

**PENGGUNAAN UJIAN TERAS MIKRO
SEBAGAI SATU ALTERNATIF UJIAN KONKRIT DI-SITU**

Oleh

SHAIFUL BAHARI ISMAIL

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

JANUARI 2003

ABSTRAK

Terdapat pelbagai jenis ujian konkrit di-situ yang dilaksanakan kini. Antara ujian yang lazim dilaksanakan ialah ujian kekuatan mampatan teras yang diperolehi daripada struktur sedia ada. Di dalam ujian ini struktur konkrit yang dibina digerudi untuk mendapatkan sampel teras dan kemudian diuji bagi mendapatkan satu nilai kekuatan ciri konkrit. Namun begitu ujian ini merupakan satu ujian yang berisiko tinggi di mana terdapat beberapa permasalahan yang berlaku terhadap struktur konkrit tersebut. Berikutan itu, satu ujian baru cuba dihasilkan dengan menggunakan teori yang sama iaitu dengan melaksanakan kaedah yang dipanggil ujian kekuatan mampatan teras mikro agar dapat mengatasi permasalahan terhadap ujian yang sedia ada. Maka dengan ini tujuan penyelidikan ini dilaksanakan adalah untuk mendapatkan satu hubungan antara kekuatan mampatan teras mikro dengan kekuatan mampatan kiub piawai, untuk digunakan sebagai rujukan dalam mentafsirkan kekuatan konkrit di tapak binaan. Sebanyak 150 sampel teras mikro dan 30 kiub piawai (150mm x 150mm x 150mm) mengikut 5 jenis campuran konkrit digunakan didalam penyelidikan ini. Sampel konkrit telah diuji pada umur 7 dan 28 hari. Hasil penyelidikan telah menunjukkan satu kolerasi yang baik di antara kekuatan teras mikro dengan kiub piawai. Akhir sekali, segala perubahan atau maklumat di dalam penyelidikan sampel konkrit turut diambil perhatian sebagai satu keputusan penyelidikan yang penting berpandukan kepada beberapa rujukan yang dipercayai.

ABSTRACT

Nowadays, there is a various type of in-situ concrete test that has been use. The test that was normally used is compressive core test that obtained from the existing structure. From this test, concrete structures were drill to get the core sample to be tested to obtain the value of concrete strength. However, this testing had occur a lot of problem to the structure itself, so to avoid this problem a new alternative test had been research that will call the microcore test. Therefore, the purpose of this research is to get the relationship between microcore and standard cube strength, as a reference to estimate the concrete strength on site. In order to assess the applicability of the microcores tests to determine the concrete strength in existing structure, the experimental findings obtained from compressive test carried out on 150 microcores taken from various types of concrete are anylized. Then, the experimental findings of microcores are compared to those obtained on 30 test cubes. This study proves the excellent correlation between microcore and cube strength. Finally, all changes or information in preparing concrete sample will be stated as a very important research result according to previous research.

PENGHARGAAN

Syukur ke hadrat Ilahi kerana dengan limpah kurnianya dapat saya menyiapkan projek tahun akhir sepenuhnya. Dengan ini saya ingin mengambil kesempatan disini untuk mengucapkan setinggi-tinggi penghargaan saya kepada pihak-pihak tersebut yang telah banyak membantu didalam melaksanakan projek tahun akhir ini. Pihak-pihak tersebut adalah seperti berikut :

1. Penyelia : Dr. Sabarudin Mohamad
2. Penyelia bersama : Dr. Megat Azmi Megat Johari
3. Juruteknik-juruteknik makmal konkrit.

Disamping itu, saya juga ingin melanjutkan jutaan penghargaan kepada mana-mana pihak yang membantu secara langsung atau tidak langsung didalam menyiapkan projek tahun akhir saya ini. Segala jasa yang telah diberikan saya dahulukan dengan ucapan terima kasih. Semoga laporan ini memberi manfaat kepada semua pihak.

Shaiful Bahari Bin Ismail

61112 / 00

Kejuruteraan Awam 4

KANDUNGAN

	M/S
Abstrak	i
Abstract	ii
Perhargaan	iii
Isi kandungan	iv
Senarai Jadual-jadual	v
Senarai Rajah-rajah	v
Senarai Gambarfoto	vi
1. Pengenalan	1
1.1. Latarbelakang	1
1.2. Objektif Kajian	2
1.3. Skop Kajian	4
2. Sorotan Literatur	6
2.1. Latarbelakang	6
2.2. Kepentingan Ujian Disitu	7
2.3. Struktur Konkrit Baru Bina	8
2.4. Struktur Konkrit Sedia Ada	9
2.5. Variasi Kekuatan Di-Situ	10
2.6. Sampel Kiub dan Sampel Silinder	13
2.6.1. Sampel kiub	13
2.6.2. Sampel silinder	14
2.7. Ujian Kekuatan Konkrit	15
2.7.1. Ujian tarik keluar	16
2.7.2. Ujian halaju dedenyut ultrasonik (<i>UPV</i>)	18
2.7.3. Ujian kekerasan permukaan dengan tukul pantulan (<i>Rebound Hammer</i>)	20
2.8. Ujian Teras	21
2.8.1. Analisis yang boleh dibuat melalui ujian teras	22
2.8.2. Teras piawai	25
2.8.3. Teras mikro (<i>Microcores</i>)	27

2.8.4. Bilangan dan lokasi ujian teras	28
2.8.5. Ralat kekuatan di dalam ujian teras	29
2.8.6. Kesan saiz agregat / diameter teras	30
2.8.7. Nisbah panjang / diameter	31
2.8.8. Kebolehharapan, penghadan dan kegunaan	32
3. Metodologi Kajian	34
3.1. Objektif	34
3.2. Penyediaan Bahan	34
3.3. Peralatan	35
3.4. Penyediaan Spesimen	35
3.5. Kaedah Penyediaan Sampel	36
3.6. Pengambilan Sampel	38
3.7. Pengujaan Spesimen Kiub dan Sampel Teras Mikro	40
4. Keputusan	42
5. Perbincangan	48
5.1. Analisis Keputusan Ujikaji Kekuatan Mampatan Kiub Piawai (F_{cub}) Dan Teras Mikro (F_{micr}) Melawan Nisbah W/C	48
5.2. Serakan Nilai-nilai Kekuatan : Pekali-pekali Pembolehubah (<i>Scatter Of Strength Value : Coefficients Of Variation</i>) C_{Vmicr} & C_{Vcub}	50
5.3. Kekuatan Purata	50
5.4. Bilangan Sampel Teras Mikro Yang Diperlukan	54
5.5. Kelebihan Menggunakan Ujian Teras Mikro Di-Situ	57
5.6. Masalah-masalah yang dihadapi dan langkah-langkah yang diambil untuk mengatasinya	59
6. Kesimpulan dan Cadangan	61
6.1. Kesimpulan	61
6.2. Penyelidikan Lanjutan	62
Rujukan	63
Lampiran	65

SENARAI JADUAL-JADUAL

		M/S
Jadual 2.1	Perbandingan kekuatan di situ dan kekuatan kiub piawai	11
Jadual 2.2	Faktor am yang disyorkan untuk ujian kimia yang dijalankan bersama sampel teras	25
Jadual 2.3	Kejituan kekuatan di situ yang ditafsir	31
Jadual 2.4	Faktor pembetulan kekuatan untuk teras dengan nisbah panjang / diameter yang berbeza berdasarkan ASTM C42	32
Jadual 4.1	Analisis ayakan agregat halus	42
Jadual 4.2	Keputusan ujikaji bagi konkrit yang berumur 7 hari	44
Jadual 4.3	Keputusan ujikaji bagi konkrit yang berumur 28 hari	44

SENARAI RAJAH-RAJAH

		M/S
Rajah 2.1	Variasi kekuatan antara anggota	12
Rajah 3.1	Lokasi sampel teras mikro dalam rasuk	39
Rajah 4.1	Lengkung penggredan bagi agregat halus	43
Rajah 4.2	Kekuatan mampatan teras mikro, F_{micr} lawan nisbah air-simen, W/C	45
Rajah 4.3	Kekuatan mampatan kiub, F_{cub} lawan nisbah air-simen, W/C	46
Rajah 4.4	Kekuatan mampatan kiub, F_{cub} lawan kekuatan mampatan teras mikro, F_{micr}	47
Rajah 5.1	Kekuatan mampatan lawan nisbah W/C (secara teori)	48
Rajah 5.2	Kekuatan mampatan lawan nisbah W/C (secara ujikaji)	49
Rajah 5.3	Taburan nilai-nilai purata kekuatan kiub, \bar{F}_{cub} yang sepadan dengan nilai-nilai purata kekuatan teras mikro, \bar{F}_{micr}	53

SENARAI GAMBAR FOTO

		M/S
Gambarfoto 3.1	Mesin drum pencampur	35
Gambarfoto 3.2	Sampel kiub yang disediakan	37
Gambarfoto 3.3	Rasuk konkrit yang disediakan sebelum digerudi untuk mendapatkan sampel teras mikro	37
Gambarfoto 3.4	Mesin pengerudi teras	39
Gambarfoto 3.5	Mesin mampatan kiub yang digunakan	40
Gambarfoto 3.6	Mesin Penguji Universal (UTM)	41
Gambarfoto 3.7	Pengujian mampatan terhadap sampel teras mikro	41

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Latar belakang

Penganggaran kekuatan konkrit di-situ merupakan satu masalah yang selalu timbul semasa hendak menilai keupayaan sedia ada struktur. Oleh itu, penyelidikan dalam bidang ini menjadi aktif dan membawa kepada perkembangan pelbagai kaedah ujian musnah dan ujian tanpa musnah. Walaupun kecanggihan teknologi bertambah maju, namun kesalahan dan kesilapan rekabentuk dalam pembinaan bangunan tetap wujud. Permasalahan ini sering juga berlaku di Malaysia di mana apabila banyak kerosakkan struktur berlaku menyebabkan struktur akan menjadi lemah dan kegagalan struktur boleh berlaku.

Maka dengan ini beberapa kaedah ujian di-situ perlu dijalankan. Ini meliputi beberapa kaedah tanpa musnah (*non-destructive*) atau separa musnah (*semi-destructive*), ujian kimia dan analisis fizikal bagi beban serta kaedah ujian musnah (*destructive*).

Lazimnya, ujian di-situ dijalankan bertujuan untuk mengetahui perkara-perkara yang berkenaan dengan keupayaan struktur konkrit bagi menanggung beban. Penafsiran ini penting bagi mengetahui kualiti konkrit yang menyakinkan supaya keselamatan orang awam atau pengguna terpelihara. Kaedah ujian terhadap konkrit hendaklah bersesuaian dan berkeupayaan tinggi dengan tujuan yang selaras setelah mempertimbangkan dari aspek-aspek kewangan, masa, persekitaran, keselamatan dan tahap kerosakan pada struktur yang hendak diuji.

Terdapat beberapa kaedah ujian di-situ yang digunakan secara meluas untuk mentafsirkan kekuatan struktur. Antaranya adalah :

1. Ujian teras
2. Ujian tarik-keluar (*Pull-out* dan *pull-off*)
3. Halaju dedenyut ultrasonik (*Ultrasonic Pulse Velocity*)
4. Ujian kekerasan permukaan dengan tukul pantulan (*Rebound hammer*)

Kaedah-kaedah telahpun digunakan secara meluas, di negara ini. Di antara lima kaedah ujian di atas, hanya ujian teras yang dapat memberi nilai kekuatan konkrit yang sebenar. Ini kerana kekuatan mampatan sampel teras dapat ditafsirkan secara terus daripada struktur konkrit dibandingkan dengan kaedah ujian yang lain yang memberikan nilai-nilai kekuatan yang kurang jitu.

1.2 Objektif kajian

Tujuan utama ujian teras di-situ adalah untuk mengetahui tahap kekuatan terhadap struktur baru bina dan struktur sedia ada dengan tepat.

Bagi struktur baru bina, kaedah penafsiran yang digunakan sekarang adalah tidak begitu tepat, yang mana konkrit struktur baru bina dianggar daripada kekuatan kiub piawai yang disediakan daripada konkrit yang sama. Lazimnya, kekuatan di-situ lebih rendah daripada kekuatan kiub piawai yang mempunyai bahan, proses pencampuran dan kadar umur yang sama. Ini kerana terdapat kadar pemadatan dan pengawetan yang berbeza diantara di kedua-dua keadaan tersebut.

Bagi struktur sedia ada pula, ujian kekuatan merupakan langkah awal sebelum proses pembaikan atau pengubahsuaian struktur bangunan dijalankan. Langkah ini penting

untuk mengetahui keupayaan sebenar struktur bagi menanggung beban yang sewajarnya. Keupayaan konkrit mungkin akan terjejas apabila struktur konkrit terdedah kepada persekitaran yang buruk, kebakaran atau pemendakan tanah. Begitu juga, apabila struktur konkrit mengalami gegaran akibat daripada gempa bumi atau letupan.

Selain daripada ujian kekuatan, sampel teras juga boleh digunakan untuk mengesan keretakan dalaman yang tidak boleh dilihat pada bahagian luar atau menjalankan ujian kimia di makmal bagi mengetahui unsur-unsur kimia yang boleh merosakkan keupayaan konkrit.

Sehingga sekarang, kaedah ini masih dianggap sebagai kaedah yang paling baik. Walau bagaimanapun, keputusan ujian teras piawai dipengaruhi oleh beberapa faktor yang antara lainnya ialah diameter teras, nisbah panjang/diameter, keadaan dan arah penggerudian, kelembapan sampel semasa pengujian, saiz agregat, jenis gerudi intan yang digunakan, kerosakan akibat penggerudian dan penyediaan sampel, kesan saiz dan sebagainya. Selain itu, penghadan ujian teras piawai yang ternyata ialah penggerudian teras piawai yang sebesar 150 mm atau 100 mm dari struktur konkrit sedia ada, atau baru bina mungkin melemahkan kekuatan struktur tersebut [6].

Satu kajian tentang kemungkinan menggunakan teras yang berdiameter lebih kecil, iaitu berdiameter 44 mm dengan saiz agregat maksimum 10 mm dan 20 mm telah dijalankan pada beberapa tahun yang lepas. Selain itu, banyak kajian tentang kemungkinan penggunaan teras yang berdiameter 30 mm dengan saiz agregat maksimum 10mm dan 20 mm sedang dijalankan [5].

Teras yang berdiameter kecil seperti di atas dikategorikan sebagai teras mikro. Ia boleh digerudi di situ dengan peralatan yang ringan dan senang digunakan. Berikutan ini, kos pengujian dapat dikurangkan. Kebaikan kaedah teras mikro yang utama ialah kerosakan struktur akibat penggerudian teras adalah minimum. Dengan itu, kaedah teras

mikro boleh diklasifikasikan sebagai kaedah ujian separa musnah. Berbanding dengan kaedah ujian tanpa musnah yang lain, ujian teras mikro mempunyai satu kelebihan yang ketara iaitu penganggaran kekuatan konkrit di situ adalah diperolehi secara terus daripada keputusan ujian mampatan pada konkrit yang hendak diuji.

Bagi ujian teras mikro, kekuatan mampatan konkrit diperolehi daripada ujian mampatan yang dijalankan ke atas setiap teras mikro. Manakala bagi kaedah ujian tanpa musnah yang lain, pelbagai magnitud fizikal akan diuji dan kemudian dikaitkan dengan kekuatan mampatan melalui korelasi empirik yang lebih kompleks. Penganggaran tersebut tentulah melibatkan banyak kesilapan [8].

Penyelidikan ini bertujuan untuk mengetahui hubungan (korelasi) kekuatan antara sampel teras mikro dengan sampel kiub piawai. Sampel teras mikro digerudi daripada rasuk yang bersaiz 150mm x 150mm x 750mm. Manakala kiub piawai adalah bersaiz 150mm x 150mm x 150mm. Dalam projek ini, sebanyak 150 sampel teras mikro dan 30 kiub piawai telah diuji. Kaedah ujian mampatan akan dijalankan seterusnya selepas kedua-dua jenis sampel yang disediakan mengeras. Kekuatan mampatan teras mikro kemudian dibandingkan dengan kekuatan mampatan kiub piawai yang disediakan daripada bancuhan konkrit yang sama.

1.3 Skop kajian

- 1 Menghasilkan ciri-ciri sampel teras mikro yang bersesuaian berpandukan kepada rekabentuk konkrit yang biasa digunakan di tapak bina.
- 2 Melaksanakan ujian mampatan terhadap kedua-dua sampel iaitu sampel kiub dan sampel teras mikro.

- 3 Membuat perbandingan diantara dua jenis agregat kasar yang digunakan didalam menghasilkan sampel teras mikro melalui ujian mampatan yang akan dijalankan. Disini perbandingan saiz agregat kasar yang digunakan ialah saiz 10mm dan 20mm.

- 4 Mendapatkan kolerasi hubungan diantara sampel kiub dengan sampel teras mikro dengan menghasilkan satu rumusan hubungan yang bersesuaian.

BAB 2

SOROTAN LITERATUR

2.1 Latar belakang

Sehingga kini terdapat pelbagai jenis ujian konkrit yang telah pun dilaksanakan di dalam sesuatu pembinaan. Maka dengan ini, setiap jurutera yang dipertanggungjawabkan perlu memahami keperluan ujian di dalam pemilihan kaedah ujian yang bersesuaian dengan tujuan asal dalam kerja-kerja penyelidikan di situ. Masalah utama yang dihadapi adalah berkenaan dengan ketepatan penafsiran kekuatan konkrit di situ dengan menggunakan keputusan kiub piawai. Oleh itu perlu dijalankan ujian disitu untuk mendapatkan ketepatan yang lebih tepat.

Namun begitu penganggaran kekuatan konkrit di situ merupakan satu masalah di mana terdapat pelbagai jenis permasalahan mengenai kekuatan konkrit yang disebabkan oleh beberapa faktor seperti kesan persekitaran. Jadi, faktor ini juga perlu dikenalpasti untuk mentafsirkan keupayaan sebenar struktur. Masalah ini dapat diatasi dengan penggunaan kaedah ujian di situ yang lebih efektif iaitu kaedah ujian mampatan teras piawai.

Kaedah teras piawai melibatkan ujian mampatan ke atas sampel silinder piawai yang biasanya berdiameter 150 mm atau 100 mm. Sampel-sampel ini diperolehi dengan cara teras struktur konkrit yang sedia ada mahupun baru bina digerudi disitu untuk dijadikan bahan ujikaji.

2.2 Kepentingan ujian di situ

Di dalam pembinaan struktur konkrit, terdapat pelbagai faktor yang boleh mempengaruhi kekuatan struktur itu sendiri. Diantaranya ialah sewaktu kaedah pemadatan dan kaedah pengawetan. Kekuatan konkrit juga boleh dipengaruhi oleh faktor persekitaran yang mampu menjejaskan kekuatan struktur konkrit tersebut. Sebagai contoh bentuk struktur dan pelindung kepada keluli akan dipertimbangkan pada peringkat rekabentuk dan ini merangkumi kesan keadaan persekitaran. Tetapi dalam keadaan persekitaran yang tercemar dan agresif, berkemungkinan besar struktur konkrit akan diserang oleh jujuk-jujuk kimia luaran yang akan mengakibatkan konkrit akan kehilangan sifat kekuatan dan ketahananlasakan. Dengan itu, struktur konkrit mungkin tidak boleh bertahan sehingga hayat rekabentuknya.

Oleh itu adalah penting untuk mengetahui bahawa sebarang kerosakkan ke atas konkrit akibat faktor-faktor di atas dapat dinilai sepenuhnya. Maka dengan ini beberapa ujikaji atau ujian di situ perlu dijalankan untuk mendapatkan kekuatan struktur konkrit yang dibina bagi tujuan memastikan bahawa struktur konkrit dapat bertahan dalam jangkamasa yang lama dan dapat membuat keputusan yang tepat dalam proses pembaikan ataupun rawatan permukaan.

2.3 Struktur konkrit baru bina

Sebagaimana yang sudah diketahui bahawa negara kita, Malaysia terletak di kawasan tropika yang mempunyai cuaca panas. Maka dengan ini adalah penting bagi mengetahui pengaruh persekitaran terhadap kualiti konkrit dan seterusnya mencari kaedah tertentu untuk menyelesaikannya.

Di antara faktor persekitaran yang dipengaruhi oleh cuaca ini ialah faktor suhu, kelembapan relatif, kelajuan udara dan sinaran radiasi suria. Maka dengan ini permasalahan yang akan timbul ialah semasa proses pembancuhan, penempatan dan pengawetan konkrit di mana keadaan cuaca panas ini akan mempercepatkan kehilangan kadar lembapan dan seterusnya akan mengganggu proses penghidratan. Pada amnya, lebih tinggi suhu konkrit bermakna lebih tinggi pembentukan kadar peningkatan kekuatan, tetapi lebih rendah kekuatan jangka panjang. Keadaan cuaca panas akan meningkatkan suhu konkrit segar yang menyebabkan penghidratan awal lebih cepat mengakibatkan pengagihan gel simen tidak sekata serta terbentuknya keporosan yang lebih tinggi daripada keadaan biasa. Keadaan ini tentunya akan membentuk struktur konkrit yang lemah.

Dalam kerja-kerja pembinaan memerlukan kajian kekuatan secara terperinci di tapak binaan. Ini adalah kerana pihak kontraktor memerlukan pembinaan yang cepat tanpa membazirkan masa, wang, tenaga pekerja serta keselamatan terjamin. Ini disebabkan oleh kekuatan konkrit beberapa hari ternyata tidak dapat ditaksir dengan tepat berdasarkan kekuatan kiub piawai. Selain daripada itu, penafsiran ujian kekuatan yang tepat di tapak binaan sangat penting bagi kerja-kerja yang berkaitan dengan konkrit prategasan kerana maklumat yang tepat berkenaan keadaan khidmat berdasarkan kekuatan rekabentuk dalam tempoh yang paling minimum dan membantu proses pengawalan konkrit di tapak binaan.

Terdapat banyak kejadian bangunan runtuh berlaku akibat daripada kegagalan struktur konkrit. Kejadian ini mungkin disebabkan oleh kesalahan rekabentuk atau pengurangan bahan yang sengaja dilakukan oleh pihak kontraktor bagi mengaut keuntungan yang lebih. Jadi, pihak jurutera perunding harus dipertanggungjawabkan untuk mengkaji kekuatan struktur sebelum memberi kelulusan kepada syarikat kontraktor atau syarikat pemaju bagi mengelakkan keselamatan orang awam terancam.

2.4 Struktur konkrit sedia ada

Penafsiran kekuatan struktur konkrit juga boleh dibuat ke atas struktur sedia ada untuk memastikan kesempurnaan dan keselamatannya untuk digunakan. Dalam tempoh 30 tahun atau lebih, konkrit mungkin akan mengalami kerosakkan kerana terdedah dengan pelbagai keadaan persekitaran terutamanya pada struktur konkrit yang mempunyai tahap keporosan dan ketelapan yang tinggi di mana akan memberi laluan kepada gas dan kelembapan masuk ke dalam konkrit tersebut dengan lebih mudah. Kebanyakan keretakan yang terhasil adalah disebabkan dari proses ini. Selain daripada itu, terdapat juga tindakbalas kimia di dalam konkrit itu sendiri seperti tindakbalas alkali, karbonat, klorida atau sulfat jika kandungan unsur-unsur kimia tersebut berlebihan.

Walaupun konkrit mempunyai sifat kerintangan yang agak tinggi terhadap haba, namun konkrit juga akan mengalami kegagalan apabila terdedah pada suhu yang tinggi dan keupayaannya juga mungkin terjejas akibat kebakaran. Ini adalah kerana terdapat unsur kimia yang hilang seperti kalsium silikat terhidrat yang boleh mengurangkan keupayaan sesuatu struktur konkrit. Pada suhu dalam lingkungan $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, kehilangan air bersama-sama kalsium silikat akan berlaku melalui liang-liang yang terdapat di dalam konkrit. Pada suhu diantara $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, konkrit mula kehilangan kekuatan kerana terdapat penukaran kimia yang aktif di mana kalsium silikat dalam fasa simen

dioksidakan. Keretakan juga bermula dan akan terus berlaku kerana perkembangan tetulang keluli tidak serata dengan pengembangan konkrit. Suhu pembakaran boleh mencapai sehingga 700 °C secara langsung akan merosakkan semua bahagian konkrit tetulang termasuklah konkrit dan keluli tetulang [1].

Pengetahuan yang jelas terhadap faktor yang mempengaruhi kekuatan adalah penting bagi kerja penambahan untuk penukaran penggunaan struktur atau memperbaiki struktur konkrit terhadap bangunan lama atau selepas beberapa tahun digunakan. Dengan itu, ia akan memastikan tiada perkara yang buruk akan berlaku terhadap bangunan tersebut.

2.5 Variasi kekuatan konkrit di-situ

Sebelum membincangkan secara terperinci mengenai ujian teras, lebih sesuai jika terlebih dahulu mengetahui serba sedikit mengenai perbezaan kekuatan konkrit di situ dalam berbagai keadaan. Daripada pengalaman yang lepas, didapati bahawa kekuatan konkrit di-situ adalah berbeza di antara satu bahagian ke satu bahagian yang lain dan juga di antara anggota dengan spesimen piawai. Secara teorinya kekuatan purata bagi anggota-anggota struktur konkrit di tapak bina adalah sama dengan kekuatan yang didapati daripada kiub piawai yang disediakan daripada kelompok konkrit yang sama. Namun begitu masih terdapat perbezaan kekuatan di situ dengan kiub piawai disebabkan kerana persediaan teknik penyediaan, dedahan persekitaran dan kaedah pengawetan.

Jika membanding kekuatan di situ dengan kekuatan kiub piawai dengan menggunakan campuran yang sama didapati kekuatan di-situ adalah lebih rendah. Perbezaan kekuatan relatif ini adalah disebabkan oleh beberapa faktor, antaranya ialah pepadatan dan pengawetan yang berbeza. Faktor yang lain adalah ketidakseragaman

campuran, ketumpatan dan pengaruh bendasing. Lazimnya kiub piawai akan dimampat dan diawet secukup-cukupnya sebelum menjalankan ujian kekuatan.

Tetapi berlainan halnya pula dengan struktur konkrit di-situ di mana tahap pengawetan dan kaedah pemadatan yang dikenakan ke atas struktur yang lebih besar seperti rasuk, papak dan tiang adalah berbeza dan tidak secara menyeluruh. Peratusan perbezaan tipikal di antara beberapa elemen struktur di situ dengan kiub piawai digambarkan dalam jadual 2.1 [6].

Jadual 2.1 : Perbandingan kekuatan di situ dan kekuatan kiub piawai [6]

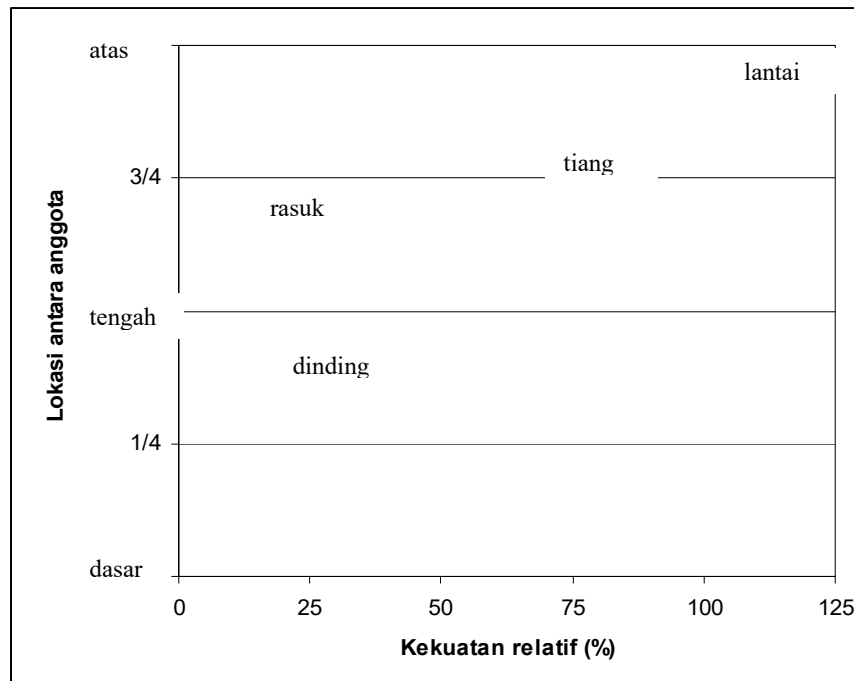
Jenis anggota	Peratusan (%) kekuatan konkrit elemen struktur di tapak bina berbanding dengan kekuatan kiub piawai	
	Purata	Julat
Tiang	65	55 – 75
Dinding	65	45 – 95
Rasuk	75	60 – 100
Lantai	50	40 – 60

Perbezaan kekuatan di antara anggota pula adalah disebabkan oleh pengasingan, tahap mampatan, pengawetan, pengangkutan dan teknik pembuatan. Kesan ini akan mencerminkan darjah kawalan mutu di tapak.

Darjah pemadatan juga merupakan faktor utama yang menyebabkan perbezaan kekuatan mengikut kedalaman anggota struktur konkrit. Tetulang juga mungkin akan menghalang pemadatan sepenuhnya. Pada bahagian atas anggota, pemadatan hanya

berlaku disebabkan dari kesan hidrostatik dan memberi kesan kekuatan terhadap kedalaman anggota struktur konkrit. Jadi, kekuatan akan tertumpu pada bahagian dasar penuangan dan lemah pada bahagian atas.

Keperluan asas bagi pengawetan adalah untuk memastikan kandungan air yang mencukupi bagi membolehkan penghidratan berlaku. Pengeringan diri haruslah dielakkan dengan membenarkan kemasukkan air dari luar bagi campuran yang mempunyai nisbah air/simen yang rendah. Penghidratan yang tidak sempurna lanjutan dari kesan pengawetan mungkin akan menyebabkan kekuatan yang berbeza bagi kekuatan dalaman dan luaran struktur konkrit. Variasi kekuatan tipikal dalam keadaan umum berdasarkan jenis anggota adalah seperti rajah 2.1 [6]. Keputusan ini diterbitkan dari laporan yang dibuat oleh *Maynard* dan *Davis* berdasarkan ujian tanpa musnah. Corak kekuatan yang diperolehi mungkin disebabkan dari tahap mampatan yang berbeza.



Rajah 2.1 : Variasi kekuatan antara anggota [6]

2.6 Sampel kiub dan sampel silinder

Sebelum ujian dijalankan beberapa sampel yang terdiri daripada sampel kiub atau sampel silinder disediakan. Sampel ini kebiasannya diambil daripada bancuhan konkrit yang dibuat. Bancuhan konkrit ini akan dimasukkan ke dalam acuan yang tertentu untuk dijadikan sampel. Kemudian sampel dibiarkan mengeras sehingga mencapai tahap hayat sesuatu konkrit sebelum ujian dilakukan. Di antara ujian yang biasa dilakukan terhadap sampel-sampel ini adalah ujian kekuatan mampatan dan juga ujian fizikal.

2.6.1 Sampel kiub

Menurut *BS 1881 : Part 108* [4], kebiasaan saiz sampel kiub yang digunakan ialah saiz 150mm x 150mm x 150mm bagi agregat yang berdiameter melebihi 25mm dan saiz 100mm x 100mm x 100mm bagi agregat yang berdiameter kurang daripada 25mm. Sampel ini merupakan sampel piawai yang biasa digunakan dalam pembinaan di Malaysia untuk menjalankan ujian.

Kaedah penyediaan sampel diterangkan di dalam *BS 1881 : Part 108* [4]. Konkrit, diisikan ke dalam acuan keluli dengan tiga lapisan yang hampir sama tebal. Setiap, lapisan dimampat dengan menggunakan rod 25 mm segiempat, dengan 35 pukulan bagi kiub 150 mm atau 25 pukulan bagi kiub 100 mm. Sementara, itu, permukaan atas kiub perlu diratakan. Sebelum acuan dibuka, kiub dibiarkan basah selama 24 jam. Setelah acuan dibuka, kiub diawet dengan merendamkannya, di dalam air pada, suhu $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Walau bagaimanapun, keadaan ini tidak dapat dicapai di Malaysia kerana, biasanya, suhu air di dalam tangki pengawetan, lebih kurang sama dengan suhu persekitaran iaitu lebih kurang $28^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

BS 1881 : Part 116 [4] mengkehendaki sampel kiub diuji dengan meletakkannya pada sisi ia dituang. Beban dikenakan pada kadar yang tetap, iaitu di antara, 0.2 - 0.4

N/mm²/saat. Keputusan ujian terhadap sampel kiub adalah dipengaruhi oleh Nisbah Poisson konkrit. Ini kerana kedua-dua, hujung yang berada di antara dua platen mesin uji terhalang daripada, mengembang kerana geseran. Ini menimbulkan daya ufuk yang menyebabkan keputusan ujikaji menjadi lebih besar [4].

2.6.2 Sampel silinder

Di Amerika Syarikat (*USA*), Australia dan beberapa negara lain, sampel silinder digunakan sebagai satu alternatif tambahan selain sampel kiub yang digunakan. Oleh kerana kesan nisbah Poisson akibat hujung yang terhalang daripada mengembang seperti yang terdapat dalam sampel kiub berkurangan dengan bertambahnya ketinggian sampel, maka kesan ini sangat kecil dalam ujian silinder.

Piawaian yang digunakan untuk sampel silinder ialah *ASTM C470* [3]. Konkrit diisi ke dalam acuan silinder dalam tiga lapisan. Setiap lapisan dimampat dengan menggunakan rod berdiameter 20 mm dengan mengenakan tidak kurang daripada 25 pukulan untuk setiap lapisan. Oleh kerana kedua-dua hujung silinder tidak benar-benar rata dan lurus, maka ia perlu ditukup (*capped*). Mengikut *ASTM C617* [3], kedua-dua hujung mestilah rata, toleransi yang dibenarkan ialah 0.05 mm. Cara penyediaan tupuk diterangkan dalam *ASTM C617* [3]. Bahan untuk tupuk boleh diperbuat daripada, simen mortar atau gipsum, yang mempunyai kekuatan mampatan yang tinggi.

Sampel silinder perlu diawet menurut *ASTM C192* [3] dan diuji menurut *ASTM C39* [3]. Saiz silinder yang lazim digunakan ialah 150mm diameter dan 300mm tinggi. Ini bermaksud nisbah diameter dengan tinggi sampel ialah 1:2. Kesan nisbah ini terhadap kekuatan mampatan silinder diberi di dalam *ASTM C42* [3].

Oleh kerana kesan rintangan platen mesin ujian lebih besar terhadap sampel kiub daripada sampel silinder maka kekuatan mampatan kiub adalah 25% lebih besar daripada

kekuatan mampatan silinder. Kekuatan mampatan silinder lebih menepati ciri-ciri kekuatan mampatan konkrit, tetapi penyediaan sampel agak rumit kerana ia memerlukan penyediaan tukup.

Walaubagaimanapun, faktor-faktor berikut boleh mempengaruhi keputusan ujikaji:

- Beban sipi akibat mesin yang tidak dipasang dengan teliti. Oleh itu penanda digunakan untuk meletakkan sampel dengan tepat.
- Platen yang senget akibat struktur mesin yang tidak rigid.
- Kadar beban yang tidak sekata, terutamanya semasa menghampiri beban gagal.
- Platen atas perlu bergerak bebas sebelum dibebani dan rigid apabila dibebani. Tujuannya ialah untuk memastikan keseragaman tegasan di sekitar keratan rentas sampel.
- Darjah ketepuan sampel. Sampel yang diuji semasa ia kering akan memberikan kekuatan yang lebih tinggi daripada sampel basah. Oleh itu, ujian hendaklah dijalankan sebaik sahaja sampel dikeluarkan daripada tangki pengawetan. Air permukaan hendaklah dikeringkan dan sebarang benda asing hendaklah dibuangkan.

2.7 Ujian kekuatan konkrit

Di antara ujian di situ yang lazim dijalankan bagi struktur konkrit yang dibina ialah ujian ketahananlasakan dan ujian kekuatan konkrit. Antara ujian ketahananlasakan yang dijalankan adalah seperti: pengenalpastian retakan, kebolehtelapan dan kelembapan relatif. Bagi ujian kekuatan konkrit pula ianya terbahagi kepada dua jenis ujian iaitu ujian musnah dan ujian tanpa musnah. Manakala struktur konkrit yang diuji di dalam ujian ini adalah terdiri daripada struktur konkrit sedia ada.

Ujian tanpa musnah boleh dijalankan secara terus ke atas konkrit di situ tanpa mengeluarkan sebarang sampel konkrit. Contoh ujian tanpa musnah adalah ujian kekerasan permukaan dengan tukul pantulan, ujian halaju dedenyut ultrasonik dan ujian tarik keluar. Bagi ujian musnah pula ianya merupakan suatu ujian yang boleh merosakkan struktur tersebut di mana ujian ini memerlukan pengeluaran sampel dari struktur konkrit tersebut. Kebiasannya sampel dalam bentuk teras digerudi keluar daripada beberapa struktur yang sedia ada dan kemudian dianalisis terhadap kekuatan mampatan dan ujian fizikal dijalankan.

Berikut merupakan penerangan ujian tanpa musnah yang biasa dijalankan :-

2.7.1 Ujian tarik keluar

Ujian tarik keluar melibatkan pengukuran daya yang diperlukan untuk menarik keluar rod keluli yang ditanam ke dalam konkrit terhadap gelang tindakbalas. Suatu sisip logam (*metal insert*) dibenam (*embedded*) ke dalam konkrit segar. Selepas konkrit mengeras, kekuatan tarik keluar ditentukan dengan mengukur daya maksimum yang diperlukan untuk menarik sisip tersebut daripada konkrit keras.

Terdapat 3 subsistem yang asas iaitu satu sisip logam tarik keluar, satu sistem pengukuran beban dan satu sistem pembebanan. Ujian tarik keluar melibatkan pengukuran daya yang diperlukan untuk menarik satu sisip logam keluar daripada konkrit melawani satu gelang tindakbalas. Bentuk dan lokasi sisip logam dan gelang tindakbalas adalah direkabentuk dan dipiawaikan untuk memberikan suatu daya yang boleh dikaitkan kepada kekuatan mampatan konkrit. Penentuan ini tidak bergantung pada sifat-sifat campuran untuk agregat asli yang bersaiz maksimum 38 mm [6].

Sisip logam boleh dituang ke dalam (*cast in*) konkrit atau diletak ke dalam suatu alur (*groove*) daripada suatu lubang yang digerudi. Beban dikenakan ke atas suatu bolt

yang disambung kepada sisip tersebut pada kadar yang stabil dan terpratentu (*predetermined*) dengan menggunakan peralatan hidraulik yang dikendalikan secara manual. Nilai puncak yang diperolehi dikenali sebagai daya tarik keluar dan boleh dikaitkan (*correlated*) dengan kekuatan mampatan. Jika beban berkurangan pada tahap ini, kerosakan permukaan adalah kecil dan bolt boleh disingkirkan. Sebaliknya, jika beban berterusan, suatu kon konkrit akan ditarik keluar daripada permukaan [6].

Kegunaan bagi ujian ini ialah sisip yang ditanam masuk (*cast in*) ke dalam konkrit biasanya digunakan untuk kawalan kualiti atau untuk tujuan pengawasan kekuatan, terutamanya yang berkaitan dengan kebolehterimaan, perlucutan kekotak (*formwork*) pascategangan atau penamatan bagi pengawetan musim sejuk atau perlindungan. Nilai daya, tarik ketuar perlu dibandingkan dengan nilai had yang telah ditetapkan untuk keadaan tertentu. Manakala sisip yang diletak ke dalam lubang yang digerudi boleh digunakan untuk

1. Tinjauan bandingan bagi konkrit di situ
2. Penganggaran kekuatan di situ dengan berdasarkan kepada suatu skala penentukuran yang sesuai.

Kebaikan terhadap ujian ini ialah kaedah ini adalah cepat dan memerlukan satu sahaja permukaan yang terdedah. Selain itu, peralatan kaedah ini juga senang digunakan. Namun begitu kaedah ini juga masih terdapat penghadan di mana enam bacaan untuk mendapat puratanya kerana kedalaman ujian adalah kecil (25 mm) dan taburan keputusan individu adalah besar. Suatu jarak pinggir minimum sebesar 100mm diperlukan dan tetulang hendaklah dielakkan. Walaupun kaedah ini cepat dan peralatan senang digunakan praperancangan atau penggerudian adalah diperlukan [6].

2.7.2 Ujian halaju dedenyut ultrasonik (UPV)

Kaedah ini juga, merupakan sejenis ujian tanpa musnah. Ia telah digunakan di dalam kerja pratuangan dan di tapak pembinaan di kebanyakan negara sejak lama dahulu. Peralatan UPV mengukur masa alihan (*transit time*) bagi satu denyutan di antara dua *transducer* yang dipasang di atas permukaan suatu jasad konkrit. Halaju denyutan bergantung kepada, Modulus Young dinamik, Nisbah Poisson dinamik dan ketumpatan bahan.

Peralatan ujian UPV terdiri daripada satu penjana denyut elektrik, sepasang *transducer*, satu amplifiaer dan satu alat pemasaan elektronik. Satu denyutan akan dihasilkan oleh satu *electro-acoustical transducer* yang diletak bersentuhan dengan satu permukaan konkrit yang hendak diuji. Selepas melalui suatu laluan yang panjangnya diketahui (L) di dalam konkrit, denyutan getaran tersebut ditukar kepada satu isyarat elektrik oleh *transducer* yang kedua. Litar pemasaan elektronik digunakan untuk menyukat masa alihan (T).

Dengan itu, halaju denyutan, V (km/s atau m/s) boleh dikira daripada persamaan berikut :

$$V = \frac{L}{T} \quad (2.1)$$

dimana

L = panjang laluan

T = masa yang diambil oleh denyutan untuk melalui laluan tersebut

Kaedah UPV boleh digunakan untuk menentukan keseragaman konkrit dengan mengambil ukuran pada satu grid tetap di atas satu anggota. Selain itu, retak dan indung madu (*honeycombing*) boleh dikesan dengan mengambil satu siri ukuran pada satu grid tetap.

Penganggaran kekuatan di-situ boleh dilakukan dengan had keyakinan kurang daripada 95 % [6]. Tetapi ia boleh diperbaiki jika ketumpatan diketahui atau keputusannya digabungkan dengan nombor tukul yang diukur dengan menggunakan tukul pantulan [6].

Pengawasan perkembangan kekuatan juga mungkin dilakukan jika carta penentukuran yang sesuai boleh didapati. Malah kaedah ini boleh digunakan untuk menaksir kemerosotan konkrit dengan menggunakan satu tinjauan bandingan yang umum untuk menempatkan kawasan yang disyaki. Penganggaran ketebalan lapisan juga mungkin dijalankan jika terdapat satu lapisan permukaan yang berkualiti rendah akibat pembinaan, cuaca atau kerosakan lain seperti api [6].

Kaedah ini cepat dan mencerminkan sifat dalaman bagi suatu jasad konkrit. Kaedah ini sangat berguna dalam keadaan yang memerlukan sejumlah besar bacaan untuk penaksiran keseragaman konkrit keras.

Oleh kerana halaju denyutan untuk kebanyakan campuran konkrit terletak di dalam suatu julat yang sempit maka kita perlu mengukur kedua-dua masa alihan dan panjang laluan kepada ketepatan $\pm 1\%$ untuk memperolehi keputusan yang baik.

Nilai ukuran adalah dipengaruhi oleh tekstur permukaan, kandungan lembapan, suhu, saiz spesimen, tetulang dan tegasan. Manakala nilai ukuran dengan kekuatan sebenar sukar dibuat dan dipengaruhi oleh jenis dan peratusan bahan campuran serta umurnya.

Cara susunan *transducer* pada permukaan yang sama hanya boleh digunakan untuk tinjauan bandingan, manakala untuk tujuan pengukuran halaju denyutan secara tepat, *transducer* perlu di letak pada permukaan konkrit yang bertentangan [8].

2.7.3 Ujian kekerasan permukaan dengan tukul pantulan (*Rebound Hammer*)

Ujian ini juga merupakan sejenis ujian tanpa musnah. Prinsip ujian tukul pantulan adalah bahawa pantulan suatu jisim elastik bergantung kepada kekerasan permukaan yang ditukul. Sehingga sekarang, belum dijumpai perhubungan asas di antara kekerasan permukaan dengan kekuatan atau sifat konkrit lain yang boleh diukur. Walaubagaimanapun, ujian kekerasan permukaan boleh digunakan sebagai suatu penunjuk kasar bagi kualiti konkrit.

Peralatan ini mudah digunakan dan dioperasi secara mengufuk atau menegak. Pelucuk (*Plunger*) ditekan secara kuat dan stabil ke atas konkrit pada sudut tepat dengan permukaannya sehingga jisim berbeban pegas (*spring-loaded mass*) dibicu keluar daripada kedudukan terkuncinya. Seleps hentaman, indeks skala dibaca semasa tukul masih di dalam kedudukan ujian. Butang kunci boleh ditekan untuk mengekalkan bacaan atau keputusan boleh direkod oleh perakam automatik [6].

Bacaan skala tersebut dikenali sebagai nombor pantulan (*rebound number*). BS 1881 : Part 202 [4] dan MS 26 [9] mencadangkan supaya 12 bacaan diambil di suatu kawasan yang tidak melebihi 300mm². Jarak antara titik-titik hentaman atau dari pinggir tidak boleh kurang daripada 20mm. Permukaan harus licin, bersih dan kering.

Daripada ujian ini, keseragaman konkrit boleh ditentukan dengan mengambil ukuran pada satu grid tetap di atas satu anggota. Selain itu, pengawasan perkembangan kekuatan juga boleh dijalankan jika carta penentukuran yang sesuai diperolehi. Manakala penganggaran kekuatan di-situ dengan kaedah ini akan memberikan had keyakinan yang kurang daripada 95 %. Kaedah ini juga mampu mengukur sifat permukaan konkrit yang boleh mempengaruhi prestasinya. Walaubagaimanapun, ujian ini selalu digabungkan dengan ujian UPV. Kebaikan utama kaedah ini ialah kecepatannya dan kesenangannya. Selain itu, kaedah ini cuma memerlukan kos yang rendah.

Walaupun ujian ini mudah dilakukan tetapi keputusannya dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti tekstur permukaan, keadaan lembapan permukaan, jenis simen, sifat campuran, jenis dan ketegaran struktur. Konkrit yang dibuat daripada high alumina cement akan menyebabkan lapisan permukaan lebih kuat daripada yang di bawahnya. Ini akan memberikan keputusan yang tidak mencerminkan keadaan sebenar [6].

Lekukan permukaan mungkin berlaku ke atas konkrit yang muda dan lemah. Selain itu, keputusan ujian hanya boleh dikaitkan dengan zon permukaan sedalam 30mm maksimum. Keputusan ujian juga mungkin dipengaruhi oleh pengerasan setempat (*localized hardening*) yang disebabkan oleh pengkarbonatan apabila konkrit mencapai umur 3 bulan [6].

2.8 Ujian teras

Ujian teras merupakan kaedah tradisi yang melibatkan penggunaan ujian mampatan ke atas spesimen selinder yang digerudi (*cores drilled*) daripada elemen struktur konkrit. Kaedah ini merupakan satu kaedah yang baik kerana bukan sahaja ujian kekuatan boleh dijalankan ke atas sampel teras tetapi pemeriksaan secara mata kasar untuk mengetahui keadaan di bahagian dalaman struktur konkrit dan juga ujian kimia boleh dijalankan serentak. Selain daripada itu, ciri-ciri fizikal lain yang boleh didapati melalui ujian ini adalah ketumpatan, peratusan kandungan air, kekuatan tegangan tidak terus dan ciri-ciri ketelapan dan keporosan.

Prosedur yang disyorkan dalam proses pemotongan, ujian dan penafsiran [6] adalah seragam iaitu mengikut *BS 1881* di England, manakala *ASTM C42* dan *ACI 318-71* digunakan di Amerika Syarikat. Nilai dan perincian yang jelas tentang pengenalan dan panduan juga diberi dalam *Concrete Society Technical Report No. 11* [7].

2.8.1 Analisa yang boleh dibuat melalui ujian teras

Berdasarkan pengalaman yang lepas di dapati bahawa terdapat penyelidikan yang penting yang melibatkan teras selain daripada ujian kekuatan ialah ujian ketahananlasakan. Ujian ketahananlasakan adalah bertujuan untuk mengenalpasti kualiti konkrit supaya sentiasa dalam keadaan yang baik dan dapat melindungi tetulang keluli daripada serangan agen luar yang boleh merosakan tetulang tersebut di sepanjang hayat struktur itu. Walaupun pada dasarnya, ketebalan konkrit pelindung direkabentuk dengan mempertimbangkan keadaan persekitaran tetapi keadaan ini mungkin tidak mencukupi untuk dipercayai bahawa struktur konkrit tersebut berupaya untuk menghalang serangan agen dari luar dan unsur-unsur kimia yang sememangnya terkandung dalam struktur konkrit itu sendiri. Ujian ketahananlasakan di situ termasuklah :

- Pemeriksaan secara mata kasar
- Ujian keporosan
- Ujian ketelapan
- Ujian kimia

Pemeriksaan secara mata kasar terhadap sampel teras adalah bertujuan untuk mengenalpasti corak keretakan dalaman konkrit, corak ikatan antara agregat serta saiz agregat. Daripada corak keretakan yang didapati akan menggambarkan jenis dan juga punca kerosakan. Selain daripada itu, corak ikatan antara agregat yang didapati juga akan memberi hubungkait dengan kualiti konkrit. Contohnya corak ikatan yang berbentuk indung madu (*honeycomb*) akan menggambarkan bahawa konkrit memiliki ciri ketelapan dan keporosan yang tinggi yang mana kebarangkalian dedahan serangan agen dari luar juga turut tinggi dan kekuatan konkrit adalah kurang.

Ujian keporosan yang dijalankan adalah untuk mengetahui kandungan keliangan di dalam konkrit. Sebenarnya, keporosan di dalam struktur konkrit mempunyai kaitan secara terus terhadap kekuatan tetapi tidak pada ketelapan. Ini kerana konkrit yang mempunyai keporosan yang tinggi akan menyebabkan kekuatan turut berkurang tetapi tidak semestinya konkrit itu mempunyai ketelapan yang tinggi. Keporosan yang wujud mungkin disebabkan dari keboleherjaan yang rendah, tahap pemadatan yang rendah dan juga kehilangan gel tobermoreite (C-S-H) antara ikatan agregat akibat dari cuaca yang panas dan kering.

Ujian yang terpenting dalam mengetahui ketahananlasakan adalah ujian ketelapan. Ujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar ketelapan dalam bentuk gas atau cecair terhadap konkrit tersebut. Jika struktur mempunyai pekali ketelapan yang tinggi bermaksud konkrit tersebut lebih senang diserang oleh agen-agen luaran seperti sulfat, klorida dan karbonat yang berupaya merosakkan tetulang keluli. Serangan kimia tersebut bergantung kepada kepekatannya dan kebolehtelapan konkrit kerana unsur-unsur kimia dapat bergerak melalui ruang. Selain daripada serangan unsur-unsur kimia, air juga dapat menembusi ketebalannya jikalau konkrit mempunyai ketelapan yang tinggi. Ini akan menyebabkan karbon hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) akan menguras keluar. Pengurasan karbon hidroksida yang berlebihan akan meningkatkan nilai porositi di mana konkrit akan menjadi lemah dan lebih senang diserangi bahan kimia.

Ujian kimia yang dijalankan meliputi ujian karbonat dan ujian klorida. Daripada keputusan ujian ketelapan akan membuktikan bahawa serangan agen kimia mungkin disebabkan samada dari persekitaran atau kandungan jujuk dan bendasing yang terdapat dalam struktur itu sendiri. Jika kandungan karbonat atau klorida berlebihan akan menyebabkan tetulang keluli berkarat kerana ion-ion karbonat atau klorida yang hadir di dalam adunan simen yang mengelilingi tetulang bertindak balas dengan air untuk

membentuk asid hidroklorid yang akan memusnahkan selaput pelindung pasif pada tetulang.

Pembentukan besi karat akibat dari serangan klorida dan karbonat akan menyebabkan konkrit retak dan menyerpih. Ini adalah disebabkan oleh tekanan ampul (*swelling pressures*) akibat daripada pertambahan isipadu tetulang asal. Konkrit yang diserang oleh sulfat pula biasanya akan menyebabkan kerosakan bermula dari tepi dan penjuru dan diikuti oleh retak dan penyerpihan konkrit. Ini disebabkan dari serangan sulfat menyebabkan pembentukan kalsium sulfat (*gypsum*) dan kalsium sulfoaluminat (*ettringite*). Kedua-duanya mempunyai isipadu yang lebih besar daripada sebatian yang mereka ganti. Jadi, pengembangan konkrit akan berlaku. Dengan ujian kimia yang dibuat akan memberi panduan am bagi mengetahui kesan pengaruh persekitaran bagi sesuatu kawasan. Kesan kerosakan di dalam konkrit secara berulang-ulang seperti dalam senarai jadual 2.2 [10], mungkin boleh digunakan sebagai panduan untuk penggunaan ujian yang sesuai.