

**KAJIAN KES KE ATAS MASALAH KECACATAN DAN KERETAKAN  
KONKRIT DI EMPANGAN HIDROELEKTRIK STESEN JANAELEKTRIK  
CHENDEROH**

Oleh

Mohd Yusof bin Kasim

Disertasi ini dikemukakan kepada

**UNIVERSITI SAINS MALAYSIA**

Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat  
keperluan untuk ijazah dengan kepujian

**SARJANA MUDA KEJURUTERAAN ( KEJURUTERAAN AWAM )**

Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam  
Universiti Sains Malaysia

Feb, 2005

## ABSTRACT

Construction industry in Malaysia today is developing very rapid .We are moving towards a developed country in the twenty first century. In spite of the vast concrete usage where new projects are being implemented, there are still a lot of weaknesses such as the failure or deterioration of a concrete structure. Whenever a concrete structure fails to perform, a big amount of money has to be spent in order to replace or to rectify it. Tenaga Nasional Berhad ( TNB ) as one of the biggest power producer in Malaysia, having all the links of hydro electric power plants is also facing the same problems for their concrete structure. Through this case study on the defects and cracking of concrete at the Chenderoh Hydro Electric Power Station, the most common factors for concrete failure at service such as weakness during construction, chemical attacks, carbonation, geology and geographical factors or even the raw materials used will be known. Cracks width are being monitored every month for a certain period. From the data collected, studies has been carried out and found that the cracking of the concrete structures are mainly due to drying shrinkage or thermal cracking and needs rehabilitation in order to prolong its service with ease and safe.

## ABSTRAK

Industri pembinaan di Malaysia adalah merupakan suatu bidang yang sedang berkembang maju dan cepat selaras dengan kemajuan negara. Kita sedang menuju ke arah negara maju menjelang abad ke 21 ini. Tidak dapat kita nafikan penggunaan konkrit di dalam pembinaan adalah sangat meluas sekali. Namun di sebalik kehairahan kita atau pihak-pihak yang berkenaan ingin menjayakan sesuatu projek pembinaan misalnya, masih terdapat beberapa kelemahan seperti berlakunya kecacatan dan kegagalan ke atas struktur konkrit yang dibina. Apabila terdapatnya kecacatan ataupun kegagalan ke atas struktur konkrit terpaksa pihak berkenaan mengeluarkan perbelanjaan yang besar untuk menanganinya. TNB sebagai sebuah syarikat yang mempunyai tanggungjawab membekalkan tenaga elektrik dengan rangkaian stesen janakuasa dan empangan yang diperbuat dari konkrit, tidak dapat dielakkan dari mengalami kerosakan dan kecacatan pada struktur konkrit. Melalui kajian kes ini, akan dapat diketahui punca keretakan dari pelbagai faktor seperti kaedah pembinaan, serangan kimia seperti pengkarbonatan, faktor geologi dan geografi, faktor bahan yang digunakan dan sebagainya. Saiz keretakan pada struktur konkrit itu perlu dipantau pada setiap bulan untuk suatu jangkamasa. Daripada data yang dicerap, hasil kajian mendapati kejadian keretakan pada struktur konkrit pada umumnya adalah disebabkan oleh pengecutan kering dan pergerakan awal haba serta memerlukan dijalankan kerja-kerja membaikpulih supaya struktur tersebut terjamin lebih kukuh dan jangka hayatnya dapat dipanjangkan serta selamat digunakan.

## PENGHARGAAN

Segala puji-pujian kehadiran Illahi kerana dengan limpah kurnia dan rahmatNya dapat saya menyiapkan laporan ini seperti yang dirancang. Salawat dan salam ke atas junjungan besar Nabi Muhammad S.A.W., para sahabat dan keluarga baginda.

Saya ingin merakamkan setinggi penghargaan kepada penyelia projek ini Dr. Megat Azmi Megat Johari di atas sumbangan, bimbingan dan tunjuk ajar beliau yang diberikan sehingga dapat menyiapkan laporan ini .

Penghargaan juga ditujukan kepada pegawai-pegawai TNB , En Zulkifli Muda yang telah banyak memberikan sokongan serta bimbingan dari peringkat awal lagi.

Akhir sekali kepada ayahanda(Allahyarham Kasim), bonda Hajah Zauyah, bonda Hajah Zabedah, isteri serta anak-anak yang dikasihi yang begitu tabah dan banyak memberikan dorongan serta semangat sepanjang tempoh penyediaan laporan ini.

Sekian.

## ISI KANDUNGAN

<b>Perkara</b>	<b>Isi Kandungan</b>	<b>Muka Surat</b>
Abstract		ii
Abstrak		iii
Penghargaan		iv
Isi Kandungan		v
Senarai Gambar rajah		vii
Senarai Gambar		viii
Senarai Jadual		x
<b>Bab 1.</b>	<b>PENGENALAN</b>	<b>1</b>
	1.1 Pendahuluan	1
	1.2 Skop Kajian	2
	1.3 Objektif Kajian	3
	1.4 Metodologi	3
<b>Bab 2.</b>	<b>KEMOROSOTAN STRUKTUR DAN MASALAH MASALAH KETAHANLASAKAN</b>	<b>5</b>
	2.1 Pengenalan	5
	2.2 Punca-Punca Kemerosotan Konkrit	8
	2.3 Bagaimana Keretakan Terjadi	13
	2.4 Keretakan Struktur	14
	2.4.1 Beban Berlebihan	14
	2.4.2 Pengaratan Besi Tetulang	15
	2.4.3 Rekabentuk Yang Tidak Sempurna	16
	2.5 Keretakan Bukan Struktur	16
	2.5.1 Kertakan Pengecutan Plastik	17
	2.5.2 Kertakan Pemendakan Plastik	20
	2.5.3 Keretakan Pengecutan Kering	21
	2.6 Kerosakan Konkrit Disebabkan Serangan Sulfat	22

	2.7	Serangan Klorida	23
	2.8	Pengkarbonatan	24
<b>Bab</b>	<b>3.</b>	<b>KAJIAN KECACATAN DAN KERETAKAN</b>	
		<b>PADA EMPANGAN DAN STRUKTUR BANGUNAN</b>	<b>25</b>
	3.1	Pengenalan	25
	3.2	Objektif Kajian	25
	3.3	Penyelenggaraan Empangan	26
	3.4	Jenis-Jenis Kecacatan dan Kerosakan	29
<b>Bab</b>	<b>4.</b>	<b>KAEDAH BAIKPULIH DAN PENGUKUHAN</b>	
		<b>PADA STRUKTUR</b>	<b>37</b>
	4.1	Pengenalan	37
	4.2	Pemilihan Bahan Baik Pulih	40
	4.3	Sifat-Sifat Penting Bahan Baik Pulih	43
	4.4	Kaedah Suntikan Polimer	46
	4.5	Kaedah Baik Pulih Pada Penyerpihan	51
	4.6	Kaedah Baik Pulih Struktur Yang Disebabkan Oleh Kemusnahan Fizikal atau Mekanikal	54
<b>Bab</b>	<b>5.</b>	<b>KESIMPULAN DAN CADANGAN</b>	<b>55</b>
	5.1	Perbincangan	55
	5.2	Kesimpulan	56
	5.3	Cadangan	59
		<b>RUJUKAN</b>	<b>60</b>

**SENARAI GAMBAR RAJAH****MUKA SURAT**

Gambar rajah 1.1	Carta Aliran Kerja	4
Gambar rajah 2.1	Kesan Keadaan Pendedahan Terhadap Ketahananlasaklan Konkrit	11
Gambar rajah 2.2	Ilustrasi grafikalk perkembangan ketahananlasakan Konkrit mengikut masa	11
Gambar rajah 2.3	Retakan Penjuru	18
Gambar rajah 2.4	Retakan Pemendakan Plastik	20
Gambar rajah 4.1	Proses Pemilihan Bahan Baik Pulih	42
Gambar rajah 4.2	Ujian untuk kekuatan ikatan	44
Gambar rajah 4.3	Sekuen kerja mengepamResin Pada Dinding Konkrit	50

**SENARAI GAMBAR****MUKA SURAT**

Gambar 2.1( a )	Hakisan Ke atas Permukaan Alurlimpah	9
Gambar 2.1( b )	Hakisan Ke atas Permukaan Alurlimpah Akibat Agen Cuaca	9
Gambar 2.2	Pengaratan Besi Tetulang Akibat Hakisan Di Permukaan	10
Gambar 2.3	Keretakan Akibat Bebanan Lebihan	15
Gambar 3.1( a )	Kedudukan Crack Gauge Pada Dinding Empangan	27
Gambar 3.1( b )	Kedudukan Crack Gauge Pada Dinding Galeri Pejalan Kaki	27
Gambar 3.2	Keretakan Pada Dinding Pier 2 Akibat Penyerpihan	30
Gambar 3.3	Keretakan Pada Lantai Akibat Hentaman	31
Gambar 3.4( a )	Keretakan Pada Bahagian Dinding Empangan Akibat Pengecutan Kering	32
Gambar 3.4( b )	Keretakan Pada Pier 1 Akibat Pengecutan Kering	32
Gambar 3.5( a )	Keretakan Pada Dinding Empangan	33
Gambar 3.5( b )	Keretakan Pada Pier No 2	34
Gambar 3.5(c )	Keretakan Pada dinding sebelah Bangunan janakuasa	34
Gambar 4.1	Menggunakan ‘crack scale’ Untuk Mengukur Lebar Retakan	39



Gambar 4.2	Menggunakan jet air Untuk Penyediaan Permukaan	39
Gambar 4.3	Penyediaan Permukaan Menggunakan Alat Hacker	40
Gambar 4.4	Keadaan Permukaan Lantai setelah Dipotong, Digerudi dan Dipasang Paip Kemasukan	47
Gambar 4.5	Paip Kemasukan dipasang Pada Jarak 0.3-0.5 meter	48
Gambar 4.6	Penyediaan Lubang Kemasukan	48
Gambar 4.7	Permukaan Konkrit Selepas Suntikan Epoksi	50
Gambar 4.8	Membaiki Penyerpihan Konkrit	52
Gambar 4.9	Keadaan Konkrit Dipotong Untuk Tampalan	52
Gambar 4.10	Permukaan Konkrit Selepas Tampalan	53
Gambar 4.11	Besi Tetulang Utama– setelah didedahkan	53

**SENARAI JADUAL****MUKA SURAT**

Jadual 3.1	Borang Cerapan Bulanan Untuk Keretakan	28
Jadual 3.2	Ringkasan Kecacatan Konkrit di Tapak Kajian	35
Jadual 3.3	Ringkasan Masalah Konkrit di Kawasan Kajian	36

# **BAB 1**

## **PENGENALAN**

### **1.1 Pendahuluan**

Sektor pembinaan adalah suatu cabang yang telah menyumbang kepada pembangunan ekonomi negara. Malaysia adalah merupakan sebuah negara yang sedang menuju ke arah negara maju, jadi sewajarnya sektor pembinaan ini bergerak dengan pesatnya sejajar dengan sektor-sektor yang lain di dalam arus pembangunan ekonomi negara. Apabila dikatakan mengenai topik pembinaan, konkrit adalah merupakan sesuatu bahan pembinaan sinonim yang tidak dapat dipisahkan. Dengan harga yang berpatutan, jangkahayat yang sepadan dan amat mudah direkabentuk dalam berbagai gaya dan cara menjadikan konkrit suatu alternatif yang baik. Jika struktur konkrit diselenggara dengan baik, sudah tentu dapat menambah lagi jangkahayatnya. Sebagai contoh, Stesen Janakuasa Elektrik Chenderoh di Perak adalah merupakan salah sebuah stesen janakuasa yang tertua di Malaysia, dibina semasa pemerintahan Inggeris lagi di sekitar tahun 1920-an. Empangan jenis Hollow Amberson dan bangunan stesen yang diperbuat dari konkrit juga telah pun berkhidmat pada jangkamasa tersebut iaitu hampir 70 tahun. Jika dibandingkan dengan usia manusia, ianya telah melebihi separuh abad namun ia masih tetap teguh memberi perkhidmatan yang baik.

Walau bagaimanapun setelah sekian lama, sepertimana diketahui, struktur konkrit akan mengalami kemerosotan dan keretakan serta perlu diperbaiki dan dibaikpulih. Proses membaikpulih tersebut akan memerlukan kos yang agak tinggi, namun begitu pada

akhirnya memang terdapat kebaikan kerana struktur tersebut akan terus dapat memberikan perkhidmatan pada suatu tempoh masa lagi dan pihak yang berkenaan juga akan merasa lega kerana tidak perlu membina struktur empangan yang baru. Umum mengetahui untuk membina sebuah empangan hidroelektrik sememangnya memerlukan peruntukan yang sangat besar dan memakan masa yang lama. Dari segi keselamatan pula, pihak pekerja di stesen berkenaan dan juga penduduk kampung yang berhampiran akan merasa lebih selamat untuk bekerja dan mendiami kawasan tersebut tanpa sebarang kekhawatiran kemungkinan empangan pecah dan sebagainya.

## **1.2 Skop Kajian**

Skop kajian adalah mengenai masalah kecacatan serta keretakan yang berlaku terhadap struktur konkrit di Stesen Janaelektrik Chenderoh, milik Tenaga Nasional Berhad. Kajian tersebut adalah merangkumi beberapa bahagian struktur tersebut iaitu, bangunan stesen janakuasa itu sendiri dan bahagian empangan jenis Hollow Amberson. Bahagian konkrit empangan adalah terdiri dari bahagian tebing kiri (left bank), bahagian tebing kanan (right bank), pintu-pintu kawalan air Radial Gate dan Sector Gate, Pier 1 dan Pier 2, galeri pejalan kaki dan struktur penyokong dinding (girder) serta bahagian alurmasuk. Tinjauan dibuat adalah memfokuskan berkaitan dengan kecacatan konkrit dan keretakan kecil dan besar di sepanjang struktur tersebut.

### **1.3 Objektif Kajian**

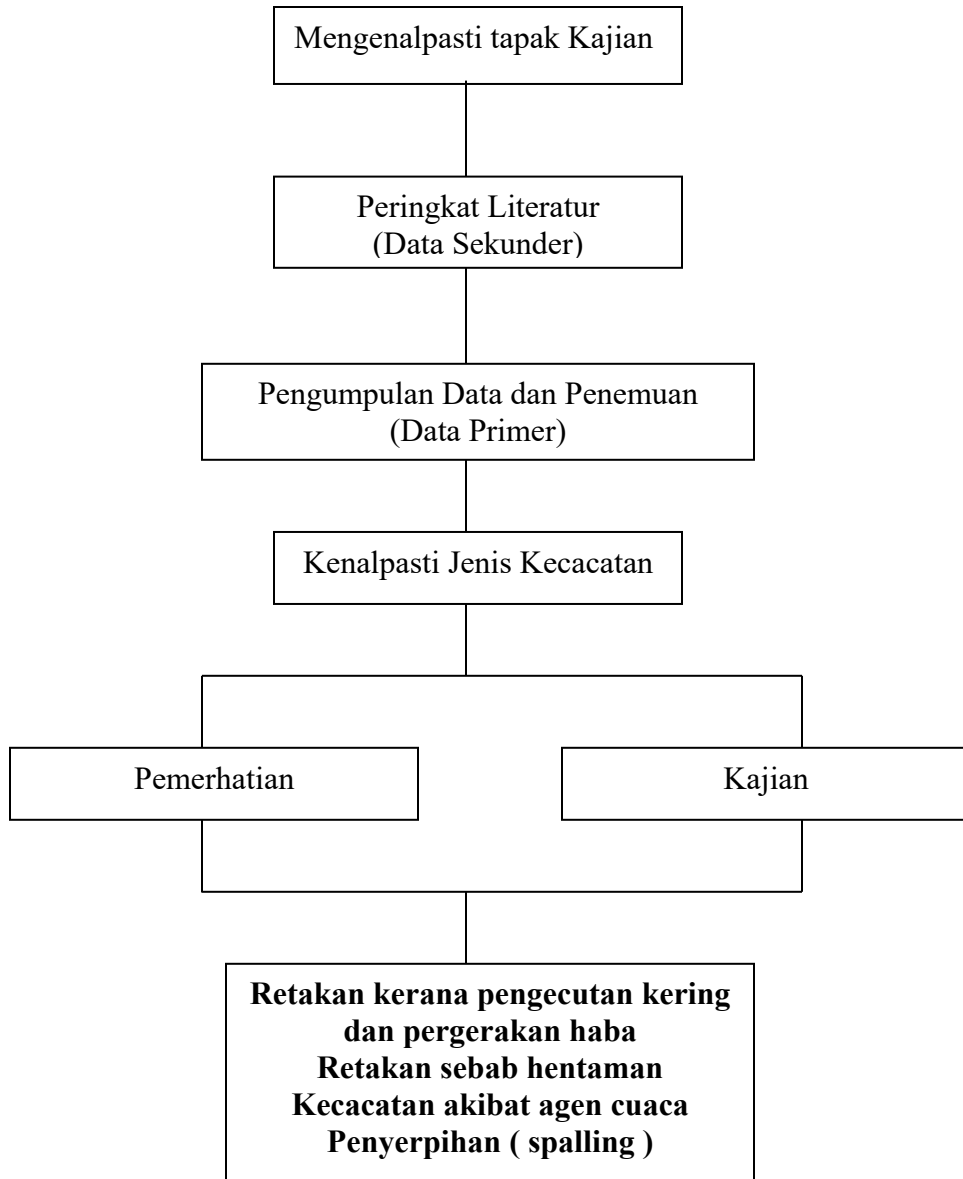
Objektif utama kajian ini dijalankan adalah untuk :-

- ( i ) mengenalpasti punca yang menyebabkan kegagalan dan kecacatan konkrit serta bagaimana keretakan berlaku pada struktur konkrit pada struktur empangan dan bangunan stesen janakuasa.
- ( ii ) memberi cadangan cara baikpulih alternatif yang berkesan jika berlaku kecacatan dan keretakan pada masa hadapan.

### **1.4 Metodologi**

Perancangan kerja bagi kajian kes ini bermula dari pemilihan tapak kajian sehinggalah kepada pemilihan kaedah pembaikan. Beberapa pendekatan dilakukan bagi tujuan mengumpulkan maklumat mengenai kajian ini seperti yang ditunjukkan dalam carta aliran kerja di Gambarajah 1.1.

CARTA ALIRAN KERJA



Gambar rajah 1.1 : Carta Aliran Kerja

## **BAB 2**

### **KEMOROSOTAN STRUKTUR DAN MASALAH KETAHANLASAKAN**

#### **2.1 Pengenalan**

Struktur konkrit adalah merupakan bahan binaan yang tahan lasak, namun proses pembinaannya hendaklah mengikut piawaian yang ditetapkan. Jika gagal mengikut ketetapan dalam prosedur pembinaan, akan berlakulah kecacatan dan kemerosotan tahap perkhidmatan.

Ketahanlasakan pula bolehlah ditakrifkan sebagai keupayaan konkrit untuk menahan proses kemerosotan terhadap luluhawa, lelasan, serangan ion yang agresif dan lain-lain mengikut tempoh hayat rekabentuk. Konkrit yang tahanlasak adalah konkrit yang dapat mengekalkan bentuknya dan kualiti perkhidmatan mengikut tempoh masa ia direkabentuk. Ketahanlasakan konkrit terutamanya kepada tindakan-tindakan kimia sangat bergantung kepada kebolehtelapan konkrit tersebut, terutamanya penutup konkrit (concrete cover). Kebolehtelapan adalah tahap kemudahan bendalir (cecair/gas) menyusuki dan bergerak di dalam konkrit di bawah perbezaan tekanan. Penusukan dan pergerakan air, karbon dioksida dan oksigen adalah juga bergantung kepada kebolehtelapan konkrit. Kebolehtelapan boleh diukur menggunakan alat kebolehtelapan gas ( gas permeability apparatus ).

Di antara faktor –faktor yang boleh mempengaruhi ketahananlasakan konkrit adalah :-

- Nisbah air / Pengikat

Pengurangan nisbah air / pengikat (water binder ratio) akan mengurangkan kebolehtelapan dan keliangan konkrit dan meningkatkan ketahananlasakan. Apabila keadaan konkrit yang agak keras ini akan menjejaskan tahap kebolehkerjaan.

- Kandungan Bahan Penyimenan

Kandungan simen yang terlalu tinggi akan menyebabkan keretakan haba (thermal crack) kerana suhu bahan simen yang tinggi.

Apabila kandungan bahan simen kurang pula akan menyebabkan tahap ketahananlasakan menjadi rendah.

- Penggunaan Bahan Tambah Mineral

Penggunaan bahan tambah mineral seperti fly ash, silica fume dan lain-lain boleh meningkatkan ketahananlasakan konkrit kerana saiz partikel bahan yang halus dapat bertindak sebagai pengisi ruang dan mengurangkan kebolehtelapan dan keliangan.

- Pemadatan Yang Sempurna

Pemadatan yang baik perlu dijalankan agar terhasil konkrit yang lebih padu kerana konkrit yang tidak padu akan menghasilkan banyak keliangan dan mengurangkan ketahananlasakan.

Bagaimanapun jika pemadatan yang terlebih dijalankan, masalah pengasingan akan berlaku. Agregat akan berkumpul pada sesuatu bahagian sahaja dan



meninggalkan pasir dan bahan pengikat, ini akan menjadikan konkrit semakin lemah.

- Pengawetan Awal

Pengawetan awal perlu dijalankan ke atas konkrit bagi mengelakkan kehilangan air di dalam konkrit. Apabila konkrit dituang terutamanya dalam isipadu yang banyak, haba akan terhasil. Suhu diluar konkrit yang lebih sejuk akan menyebabkan haba bertindak keluar dengan cepat dan akan menghasilkan keretakan haba.

- Keadaan Pendedahan

Pendedahan struktur konkrit kepada keadaan yang agresif seperti air laut yang selalu pasang surut dan masin amat mempengaruhi akan ketahananlasakan konkrit dengan lebih cepat. Penggunaan teknik seperti perlindungan katod (cathodic protection ) akan membantu ketahananlasakan konkrit.

- Penyenggaraan

Penyenggaraan berkala seperti rawatan permukaan perlu dilakukan bagi membantu kepada ketahananlasakan konkrit.

## **2.2 Punca –punca kemerosotan konkrit**

Kemerosotan konkrit boleh disebabkan oleh tindakan-tindakan fizikal, mekanikal dan juga kimia :

#### Tindakan Fizikal :

Kesan suhu yang melampau seperti terdedah kepada kejadian kebakaran (fire) serta tindakan frost (freeze thaw action). Perubahan isipadu yang disebabkan oleh suhu dan kecerunan lembapan (temperature and humidity gradient), serta perbezaan pekali haba (thermal coefficient) di antara agregat dan simen matriks adalah merupakan kejadian tindakan fizikal ke atas konkrit dan menjadi antara punca kemerosotan mutu konkrit.

#### Tindakan Mekanikal :

Di antara tindakan mekanikal yang terjadi ke atas konkrit adalah lelasan (abrasion), hakisan (erosion), peronggaan (cavitation), beban lebihan dan beban berulang serta hentaman (impact). Keadaan permukaan konkrit yang terhakis adalah seperti yang ditunjukkan dalam gambar-gambar 2.1 (a), 2.1 (b). Gambar 2.2 menunjukkan keadaan besi tetulang yang terdedah kerana permukaan konkrit yang telah terhakis. Keadaan ini akan menyebabkan pengurangan berlaku ke atas tetulang kerana terdedah kepada keadaan lembab dan panas.



Gambar 2.1 ( a ) : Hakisan ke atas permukaan alurlimpah



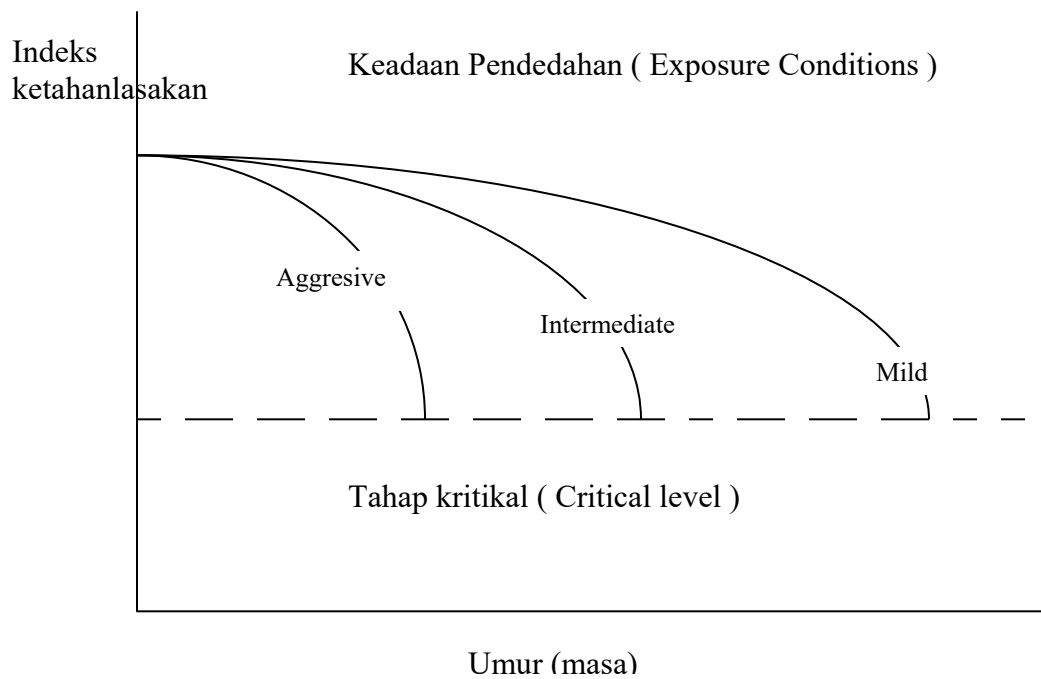
Gambar 2.1 ( b ) : Hakisan ke atas permukaan alurlimpah akibat agen cuaca



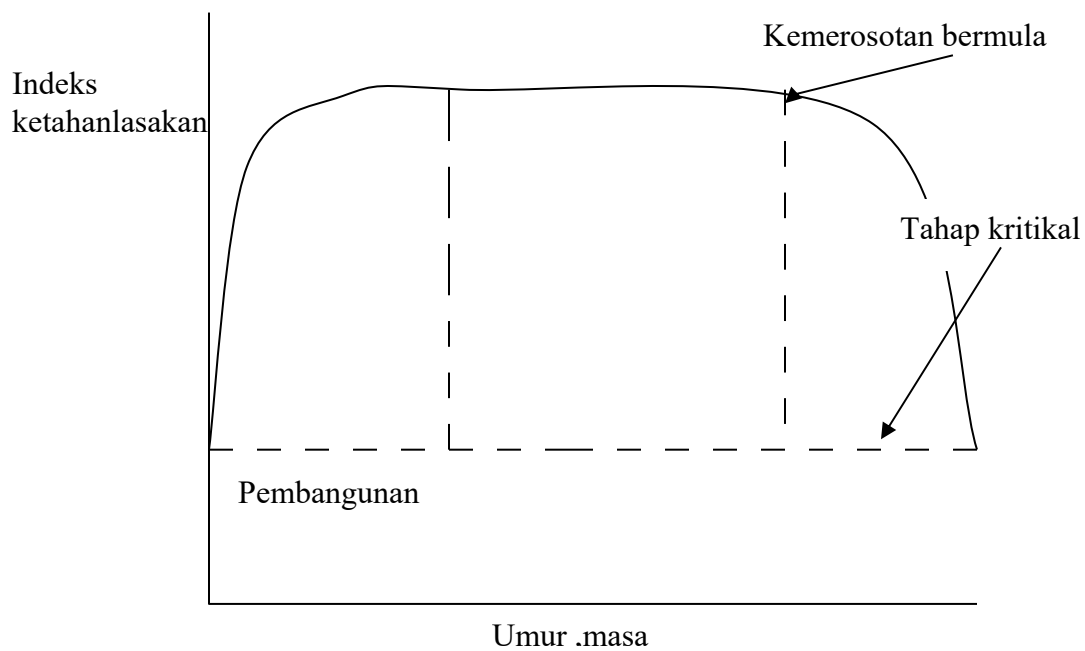
Gambar 2.2 : Pengaratan besi tetulang akibat hakisan

#### Tindakan Kimia :

Di antara tindakan kimia yang berlaku ke atas konkrit dan menjadi sebahagian punca kemerosotan konkrit adalah serangan sulfat (sulphate attack). Ion-ion sulfat dari persekitaran yang dapat menembusi konkrit akan bertindakbalas dengan  $\text{Ca(OH)}_2$  dan  $\text{C}_3\text{A}$  untuk membentuk gypsum dan ettringite dan seterusnya akan berlaku pengembangan isipadu serta keretakan pada konkrit. Pengkarbonatan pula adalah tindakbalas karbon dengan simen matriks untuk membentuk kalsium karbonat yang boleh mempercepatkan lagi proses pengaratan tetulang akibat penurunan kealkalian. Faktor yang mempengaruhi serangan klorida pula adalah nisbah air simen, bahan gantian yang digunakan, suhu persekitaran dan suhu konkrit, kualiti pengawetan, umur konkrit serta kebolehtelapan.



Gambar rajah 2.1 : Kesan Keadaan Pendedahan Terhadap Ketahananlasakan Konkrit



Gambar rajah 2.2 : Ilustrasi grafikal bagi perkembangan ketahananlasakan konkrit mengikut masa

Pasca pembinaan pula dalam keadaan yang terdedah pada agen cuaca dan alam sekitar akan merubah ciri-ciri konkrit dan ia akan mengalami kecacatan atau kerosakan. Fenomena kecacatan dan kerosakan mengakibatkan kemerosotan mutu yang sering dialami antaranya adalah rekahan, retakan, pecah, rayapan dan penjujukan.

Konkrit boleh mengalami keretakan dalam beberapa fasa jangkahayatnya seperti berikut :

- Fasa plastik – beberapa jam pertama selepas dituang dan belum keras lagi.
- Fasa konkrit sedang mengeras – tiga hingga empat minggu pertama.
- Fasa konkrit telah mengeras – selepas 28 hari.

Dalam keadaan fasa plastik, iaitu sebelum keras, konkrit boleh mengalami keretakan oleh beberapa sebab :

- (i). Pengecutan plastik iaitu semasa konkrit masih muda sebelum konkrit mengeras. Ia merupakan keretakan yang terbentuk pada permukaan konkrit yang terdedah kepada atmosfera selepas konkrit dituang atau diletak.
- (ii). Perbezaan pemendakan pada sokongan.
- (iii). Pemendakan plastik berlaku apabila terdapat sejumlah besar penjujukan (bleeding) dan pemendakan pada permukaan konkrit dan pemendakan adalah terhalang.

Dalam fasa konkrit sedang mengeras, ia boleh mengalami keretakan disebabkan :

- (i). Halangan terhadap pergerakan awal haba
- (ii). Halangan terhadap pengecutan kering awalan
- (iii). Perbezaan terhadap keadaan kedudukan penyokong

Dalam fasa konkrit telah keras dan dalam perkhidmatannya, ia boleh mengalami keretakan oleh sebab :

- (i). Beban lebihan yang dikenakan.
- (ii). Kesilapan rekabentuk.
- (iii). Proses pembinaan kurang teratur.
- (iv). Pergerakan kedudukan asas.
- (v). Serangan sulfat terhadap simen dalam konkrit.
- (vi). Pengkaratan besi tetulang yang disebabkan oleh :
  - a) Serangan klorida pada tetulang.
  - b) Kesan pengkarbonatan pada konkrit.
  - c) Kesan pengoksidaan pada tetulang akibat kelembapan.
- (vii). Tindakbalas alkali-agregat.
- (viii). Keadaan cuaca.
- (ix). Pengecutan dalam jangka panjang.

### **2.3 Bagaimana keretakan terjadi**

Keretakan bolehlah dibahagikan kepada dua kategori iaitu :

- (i). Keretakan struktur
- (ii). Keretakan bukan struktur

### **2.4 Keretakan Struktur**

Keretakan ini bolehlah ditakrifkan sebagai bahagian struktur yang mengalami kerosakan serius serta menampakkan ciri-ciri yang tidak selamat untuk menanggung beban.

Ini adalah disebabkan oleh beberapa faktor iaitu :

- (i). Beban lebihan (over loading)
- (ii). Pengaratan besi tetulang
- (iii). Rekabentuk yang tidak sempurna

#### **2.4.1 Beban Berlebihan**

Beban lebihan terjadi apabila penambahan beban pada struktur konkrit asal dikenakan tanpa mengambilkira beban rekabentuk asal. Penambahan beban menyebabkan struktur tidak berupaya menanggung beban yang besar dan boleh mengakibatkan keretakan atau kegagalan. Retak yang disebabkan oleh lebihan beban adalah kecil dan pada kebiasaannya tidak memerlukan rawatan keseluruhan. Suntikan resin mungkin boleh dilakukan ke dalam konkrit jika ianya adalah retakan yang tidak bergerak lagi (dormant crack).





Gambar 2.3 : Keretakan akibat bebanan lebih

#### **2.4.2 Pengaratan Besi Tetulang**

Faktor-faktor yang menyebabkan pengaratan besi tetulang adalah pengkarbonatan dan serangan klorida. Klorida di dalam konkrit boleh diperolehi dari beberapa sumber seperti berikut :

- Air bancuhan
- Batu baur (aggregates)
- Air untuk pengawetan
- Pendedahan kepada persekitaran berklorida

Pengkarbonatan disebabkan oleh karbon dioksida dalam udara yang meresap masuk ke dalam konkrit dan membentuk suatu campuran berasid. Ini akan mengurangkan sifat alkali semulajadi konkrit, apabila nilai pH disekeliling besi tetulang jatuh di bawah paras 11.5 pengaratan akan bermula (Mays,1992).

Pada umumnya klorida yang memang sedia ada dalam konkrit dari sumber di atas akan bercampur semasa proses pengerasan konkrit. Klorida menyerap masuk ke dalam konkrit, bertindakbalas dengan kalsium hidroksida dalam konkrit terkeras. Tindakbalas ini mengurangkan sifat alkali konkrit yang bertindak sebagai lapisan selaput (oksida pasif) yang melindungi besi tetulang. Dengan wujudnya lembapan dan oksigen dan hilangnya sifat kealkalian pada permukaan besi tetulang, maka proses pengaratan terjadi.

### **2.4.3 Rekabentuk Yang Tidak Sempurna**

Kesilapan atau kecuaiian dalam membuat pengiraan dan anggaran rekabentuk akan menyebabkan struktur konkrit tidak dapat menanggung beban rekabentuk. Ini akan menyebabkan keretakan berlaku pada struktur konkrit.

## **2.5 Keretakan Bukan Struktur**

Keretakan bukan struktur berlaku disebabkan oleh faktor-faktor selain dari faktor dinyatakan di atas. Proses pengaratan besi tetulang akan bermula jika keretakan bukan struktur tidak diteliti.

Di antara jenis-jenis keretakan bukan struktur adalah :

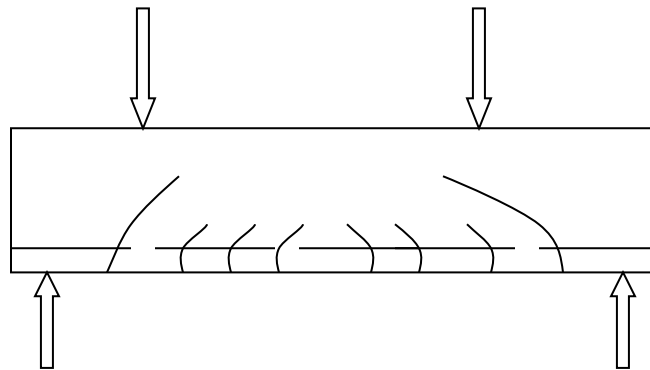
- (i). Keretakan pengecutan plastik
- (ii). Keretakan pemendakan plastik
- (iii). Keretakan pengecutan kering
- (iv). Halangan terhadap pengecutan kering awalan
- (v). Keretakan disebabkan oleh pengaratan tetulang
- (vi). Keretakan disebabkan oleh tindakbalas alkali silika
- (vii). Keretakan disebabkan oleh hasil kerja yang kurang baik
- (viii). Keretakan pemetaan (crazing )

### **2.5.1 Keretakan Pengecutan Plastik**

Pengecutan plastik berlaku pada konkrit yang masih muda iaitu sebelum konkrit mengeras atau konkrit belum mencapai kekuatan yang diperlukan ( Nevile, 1991). Ia berpunca daripada kehilangan sebahagian dari air bancuhan konkrit berkenaan selepas sahaja konkrit dituang. Keretakan plastik terjadi dalam masa satu jam selepas perletakan konkrit, walaupun ia tidak dapat dikesan selepas jangka waktu yang lama. Keretakan jenis ini bermula daripada permukaan yang terdedah apabila permukaan mengalami penyejatan dan seterusnya menyebabkan pengecutan pada lapisan permukaan tersebut.

Retakan yang disebabkan oleh pengecutan plastik biasanya terjadi dalam keadaan berikut :

- (i). Retak penjuru – berlaku pada sudut lebih kurang 45 darjah ke bahagian hujung lantai, dengan kekerapan jarak dari 0.2 meter hingga 2 meter.( Rajah 3.2 ) Juga boleh terjadi pada arah angin kerana pengecutan agak kelihatan ketara dalam arah angin.



Gambar rajah 2.3 : Retakan penjuru ( Raina, 1994 )

- (ii). Retakan petaan yang besar
- (iii). Retakan menurut susunan besi tetulang

Walaupun retakan boleh menjadi sangat lebar pada permulaannya (sehingga 2 mm atau 3mm), namun ia akan susut mengikut kedalaman.

Retakan pengecutan plastik boleh berlaku apabila penyejatan air yang cepat terjadi pada permukaan konkrit. Sebaik sahaja konkrit diletakkan, akan berlakunya pemendakan bahan-bahan pepejal. Proses ini akan membentuk suatu lapisan air pada permukaan dan berterusan sehingga konkrit menjadi keras. Di dalam hampir semua keadaan cuaca, air akan terus menyejat. Faktor-faktor yang mempengaruhi kadar penyejatan adalah :

- (i). Suhu konkrit
- (ii). Suhu air
- (iii). Suhu persekitaran
- (iv). Kelembapan relatif
- (v). Halaju angin

Penyejatan akan meningkat apabila kelembapan berkurangan, halaju angin meningkat. Apabila suhu air berkurangan, suhu konkrit pula akan meningkat ( Raina, 1994). Fakta yang perlu diambilkira adalah penyejatan tetap berlaku dalam sebarang cuaca samada panas mahupun sejuk. Apabila keadaan cuaca sudah tidak boleh dikawal, hanya teknik-teknik pembinaan yang baik sahaja dapat mengelakkan dari berlaku pengecutan plastik.

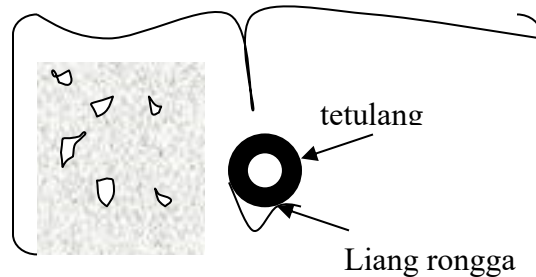
Cara-cara untuk mengurangkan pengecutan plastik:

- (i). Membasahkan kotak acuan.
- (ii). Membasahkan agregat yang kering dan panas.
- (iii). Melakukan pengawetan awal, pada peringkat pengerasan awal.
- (iv). Melindungi konkrit dengan penutup sementara seperti semburan.
- (v). Menyediakan perlindungan dari terik matahari.
- (vi). Mengurangkan halaju angin di tempat perletakan.

### 2.5.2 Keretakan Pemendakan Plastik

Apabila berlaku penjujukan yang ketara dan terdapat halangan terhadap pemendakan, seperti yang ditunjukkan dalam Gambarajah 2.4, maka akan terdapat keretakan jenis ini. Pengecutan ini boleh menyebabkan wujudnya terikan dan tegasan dan konkrit akan mengalami :

- (i). Retakan terus pada atas kotak acuan, bahagian atas keratan atau pada bolt pengikat ( form ties ).
- (ii). Keretakan pada tiang yang kecil atau dinding sebab terhalangnya pemendakan oleh besi tetulang yang mengufuk di dalam kawasan yang sempit.
- (iii). Retakan oleh perubahan kedalaman.



Gambar rajah 2.4 : Retakan pemendakan plastik ( Raina, 1994 )

Terdapat tiga cara untuk menangani masalah ini :

- (i). Mengurangkan penjujukan.
- (ii). Mengurangkan halangan terhadap pemendapan.
- (iii). Melakukan pemadatan semula.

Bahan tambah mineral akan mengurangkan keperluan air dan ini adalah cara yang terbaik untuk mengurangkan penjujukan (bleeding) dan pegenapan dan seterusnya menghalang dari berlakunya retakan pemendakan plastik. Jika dilakukan sedikit pemadatan pada konkrit sebelum konkrit mengeras juga adalah baik kerana ia dapat menghalang pemendakan plastik dari berlaku. Pemadatan semula adalah satu cara yang dilakukan di tapak untuk mengelakkan retakan pemendakan plastik.

### **2.5.3 Keretakan Pengecutan Kering**

Pengecutan kering adalah pengurangan isipadu konkrit yang berpunca daripada kehilangan air secara kimia atau fizikal semasa proses pengerasan dan terdedah kepada keadaan persekitaran. Apabila gel simen kehilangan air melalui proses penyejatan dan semasa proses penghidratan simen, pengurangan terhadap isipadu ini boleh menyebabkan keretakan jika kekuatan tegangannya dilampaui.

Cara- cara untuk menangani masalah ini :

- (i). Penggunaan air yang minimum.
- (ii). Penggunaan saiz agregat yang besar.
- (iii). Penggunaan konkrit yang rendah tahap kebolehkerjaannya.
- (iv). Pastikan pengawetan seawal dan sebaik mungkin terhadap permukaan yang terdedah.
- (v). Jarak besi tetulang yang dekat.

## 2.6 Kerosakan Konkrit Disebabkan Serangan Sulfat

Serangan sulfat terhadap konkrit terjadi apabila ion-ion sulfat dari persekitaran dapat masuk ke dalam struktur konkrit dan seterusnya bertindakbalas dengan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dan  $\text{C}_3\text{A}$  (tricalcium aluminate) untuk membentuk gypsum dan ettringite. Kedua-dua bahan mempunyai isipadu yang lebih besar daripada sebatian asal yang digantikan. Oleh itu pengembangan dalam isipadu (expansion) dan keretakan akan berlaku. Bergantung kepada ion sulfat yang hadir, serangan sulfat boleh menyebabkan berlakunya penguraian (disintegration) kepada komponen-komponen adunan simen terkeras (hardened cement paste) dan konkrit. Akhirnya magnesium silicate terhidrat akan terbentuk yang mana sebatian ini tidak ada sifat pengikat. Dengan itu konkrit akan kehilangan kekuatannya kerana kekurangan daya pengikat dan kejelekannya. Kebiasaannya kerosakan bermula pada bahagian tepi atau bucu konkrit dan diikuti oleh keretakan dan “spalling”, adakalanya berlaku penguraian pada bahagian permukaan. Tahap serangan sulfat bergantung kepada kebolehtelapan konkrit dan kandungan kepekatan sulfat.

Oleh itu untuk menghasilkan konkrit yang tahanlasak terhadap persekitaran yang mengandungi kandungan sulfat yang tinggi, simen yang mengandungi  $\text{C}_3\text{A}$  yang rendah kandungannya boleh digunakan. Contohnya adalah seperti “SRPC” iaitu Simen Portland penahan sulfat (Sulphate Resistant) atau Simen Portland Relau Bagas.

‘Portland fly ash cement’ atau ‘pozzolona cement’ boleh juga digunakan. Penggunaan fly ash dan GGBS boleh membantu meningkatkan kebolehkerjaan seperti dalam konkrit biasa. Di samping mendapatkan kekuatan mampatan konkrit yang tinggi, bahan tambah mineral seperti silica fume dan metakolin boleh digunakan. Saiz partikel bahan yang halus membolehkan ianya bertindak sebagai pengisi kepada ruang-ruang di antara simen



dan agregat. Penggunaan simen-simen jenis ini boleh menghasilkan konkrit yang lebih padu. Ini boleh mengurangkan penusukan cecair ke dalam konkrit dan mengelakkan tindakbalas kimia yang perlu untuk serangan sulfat berlaku.

Penggunaan salutan perlindungan permukaan (protective coatings) seperti salutan berasaskan bitumen, lateks, polimer dan juga epoksi juga boleh mengelakkan atau mengurangkan risiko serangan sulfat.

## **2.7 Serangan Klorida**

Konkrit yang bermutu menyediakan perlindungan dari segi pengaratan. Perlindungan ini disediakan melalui lapisan perlindungan alkali ( oksida pasif ) dan perlindungan fizikal di permukaan tetulang. Perlindungan ini jika dimusnahkan oleh serangan klorida akan menyebabkan pengaratan berlaku . Proses pengaratan akan berlaku dengan lebih cepat jika adanya klorida dengan air dan oksigen ( Diah, 1995 ). Serangan klorida bergantung kepada kepekatan klorida, kealkalian konkrit, jumlah sulfat yang hadir dan jenis simen. Kadangkala klorida memang wujud semasa percampuran di peringkat awal lagi ataupun ia menusuk masuk ke dalam konkrit yang telah keras.

Faktor yang mempengaruhi serangan klorida adalah nisbah air-simen, bahan gantian yang digunakan, suhu persekitaran dan suhu konkrit, kualiti pengawetan, umur konkrit serta kebolehtelapan.

## **2.8 Pengkarbonatan**

Pengkarbonatan adalah tindakbalas karbon dioksida dengan simen matrik (kalsium hidroksida) untuk membentuk kalsium karbonat. Pembentukan kalsium karbonat mengakibatkan penurunan kealkalian dan ini mempercepatkan lagi proses pengaratan.

Semasa proses pengaratan berlaku, lapisan perlindungan pasif akan termusnah dan kehadiran kelembapan serta oksigen akan menyebabkan tetulang berkarat ( Diah, 1995).

Konkrit yang berkualiti tinggi iaitu konkrit yang tinggi kebolehtelapannya, hanya beberapa milimeter di lapisan permukaan yang akan mengalami pengkarbonatan. Jika konkrit itu lemah atau konkrit tidak dipadatkan dengan baik, pengkarbonatan akan menyusuki konkrit sehingga kepada tetulang dengan mudah. Proses pengkarbonatan adalah perlahan bagi konkrit yang tepu kerana liang-liangnya ditutupi dengan air.