American dalam bulan April 1964, Brunauer dan Copeland iaitu dua orang saintis yang tidak asing lagi dalam bidang konkrit dan simen menulis **(Kumar Metha P., 1986)**“ bahan binaan yang paling banyak digunakan adalah konkrit yang biasanya dihasilkan melalui percampuran simen Portland dengan pasir , batuan yang dihancurkan dan air. Pada tahun lepas di U.S, 63 ribu tan simen Portland telah ditukar kepada 500 ribu tan konkrit iaitu lima kali ganda berbanding penggunaan keluli (diukur berdasarkan berat). Dalam kebanyakan negara nisbah penggunaan konkrit kepada penggunaan keluli melebihi 10 kepada 1. Jumlah penggunaan konkrit dunia pada tahun lepas adalah dianggarkan kepada 3 juta tan iaitu 1 tan untuk setiap manusia yang hidup. Manusia tidak menggunakan sebarang bahan pada amaun tersebut melainkan hanya air”

Konkrit adalah sama dan ianya sekuat keluli. Jadi konkrit merupakan bahan kejuruteraan yang paling meluas digunakan. Terdapat beberapa alasan yang berkaitan iaitu

- 1) Pertama, konkrit menunjukkan rintangan yang cemerlang terhadap air. Tidak seperti kayu atau keluli biasa, kebolehan konkrit untuk bertahan terhadap tindakan

air tanpa kemusnahan yang teruk membuatkan ia adalah bahan yang sesuai untuk membina struktur-struktur bagi tujuan mengawal, menyimpan dan pengangkutan air

- 2) Kesenangan unsur-unsur konkrit struktur untuk dibentuk kepada pelbagai bentuk dan saiz. Hal ini adalah disebabkan oleh konkrit yang masih basah adalah bersifat plastik, oleh itu ia membenarkan bahan tersebut untuk mengalir kepada bentuk kerja pra-fabrikasi. Selepas beberapa jam bentuk kerja boleh dikeluarkan untuk digunakan semula apabila konkrit telah memejal dan mengeras membentuk jisim yang kuat
- 3) Konkrit adalah bahan yang paling murah dan sedia untuk digunakan berbanding bahan-bahan lain. Campuran-campuran asas bagi pembuatan konkrit iaitu simen Portland dan agregat adalah secara bandingannya murah dan paling banyak ditemui di dalam kebanyakan tempat didunia. Walaupun bagi sesetengah tempat yang berbeza secara georafi, kos konkrit mungkin menjangkau setinggi \$80 per tan tetapi ditempat-tempat lain harganya adalah serendah \$20 per tan

Penghasilan konkrit memerlukan tenaga yang dapat dipertimbangkan sebagai rendah berbanding bahan-bahan kejuruteraan lain. Tambahan lagi banyak bahan-bahan buangan industri boleh dikitar semula dan digunakan sebagai bahan tambah untuk bahan simen atau agregat didalam konkrit.

2.1.1 Komponen-komponen bagi konkrit moden

Mengikut definisi yang telah diberikan oleh ASTM C125 (*Standart Definition of Terms Relating Concrete And Concrete Aggregats*) dan ACI Committee 116 (*A Glossary of Term in the Field of Cement and Concrete Technology*) adalah :

Konkrit adalah merupakan bahan komposit yang mengandungi media pengikat bersama-sama partikel atau aggregate yang terbenam didalamnya. Didalam simen, pengikat terbentuk daripada suatu campuran simen dan air (**Kumar Metha P., 1986**).

Aggregat adalah bahan bergranul seperti pasir , batu terhancur , kerikil atau jermang besi relau bagas yang digunakan bersama media penyimenan untuk membentuk konkrit hidraulik atau mortar. Agregat kasar adalah merujuk kepada partikel agregat yang lebih besar daripada 4.75 mm (pengayak no. 4) dan agregat halus adalah merujuk kepada partikel agregat yang lebih kecil daripada 4.75 mm tetapi lebih besar daripada 75 um (pengayak no. 200). Kerikil adalah merupakan agregat kasar yang terhasil daripada nyah-integrasian semula jadi dan lelasan batuan atau pemprosesan konglomerat yang terikat lemah. Perkataan pasir sering digunakan untuk menggambarkan agregat halus yang terhasil daripada nyah-integrasian dan lelasan batuan atau pemprosesan bagi batu pasir yang mudah hancur. Batuan terhancur adalah produk yang terhasil daripada penghancuran batu-batu, batu-batu bundar yang besar dan batu tongkol oleh industri. Jermang besi relau bagas adalah merupakan hasil sampingan bagi industri besi. Ianya

diperolehi melalui penghancuran jermang relau bagas yang memejal dibawah keadaan atmosfera,(**Kumar Metha P., 1986**).

Mortar adalah suatu campuran pasir, simen dan air. Ia adalah konkrit tanpa agregat kasar. Turap adalah suatu campuran bahan simen dan agregat yang biasanya adalah agregat halus dengan penambahan air yang mencukupi untuk menghasilkan penuangan yang konsisten tanpa berlaku pengasingan unsur-unsur. Konkrit tembak adalah merujuk kepada mortar yang diangkut secara Pneumatic melalui satu hos dan ditembak kepada suatu permukaan pada halaju tinggi (**Kumar Metha P., 1986**).

Simen adalah merupakan bahan yang terhancur secara halus yang mana dirinya sendiri adalah bukan suatu pengikat tetapi membangunkan sifat pengikatan sebagai akibat daripada penghidratan (daripada tindak balas kimia antara bahan-bahan simen dan air). Suatu simen dipanggil sebagai hidraulik apabila produk-produk penghidratan stabil didalam keadaan akues. Simen yang biasa digunakan ialah simen Portland yang terdiri daripada kalsium silikat hidraulik. Kalsium silikat terhidrat yang terbentuk daripada penghidratan simen Portland memberikan ciri-ciri rekatan dan stabil dalam keadaan akues,(**Kumar Metha P., 1986**).

Namun begitu, definisi-definisi konkrit sebagai suatu campuran simen hidraulik, agregat dan air tidak melibatkan komponen keempat, bahan tambah yang mana biasa digunakan dalam praktis moden. Bahan tambah boleh ditakrifkan sebagai bahan-bahan yang selain daripada agregat, simen dan air yang ditambah serta merta kepada adunan konkrit

sebelum atau semasa percampuran. Penggunaan bahan tambah didalam konkrit telah digunakan secara meluas terutama bagi aplikasi-aplikasi yang mustahil jika dijalankan tanpa penambahannya. Bahan tambah boleh mengubahsuai ciri-ciri pengesettan dan pengerasan bagi pasta simen dengan mempengaruhi kadar penghidratan simen.

Bahan tambah penurunan air boleh memplastik campuran konkrit basah melalui pengurangan tegangan permukaan air, bahan tambah pemerangkapan udara boleh meningkatkan ketahanan lasakan konkrit yang didedahkan kepada persekitaran sejuk dan bahan tambah mineral seperti pozzolana (bahan-bahan yang mengandungi silika reaktif) boleh mengurangkan peretakan terma dalam jisim konkrit, **(Kumar Metha P., 1986)**.

2.1.2 Jenis-jenis konkrit

Berdasarkan kepada unit berat, konkrit dapat diklasifikasikan kepada tiga ketogeri yang besar. Konkrit yang mengandungi pasir semula jadi dan kerikil atau aggregate batuan terhancur, biasanya ketumpatan lebih kurang 2400kg/m^3 (4000lb/yd^3), dipanggil sebagai konkrit berat norma dan ia adalah merupakan konkrit yang paling biasa digunakan bagi tujuan struktur. Bagi aplikasi yang memerlukan nisbah kekuatan kepada berat yang lebih tinggi adalah mustahil untuk mengurangkan berat unit bagi konkrit dengan menggunakan agregat semula jadi atau aggregate terproses piro tertentu yang mempunyai ketumpatan pukal yang lebih rendah. Istilah konkrit ringan (lightweight concrete) adalah digunakan untuk konkrit yang mempunyai ketumpatan lebih rendah daripada 1800kg/m^3

(3000lb/yd³). Manakala konkrit berat (heavyweight concrete) yang digunakan bagi tujuan perlindungan radiasi adalah konkrit yang dihasilkan daripada agregat ketumpatan tinggi dan biasanya mempunyai ketumpatan yang lebih daripada 3200kg/m³ (5300lb/yd³). Namun begitu, penggredan kekuatan konkrit yang diamalkan di Negara Eropah dan banyak negara lain tidak dipraktikan di Amarika Syarikat. Walau bagaimanapun, konkrit dapat dibahagikan kepada tiga ketogeri umum yang berdasarkan kekuatan mampatan;

- Konkrit kekuatan rendah : kekuatan mampatan kurang daripada 20 MPa (3000psi)
- Konkrit kekuatan sederhana : kekuatan mampatan 20-40 MPa (3000-6000 psi)
- Konkrit kekuatan tinggi : kekuatan mampatan lebih daripada 40MPa (6000 psi)

2.2 Pengaruh Mikrostruktur Konkrit Terhadap Proses Perpindahan Ion klorida

Konkrit adalah bahan komposit yang mempunyai mikrostruktur yang seragam. Ia juga merupakan komposit yang tersusun dari mortar-batu (agregat kasar) dengan skala sentimeter, manakala mortar sendiri dalam skala millimeter. Campuran simen merupakan komposit yang terbentuk daripada penghidratan gel CSH, CH, liang kapilari dan fasa-fasa kimia yang lain. Ukuran CSH-nya adalah dalam skala nanometer. Perbezaan skala tersebut akan mempengaruhi proses pemindahan sesuatu ion dalam selaput konkrit. Secara spesifiknya boleh dikatakan bahawa proses pemindahan ion tersebut berhubung dengan struktur liang konkrit dan perkaitan antara liang-liang tersebut

2.2.1 Struktur liang

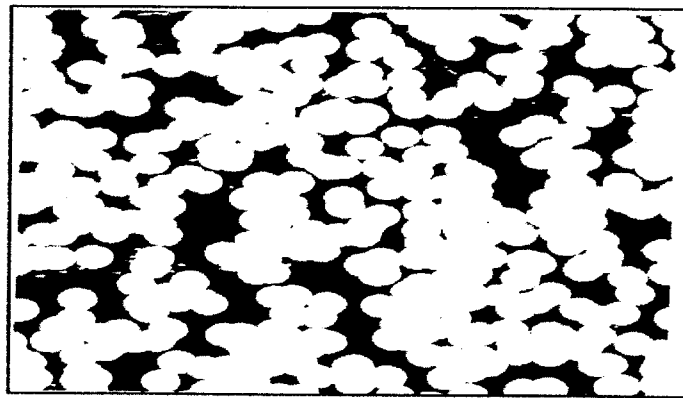
Secara umumnya liang dapat didefinisikan sebagai isipadu dalam konkrit yang tidak diisi oleh simen. Pada konkrit liang-liang tersebut terbentuk kerana penghidratan simen tidak mengisi keseluruhan isipadu. Dalam mikrostruktur konkrit, liang-liang adalah berbeza berdasarkan ukurannya iaitu

Gel	$\pm 1.5 \text{ nm}$
Kapilari	$\pm 1.3 \text{ }\mu\text{m}$
Liang udara	$\pm 25 - 500 \text{ }\mu\text{m}$ atau lebih

Gel mengandungi banyak kristal kalsium hidroksilikat sehingga gel ini disebut juga dengan hidrosilikat gel. Ruangan yang terbentuk diantara partikel simen yang terhidrat dan yang tidak terhidrat dan membentuk liang disebut liang kapilari. Isipadu liang kapilari tersebut akan berkurang dengan peningkatan darjah penghidratan. Liang udara umumnya bulat terbentuk akibat adanya gelembung-gelembung udara dalam campuran konkrit. Gelembung-gelembung udara tersebut melekat pada permukaan butiran simen ataupun agregat dan tidak terlepas semasa proses pencampuran terjadi. Pertautan atau pengikatan antara liang terjadi akibat perubahan isipadu pada sistem simen-air selama proses penghidratan. Proses ini memiliki isipadu yang lebih kecil dibandingkan isipadu awal bahan-bahan yang dicampur

2.2.2 Pengikatan atau pertautan antara liang

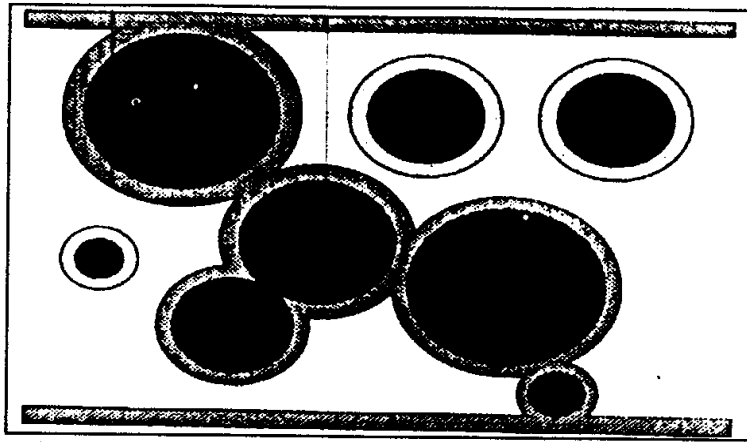
Rajah 2.2 menunjukkan contoh sederhana gambar dua dimensi yang dimaksudkan dengan pengikatan atau pertautan antara liang. Lingkaran-lingkaran putih akan membentuk struktur yang bersambungan apabila lingkaran-lingkaran tersebut bertambah banyak menutupi kawasan gambar. Gumpalan-gumpalan akan menjadi berterusan ketika telah menutupi sekitar 68% dalam gambar (**Garboczi E.J, 1995**). Dalam gambar tersebut dapat dilihat bahawa lingkaran tersebut mempunyai interaksi daerah sekitar 72% sehingga telah membentuk jalan yang saling berhubung. Bayangkan kawasan gambar tersebut adalah konkrit dan gumpalan sebagai liang-liang. Konkrit akan memiliki keporosan yang tinggi maka akan terbentuk sistem liang kapilari yang saling bersambung. Kadar peresapan menjadi tinggi dan proses perpindahan ion-ion melalui konkrit menjadi cepat. Pengikatan liang akan hilang dengan berkurangnya keporosan konkrit sehingga proses perpindahan akan dikawal oleh liang-liang gel yang kecil



Rajah 2.2 : Gambar skematik pengikatan antara liang-liang

2.2.3 Kriteria mortar

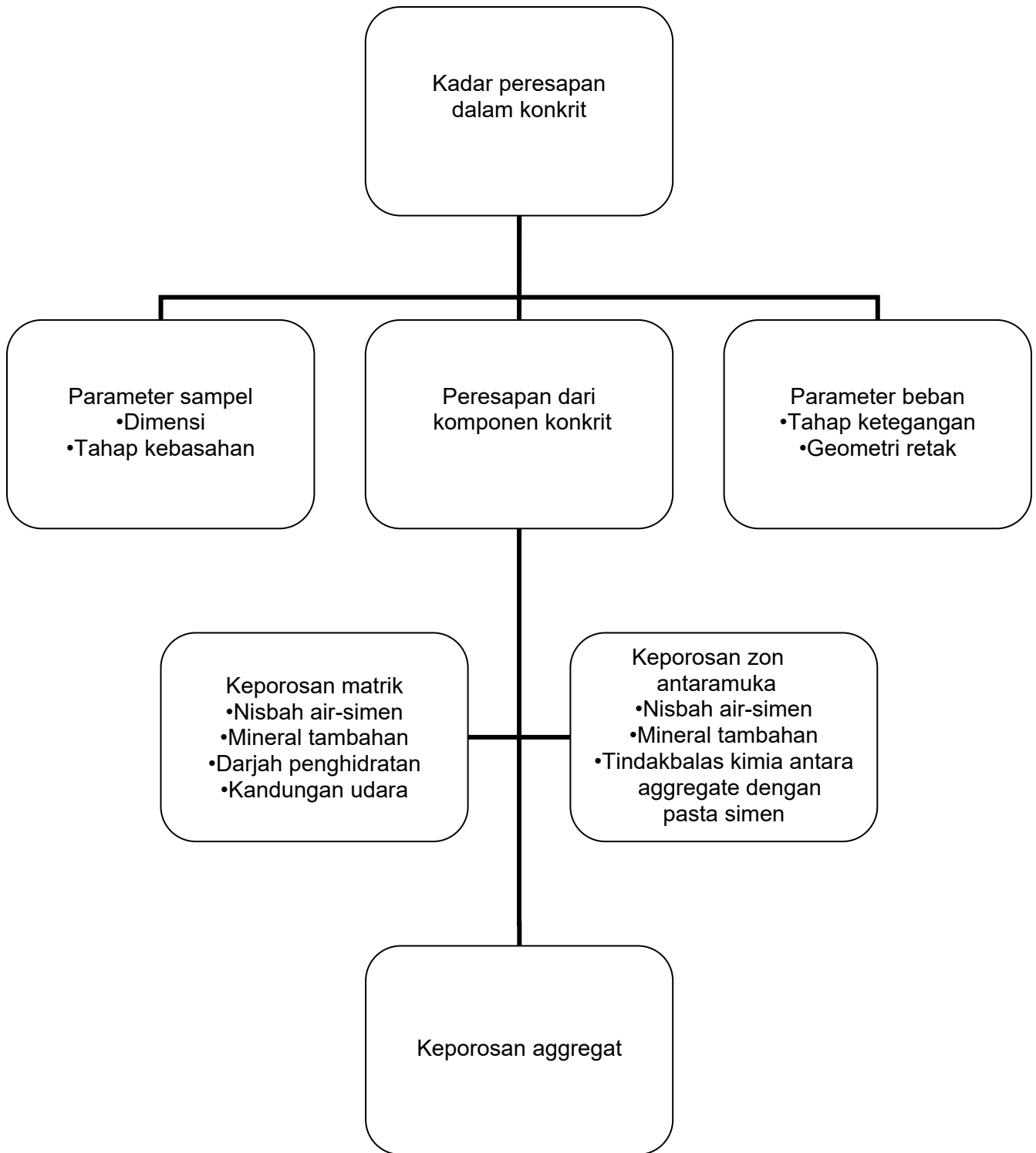
Mortar merupakan bahan komposit dengan aggregate halus (pasir) sebagai bahan asas dan simen sebagai matriknya. Secara teori, penambahan aggregate dapat mengurangi kadar resapan mortar kerana dapat menutup saluran-saluran yang bersambung pada matrik khususnya penggunaan mortar dengan nisbah air-simen dengan keporosan kapilari yang tinggi. Daripada hasil kajian, kehadiran aggregate menjadikan pasta simen mempunyai kadar peresapan yang tinggi (sekitar 3-10 kali lebih besar disbanding simen pasta (**Young J.F, 1998**)) akibat terbentuknya zon antaramuka antara simen dengan aggregate yang mempunyai keporosan kapilari yang tinggi berbanding pada pasta simen tanpa aggregate. Apabila zon antaramuka dalam matrik pastinya terlalu banyak ini akan membentuk bahagian yang tersambung sehingga menyebabkan ketahanannya terhadap penetrasi dari lingkungan menjadi lebih rendah. Persambungan dari zon antaramuka tersebut disebut dengan 'perkolasi' seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.3. Hasil penelitian dibawah mikroskop menunjukkan bahawa sebahagian besar dari liang kapilari yang terbentuk pada zon antaramuka mengalami perkolasi (**Alexander M., dkk., 1998**). Zon antaramuka terbentuk akibat distribusi air pada pasta disekitar aggregate sehingga produk penghidratan simen kurang efektif mengisi ruang tersebut selama proses penghidratan berlaku (**Alexander M., dkk., 1998**). Fenomena lain yang turut menyebabkan terbentuknya zon antaramuka tersebut iaitu akibat adanya pertumbuhan satu sisi disekitar aggregate (**Garboczi E.J, 1995**). Pada kawasan yang terletak sangat dekat dengan permukaan aggregate, pertumbuhan reaktif untuk mengisi kawasan tersebut hanya hanya berasal dari simennya dan bukannya berasal dari aggregate



Rajah 2.3 : Skematik dua dimensi zon antaramuka disekitar agregat (hitam) dan zon transisi yang mengalami perkolasi (abu-abu kehitaman) (Garboczi E.J, 1995).

2.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Keporosan Konkrit

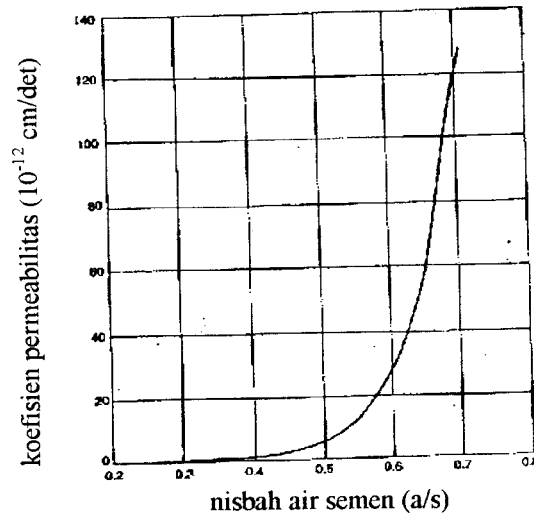
Secara keseluruhannya keupayaan penyerapan konkrit bergantung pada parameter-parameter sampel, kelebihan komponen-komponen konkrit dan parameter beban. Masing-masing parameter dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti yang ditunjukkan pada Jadual 2.10. Tetapi pada bahagian ini hanya dijelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi keporosan dan kaitan keliangan seperti nisbah air-simen dan perawatan



Jadual 2.1 : Faktor-faktor yang mempengaruhi kadar peresapan konkrit

2.3.1 Nisbah air-simen

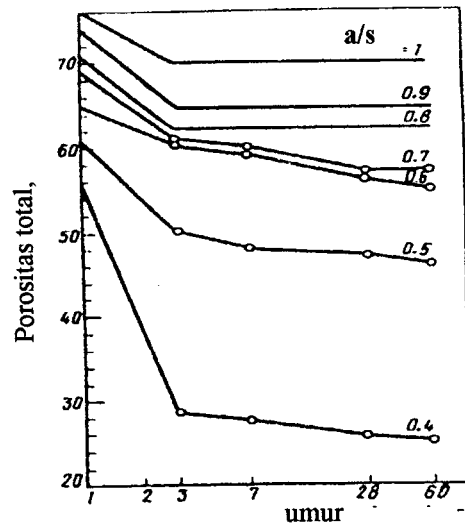
Bagi campuran simen yang mempunyai darjah pengeringan yang sama, penyerapan menurun dengan berkurangnya nisbah air-simen seperti yang ditunjukkan pada Rajah 2.11. Secara umum keadaan tersebut berlaku juga untuk mortar dan konkrit. Rajah 2.11 memperlihatkan bahawa pada nisbah air-simen diatas 0.6, kadar penyerapan meningkat dengan cepat



Rajah 2.4 : Hubungan kadar peresapan air terhadap nisbah air-simen

Rajah 2.12 memperlihatkan bahawa peningkatan nisbah air-simen dari 0.8 hingga 1 memberikan penurunan keporosan yang kecil setelah konkrit dimatangkan selama 3 hari. Pada penggunaan nisbah air-simen sebanyak 0.4, terjadi penurunan keporosan yang banyak jika dibandingkan dengan nisbah air-simen yang tinggi. Hal ini disebabkan konkrit dengan nisbah air-simen yang tinggi, sisa air yang tidak digunakan untuk proses

penghidratan simen lebih banyak dibandingkan konkrit dengan nisbah air-simen yang lebih rendah sehingga ketika sisa air tersebut menguap akan meninggalkan ruang kosong yang lebih banyak dan keporosan dengan nisbah air-simen lebih tinggi akan lebih besar



Rajah 2.5 : Perubahan keporosan pada nisbah air-simen (a/s) yang berbeza

Berdasarkan teori pembentukan struktur (Ivanov F.M., dkk, 1993) pada pengerasan simen disebutkan bahawa ketika simen dan air tercampur akan terbentuk lapisan air diantara butiran-butiran simen pada campuran konkrit. Semakin tinggi nilai awal nisbah air-simen semakin tebal lapisan air yang terbentuk. Lapisan air yang terbentuk pada campuran konkrit tersebut menyebabkan liang-liang kapilari tersambung saat mengeras.

2.3.2 Pematangan

Pematangan boleh dikatakan sebagai proses untuk mencapai kekuatan tekan yang paling baik bagi konkrit. Kebanyakan dilakukan dengan menjaga kehilangan airnya atau memberikan tambahan air kepermukaan konkritnya. Proses pematangan bertujuan agar proses penghidratan tetap berlangsung sehingga diperolehi konkrit dengan keporosan yang cukup rendah. Proses penghidratan hanya terjadi dengan kehadiran air. Kehilangan air sebagai media menjadikan semakin cepat berhentinya reaksi penghidratan tersebut. Untuk memperolehi darjah penghidratan tertentu pada proses pematangan konkrit akan bergantung juga pada nisbah air-simen yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada jadual 2.0. Tetapi waktu pematangan yang dicadangkan untuk konkrit adalah selama 28 hari. Penambahan bahan tambah bertindakbalas secara lambat untuk memperolehi hasil yang diharapkan memerlukan masa pematangan yang cukup lama. Dari kajian yang dijalankan oleh Alhozaimy [Alhozaimy, A., 1997] didapati bahawa dengan peningkatan masa pematangan untuk mortar dengan menggunakan abu terbang sebagai bahan tambah simen akan memberikan penurunan kadar peresapan yang diinginkan

Nisbah air-simen	Darjah penghidratan	Masa pematangan
0.4	50%	3 hari
0.45	60%	7 hari
0.50	70%	14 hari
0.50	92%	6 bulan
0.70	100%	1 tahun
>0.70	100%	Tidak mungkin

Jadual 2.2 : Masa pematangan konkrit yang diperlukan untuk memperoleh darjah penghidratan tertentu (Ivanov F.M., dkk, 1993).

2.4 Penentuan Keofisen Peresapan Efektif Ion Klorida Dengan Kaedah Dipercepatkan

Penentuan keofisen peresapan ion klorida dengan kaedah dipercepatkan dilakukan dengan keadaan mantap ataupun secara tidak mantap seperti mana kaedah konvensional iaitu perendaman. Persamaan yang digunakan untuk kaedah ini adalah persamaan *Nerst-Plank* (Delagrave A., dkk, 1996). Zhang dan Gjory dalam penulisannya (Zhang T., Gjorv O.E., 1994) juga memberikan persamaan untuk memperoleh koefisien peresapan ion klorida dengan kaedah yang dipercepatkan tersebut dengan menggunakan persamaan *Einstein* yang telah diubahsuai. Dalam persamaan tersebut diberikan suatu faktor kakisan akibat adanya tindakbalas ion-ion dalam larutan elektrolit